

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra výkonové elektroniky a strojů

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Teplátor – budoucnost teplárenství v ČR?

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martin NOVOTNÝ**
Osobní číslo: **E18B0083P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Téma práce: **Teplátor – budoucnost teplárenství v ČR?**
Zadávací katedra: **Katedra výkonové elektroniky a strojů**

Zásady pro vypracování

1. Analyzujte současný stav teplárenství v ČR a zpracujte přehled významných provozovaných tepláren.
2. Specifikujte moderní trendy teplárenství (kogenerace, obnovitelné a druhotné zdroje, dekarbonizace, ukládání energie), jejich aplikaci v ČR a celkový výhled do budoucnosti.
3. Seznamte se s projektem Teplátor a uveďte jeho technické parametry.
4. Navrhněte a zhodnoťte vhodnost a možnosti využití Teplátoru v teplárenské soustavě ČR.

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Energetický regulační úřad. Zprávy o provozu teplárenských soustav ČR [online].
2. Ministerstvo průmyslu a obchodu. Studie stavu teplárenství [online]. 2011.
3. DRÁBOVÁ, D., PAČES, V. a kol. Perspektivy české energetiky ? Současnost a budoucnost. Praha: Novela Bohemica, 2014. ISBN 978-80-87683-26-2.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. David Mašata**
Katedra elektroenergetiky

Datum zadání bakalářské práce: **9. října 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. května 2021**



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan





Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

Abstrakt

První část bakalářské práce je zaměřena na teplárenství v České republice. Jsou zde uvedeny základní informace o teplárenství a o velkých českých teplárnách a tepelných zdrojích. Dále jsou představeny moderní trendy teplárenství (kogenerace, obnovitelné zdroje, dekarbonizace, ukládání tepelné energie) a jejich uplatnění v ČR.

Druhá část představuje projekt TEPLATOR. Jsou uvedeny jeho technické parametry a design. Dále je zhodnoceno uplatnění projektu TEPLATOR v české teplárenské síti a jeho ekonomická výhodnost.

Klíčová slova

Teplárna, výroba tepla a elektřiny, CZT, kogenerace, obnovitelné zdroje, dekarbonizace, akumulace, jaderné palivo

Abstract

The first part of the bachelor thesis is focused on the heating industry in the Czech Republic. There is basic information about the heating industry and about large Czech heating plants and heat sources. Furthermore, modern trends in heating (cogeneration, renewable sources, decarbonization, thermal energy accumulation) and their application in the Czech Republic are presented.

The second part presents the TEPLATOR project. Its technical parameters and design are given. Furthermore, the application of the TEPLATOR project in the Czech heating network and its economic advantage are evaluated.

Key words

Heating plant, heat and electricity production, district heating, cogeneration, renewable sources, decarbonization, accumulation, nuclear fuel

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské/diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 26.5.2021

Martin Novotný

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Davidovi Mašatovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

1	Úvod	11
2	Teplárenství.....	12
2.1	Výroba tepla	12
2.1.1	Výtopna.....	12
2.1.2	Parní teplárna.....	12
2.1.3	Paroplynová teplárna.....	13
2.1.4	Kogenerační motor.....	13
2.2	Rozvod tepla v soustavě CZT	14
3	Historie českého teplárenství	15
4	Teplárenství v ČR.....	16
4.1	Teplárny provozované v ČR	17
5	Technologie teplárenství	22
5.1	Paliva používaná v teplárenství.....	22
5.1.1	Hnědé uhlí.....	23
5.1.2	Černé uhlí.....	23
5.1.3	Zemní plyn.....	23
5.1.4	Komunální odpad	23
5.2	Obnovitelné a druhotné zdroje energie.....	24
5.2.1	Solární energie.....	25
5.2.2	Biomasa	26
5.2.3	Geotermální energie.....	27
5.3	Kogenerace.....	27
5.4	Dekarbonizace.....	30
5.4.1	Jaderná elektrárna jako zdroj tepla.....	33
5.5	Ukládání tepelné energie	34
5.5.1	Akumulace citelného tepla	34

5.5.2	Akumulace latentního tepla	35
5.5.3	Využití akumulace v teplárenství.....	37
5.6	Budoucnost Českého teplárenství.....	37
6	TEPLATOR	39
6.1	Současné zpracování TEPLATORu	39
6.1.1	TEPLATOR DEMO	41
6.2	Ekonomická stránka konceptu TEPLATOR	42
6.3	Potenciál k využití	43
7	Závěr.....	46
	Seznam literatury a informačních zdrojů.....	48
	Seznam obrázků	54
	Grafy	54
	Tabulky	54

Seznam symbolů a zkratek

CZT.....	Centrální zásobování teplem
ČR.....	Česká republika
ČVUT.....	České vysoké učení technické
EU.....	Evropská unie
JE.....	Jaderná elektrárna
KVET.....	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
OZE.....	Obnovitelné zdroje energie
ZČU.....	Západočeská univerzita
ZEVO.....	Zařízení pro energetické využití odpadů
Q_T	Objem vyrobeného tepla (TJ)

1 Úvod

Teplárenství je obor zabývající se výrobou a rozvodem tepelné energie. V České republice má dlouholetou tradici. Již od počátku 20. století byla hojně využívána fosilní paliva, zejména tuzemské uhlí. Kvůli jejich spalování dochází ke zvyšování koncentrace skleníkových plynů a znečištění ovzduší. V posledních letech celý systém teplárenství procházel, a ještě bude procházet, změnami a modernizací.

Zpřísňující se ekologické normy kladou stále větší nároky na teplárny, zejména na ty, které využívají fosilní paliva. Také s přihlédnutím na stále rostoucí cenu emisních povolenek nebudou schopny uhelné teplárny do budoucna konkurovat ostatním. Uhlí bude nahrazeno za ekologičtější palivo. Jako náhrada se nabízí částečně biomasa nebo jiný obnovitelný zdroj, ale v hlavní míře zemní plyn. Tato práce se mimo jiné zaměřuje na projekt TEPLATOR, který představuje jako další alternativu, za neekologické palivo, jaderné palivo.

Z počátku práce uvádím stručnou historii a současnost českého teplárenství s popisem a tabulkou vybraných českých tepláren, které zásobují teplem velká města. Z moderních trendů jsou představeny kogenerace (kombinovaná výroba elektřiny a tepla s vysokou účinností využití paliva), obnovitelné a druhotné zdroje energie, dekarbonizace a akumulace tepelné energie.

Ke konci přibližuji projekt TEPLATOR. Jedná se o bezemisní tepelný zdroj na použité nebo čerstvé jaderné palivo. Jsou uvedeny základní technické parametry pro koncept TEPLATOR DEMO, design, ekonomická stránka projektu a vhodnost využití v české teplárenské soustavě.

2 Teplárenství

V současné době je teplárenství energetický obor, který má za úkol výrobu tepla v jednom nebo více zdrojích, rozvod tepla, stabilizaci ceny a při tom, být co nejvíce ohleduplný k přírodě. Teplárenství lze chápat jako systém dálkového (centralizovaného) zásobování teplem.

Směr, jakým se vývoj teplárenství ubíral, nepochybně ovlivnila kombinovaná výroba elektřiny a tepla neboli kogenerace. S tím spojená snaha o zvýšení výroby elektrické energie a tepelné energie při co nejmenší energetické spotřebě. Tedy co nejlépe využívat energii uloženou v palivu. [1], [2]

2.1 Výroba tepla

Pro výrobu tepla, v soustavě centrálního zásobování teplem, se využívá různých druhů zdrojů.

2.1.1 Výtopna

Výtopna je samostatně stojící zdroj tepla sloužící pouze pro produkci tepelné energie s účinností celého cyklu až 90 %. Proces začíná ohřevem vody pomocí spalování paliva v kotli a následné předání tepelné energie do soustavy centrálního zásobování teplem přes tepelný výměník. [3]

2.1.2 Parní teplárna

Teplárna využívá kombinované výroby elektřiny a tepla v jednom výrobním cyklu. Kombinovanou výrobou se ušetří až 1/3 paliva ve srovnání s oddělenou, tedy samostatnou, výrobou elektřiny nebo tepla. Účinnost parní teplárny může dosahovat až 90 %.

Celý cyklus začíná spálením paliva v kotli. Energie obsažená v palivu se přemění na tepelnou energii, která se předá přenosovému mediu. Vzniklá vodní pára předá část své tepelné

energie v parní turbíně, která je pomocí hřídele připojena ke generátoru elektrického proudu. Pára po průchodu turbínou má stále dostatek tepelné energie. V kondenzátoru ji předá nosnému médiu uzavřenému v primárním tepelném okruhu, který slouží k ohřevu vody a vytápění objektů pro odběratele. [3]

2.1.3 Paroplynová teplárna

K výrobě tepla a elektrické energie využívá paroplynová teplárna kinetickou a chemickou energii plynů. Účinnost takové teplárny dosahuje celkově až 85 %. Ze kterých náleží zhruba 47 % přeměně energie paliva na elektrickou energii a zbylých 38 % je odvedeno v podobě tepelné energie.

Cyklus začíná ve spalovací komoře. Spalováním směsice stlačeného vzduchu se zemním plynem nebo bioplynem, dochází ke zvětšování objemu směsi a roztáčení první plynové turbíny připojené na generátor elektrického proudu. Horké plyny dále předají ve spalínovém kotli tepelnou energii přenosovému médiu. Vzniklá pára roztáčí druhou turbínu připojenou na generátor elektrického proudu. Zbylé teplo předá v kondenzátoru svou energii přenosovému médiu v primárním tepelném okruhu. [3]

2.1.4 Kogenerační motor

Jedná se o pístový motor připojený ke generátoru elektrického proudu. Jako palivo se využívá bioplyn nebo zemní plyn. Celá soustava může v ideálním případě dosahovat účinnosti až 97 %.

Spálením paliva v motoru dochází k roztáčení generátoru a přeměně mechanické energie na elektrickou. Energie ze vzniklého ztrátového tepla se pomocí chladicí vody předá ve výměníku do primárního tepelného okruhu, který dodává tepelnou energii odběratelům. Podobně se do tepelného okruhu předá ve spalínovém výměníku teplo ze vzniklých motorových spalín. [3]

2.2 Rozvod tepla v soustavě CZT

Teplo k odběratelům (domácnosti, průmyslové, zdravotnické, školské objekty, atd...) je dodáváno pomocí teplovodů, ve kterých je energie přenášena pomocí teplotnosného media. Tím může být horká voda, teplá voda nebo pára. Tepelnou síť tvoří přívodní a vratné potrubí. Potrubí vede do centrální výměňkové stanice nebo rovnou do zásobovaných objektů.

Z centrální výměňkové stanice je zásobováno více objektů prostřednictvím dvou potrubních okruhů. Pomocí jednoho okruhu je dodávána teplá voda do vodovodních baterií a druhý okruh slouží v topné sezóně k rozvodu tepla pro vytápění. Tento systém se nazývá čtyřtrubkový.

Novější dvoutrubkový systém vede rovnou do objektů. Dopravené teplo do domovních předávacích stanic ohřívá vodu pro okruh teplé užitkové vody a pro topný okruh s topnými tělesy v domácnosti. [3]

3 Historie českého teplárenství

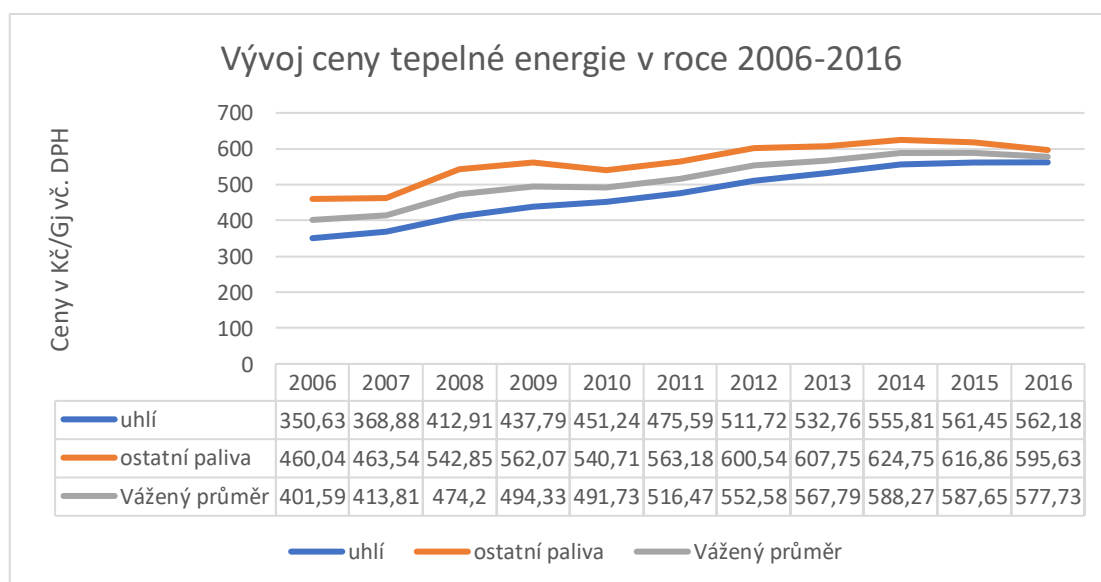
Centralizované zásobování teplem neboli teplárenství, se v České republice začalo rozvíjet od 20. let 20. století. Příčin, které vedly k budování prvních soustav centralizovaného zásobování teplem bylo několik. Jednou z hlavních byl intenzivní rozvoj průmyslu zejména ve velkých městech. Bylo třeba zaopatřit dodávku tepla pro technologické účely, ale také pro vytápění obytných čtvrtí. Dále bylo nutné, s rostoucí spotřebou elektrické energie, zajistit nové energetické zdroje pro chod lokálních elektrizačních soustav. Ve 30. letech se začaly objevovat teplárenské soustavy s kombinovanou výrobou tepla a elektrické energie, které byly na svou dobu velmi moderní a na jejichž bázi fungují současné teplárny. Důležitý rozvoj nastal také v 50. a 60. letech 20. století. Kdy došlo, zejména ve velkých městech, např. v Praze, v Plzni, v Pardubicích, v severních Čechách, na Ostravsku a dalších městech, k výstavbě velkých soustav dálkového zásobování teplem. To bylo způsobené rozmachem těžkého průmyslu, který sebou nesl nadměrnou energetickou náročnost způsobenou samotným průmyslem, ale i přesunem mas lidí do průmyslových aglomerací. Mírný pokles zájmu o teplárenství nastal v 70. a 80. letech, která se vyznačují výstavbami levných panelových sídlišť, která se vytápěla blokovými zdroji tepla na ušlechtilá paliva jako je topný olej a později i zemní plyn. Vytápění sídlištními kotli však nepřinášelo v oblasti teplárenství žádný další rozvoj. Naopak v 90. letech 20. století a na počátku 3. tisíciletí přichází do teplárenství nové trendy. Otevření hranic a s tím související příchod zahraničních investorů zajistil nové příležitosti a dostupnost moderních technologií. Začaly se přijímat nové zákony zvyšující nároky na efektivní získávání energie podle vzoru evropských zákonů. [4]

OBDObí CHarakteristika	20. až 40. léta 20. století	50. a 60. léta 20. století	70. a 80. léta 20. století	přelom tisíciletí	20. a 30. léta 21. století
Charakteristika vývoje teplárenství v ČR	počátek teplárenství	extenzivní rozvoj	technické zaostávání	ekologizace racionalizace	intenzifikace kvalita
typické zdroje nově budovaných sČZt	teplárny (výtopny)	elektrárny (teplárny)	výtopny (elektrárny)	malé teplárny	všechny typy
typické druhy používaných paliv	uhlí	uhlí	topné oleje (uhlí)	zemní plyn (uhlí)	všechny druhy (biomasa)
typicky používaná teplonosná látka	pára	horká voda (pára)	horká voda	teplá voda (horká voda)	teplá voda
Charakteristika zásobované oblasti	průmysl (sídliště)	města (průmysl)	sídliště (průmysl)	sídliště	části měst
Používaný způsob uložení teplných sítí	nadzemní (kanálové)	kanálové (nadzemní)	kanálové	bezkanálové podzemní	bezkanálové podzemní
Běžné používané typy odběrných zařízení	přímé odběry (objektové PS)	okrskové PS	okrskové PS	objektové PS (přímé odběry)	objektové PS (přímý odběr)

Obr. č. 1: Charakteristické prvky teplárenství v průběhu let. [4]

4 Teplárenství v ČR

Teplárenství je v České republice hluboce zakořeněno. Zejména ve velkých městech je centrální zásobování teplem hojně využíváno a je jejích neodmyslitelnou součástí. Dokazuje to i skutečnost, že přibližně stejná část tepla vyrobená pomocí decentralizovaných (individuálních) zdrojů tepla je vyrobena i pomocí centralizovaných zdrojů. I když je teplárenství perspektivní technologie a v Čechách značně využívané, najde se mnoho zařízení poněkud zastaralých. Státní dotace a nízké ceny uhlí při stále se zvyšující ceně tepla umožňovaly vlastníkům teplárenských soustav bez jakékoli nutné údržby nebo technologické inovace celého systému nepřetržitý profit. [1], [5]

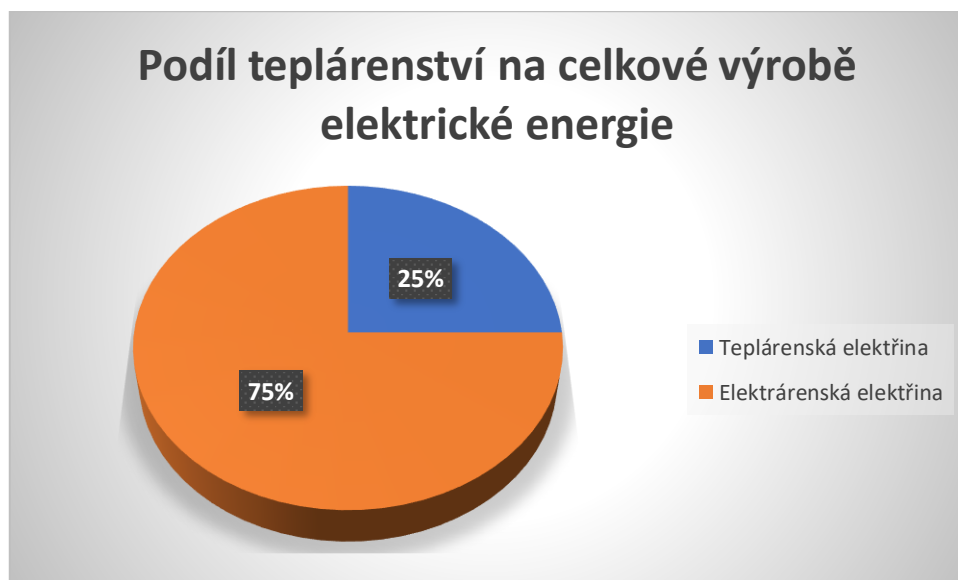


Graf č. 1: Vývoj ceny tepelné energie pro konečné odběratele pro rok 2006-2016. [6]

Výroba tepla pro centrální zásobování je prováděna pomocí tepláren a výtopen. K produkci tepla přispívají i elektrárny v režimu monovýroby tepla, avšak přispívají hlavně v režimu kombinované výroby elektřiny a tepla. Vyrobené teplo je dopraveno ke spotřebiteli pomocí horkovodů a parovodů. V České republice dosahuje délka tepelných sítí téměř 10 000 kilometrů.

K systému centrálního zásobování teplem je v České republice připojeno přibližně 1,5 mil. domácností s 3,8 mil. lidí. Celková spotřeba tepla za rok, dodávaného ze systému CZT, činí cca 80 PJ tepelné energie. Z toho je spotřebováno 33,5 PJ v domácnostech, 22 PJ

v průmyslu, 18 PJ v sektoru služeb a obchodu a 7,5 PJ v dopravě, stavebnictví, zemědělství a lesnictví. S výrobou tepla jde ruku v ruce produkce elektrické energie. Přes 1 800 teplárenských zdrojů, které dosahují výkonu alespoň 5 MW, se podílejí na výrobě elektřiny. Na roční produkci elektrické energie se teplárny podílejí přibližně jednou čtvrtinou. Z toho přibližně 2/3 jsou vyrobeny při kogeneraci. [1], [5], [7]



Graf č. 2: Podíl teplárenství na celkové výrobě el. energie.

4.1 Teplárny provozované v ČR

Plzeňská teplárenská, a.s.

Společnost Plzeňská teplárenská, a. s. působí zejména na území města Plzeň a je největší výrobce a dodavatel tepelné energie v Plzeňském kraji. Společnost se nezabývá jen výrobou a distribucí tepelné energie pro vytápění a přípravu teplé vody, ale také zajišťuje dodávku elektrické energie a také chladu.

K výrobě tepelné energie dochází na více zdrojích. Na zdrojích Teplárna v Doubravecké ulici, Energetika a na zařízení k energetickému využití odpadů (ZEVO Plzeň). V roce 2019 byl celkový instalovaný tepelný výkon 813,67 MWt a společností se podařilo prodat 3 108 TJ tepla.

Palivová základna pro výrobu elektrické a tepelné energie ve společnosti Plzeňská teplárenská se skládá z tuzemského paliva. Tuzemské hnědé uhlí se používá zejména na zdrojích Teplárna a Energetika. Zemní plyn se využívá pro stabilizaci a zapalování parních kotlů. V předchozích letech společnost rozhodla spalovat na zdroji Teplárna také dřevní štěpku. I v tomto roce pokračují a na zdroji Teplárna dochází ke smíšenému spalování dřevní štěpky a uhlí ve fluidním kotli, pelet z biomasy v granulačních kotlích a také dochází ke spalování čisté biomasy. Dále také dochází ke spalování komunálního odpadu v Zařízení k energetickému využívání odpadů ZEVO Plzeň, které bylo zkolaudováno 21. 3. 2019 a uvedeno do běžného provozu. [8]

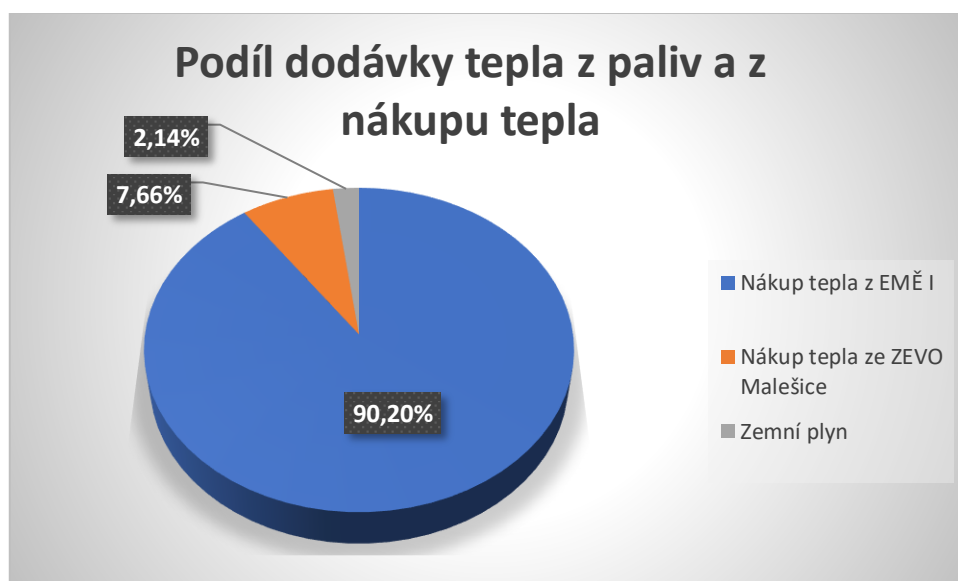
Tab. č. 1: Vývoj spotřeby vybraných paliv společnosti Plzeňská teplárenská, a. s. v letech 2015-2019. [8]

Rok	Hnědé uhlí [t]	Dřevní štěpka [t]	Komunální odpad [t]	Tuhé alternativní palivo [t]	Zemní plyn [tis. m]	Skládkový plyn [tis. m]
2015	529 194	265 805	0	4 841	662	263
2016	383 707	255 818	36 817	2 565	729	216
2017	335 721	273 455	94 655	1 591	673	160
2018	692 109	247 730	90 433	1 084	845	168
2019	662 534	217 504	93 204	1 538	1 086	131

Pražská teplárenská, a.s.

Společnost Pražská teplárenská se zabývá zejména výrobou a rozvodem tepelné energie. Působí v hlavním městě Praze a v okolních oblastech. Zásobuje tepelnou energií mnoho škol, administrativních budov, průmyslových podniků, zdravotnických zařízení a přes 230 000 domácností.

V roce 2019 byl celkový instalovaný výkon všech zdrojů Pražské teplárenské 1 046 MWt. Pražská teplárenská měla v roce 2019 v činnosti 2 teplárenské výroby, 4 výtopny a 1 mobilní zdroj. Hlavním zdrojem tepla pro Pražskou teplárenskou byla Elektrárna Mělník I (EMĚ I). Další zdroje jako teplárna Malešice, teplárna Michle, výtopna Krč a horkovodní zdroj Holešovice sloužily jen jako špičkové zdroje. Společnost Pražská teplárenská dále odebírala teplo ze Zařízení na energetické využití odpadu ZEVO Malešice. Za celý rok prodala společnost celkem 8 699 TJ tepla. [9]



Graf č. 3: Podíl dodávky tepla pro společnost Pražská teplárenská, a. s. z paliv a z nákupu tepla. [9]

Teplárny Brno, a. s.

Městská společnost Teplárny Brno, a. s. zásobuje teplem 100 000 brněnských domácností, univerzity, pivovar a další významné instituce a firmy. Společnost se zabývá výrobou a rozvodem tepla, výrobou a obchodem s elektřinou a obchodem s plynem.

Teplota pro společnost Teplárny Brno, a. s. ve fiskálním roce 2019/2020 bylo vyrobeno na 4 primárních zdrojích (provozy Červený mlýn, Špitálka, Staré Brno, Brno-Sever) využívající jako palivo zemní plyn. Společnost Teplárny Brno, a. s. také odebírá tepelnou energii ze zařízení na energetické využití odpadu patřící společnosti Sako Brno, a. s. Celkový instalovaný tepelný výkon primárních zdrojů činí 819 MWt. Za sezónu 2019 prodala společnost 3 582 TJ tepla. [10]

Teplárna České Budějovice, a. s.

Dominantní činností Teplárny České Budějovice, a. s. je výroba, nákup a prodej tepla a teplé užitkové vody. Teplota je pomocí tepelných rozvodů dodávaná do Česko Budějovických škol, průmyslových společností, správních budov, zdravotnických a kulturních zařízení a do domácností. Tepelná energie je vyráběna pomocí kombinované výroby tepla a elektřiny spalováním hnědého uhlí a zemního plynu. V roce 2019 byl objem prodaného tepla 1 531 TJ a celkový instalovaný výkon teplárny 456 MWt. [11]

Teplárna Liberec, a. s.

Hlavním záměrem Teplárny Liberec je výroba a rozvod tepelné energie. Teplo je dodáváno 124 odběratelům z terciální sféry, do 11 průmyslových areálů a do 13 293 domácností. Více než polovina tepelné energie pochází z připojené spalovny komunálních odpadů Termizo. Zbytek tepelné energie je vyráběno na zdrojích využívající zemní plyn. Instalovaný tepelný výkon společnosti činí 131 MWt a za fiskální rok 2018/2019 prodala společnost Teplárna Liberec, a. s. společně s Termizo, a. s. 990 TJ tepla. [12]

Elektrárny Opatovice, a. s.

Akciová společnost Elektrárny Opatovice se zabývá výrobou, dodávkou a prodejem elektrické a tepelné energie. Teplo a elektřina jsou vyráběny formou kombinované výroby v hlavním zdroji Elektrárna Opatovice, která využívá jako palivo hnědé uhlí a je kompletně odsířena. Společnost také vlastní rezervní zdroje tepla v Pardubicích, v Chrudimi a v Hradci Králové. Společnosti se v roce 2019 podařilo prodat 3 285 TJ tepla. Instalovaný tepelný výkon je 1068 MWt. Společnost zásobuje teplem ve městech Hradec Králové, Pardubice, Chrudim, Lázně Bohdaneč, Čeperka, Rybitví a Opatovice n.L. přes 60 000 bytů a mnoho průmyslových objektů, správních, obchodních, sportovních, zdravotnických a kulturních zařízení. [13]

Energetika Třinec, a. s.

Společnost Energetika Třinec, a. s. zajišťuje dodávku tepla pro areál Třineckých železáren a město Třinec a okolí. Společnost ročně dodá odběratelům 1 600 TJ tepla. Výroba tepelné energie je zajištěna pomocí tepláren E2, E3 a dvou spalinových kotlů. Teplárna E2 využívá jako palivo zemní plyn a hutní plyny a teplárna E3 využívá hnědé a černí uhlí a přebytky hutních plynů. Celkový instalovaný tepelný výkon všech zdrojů je 586,5 MWt. [14]

Tab. č. 2: Seznam velkých českých měst vytápěných významnými teplárnami. [15]

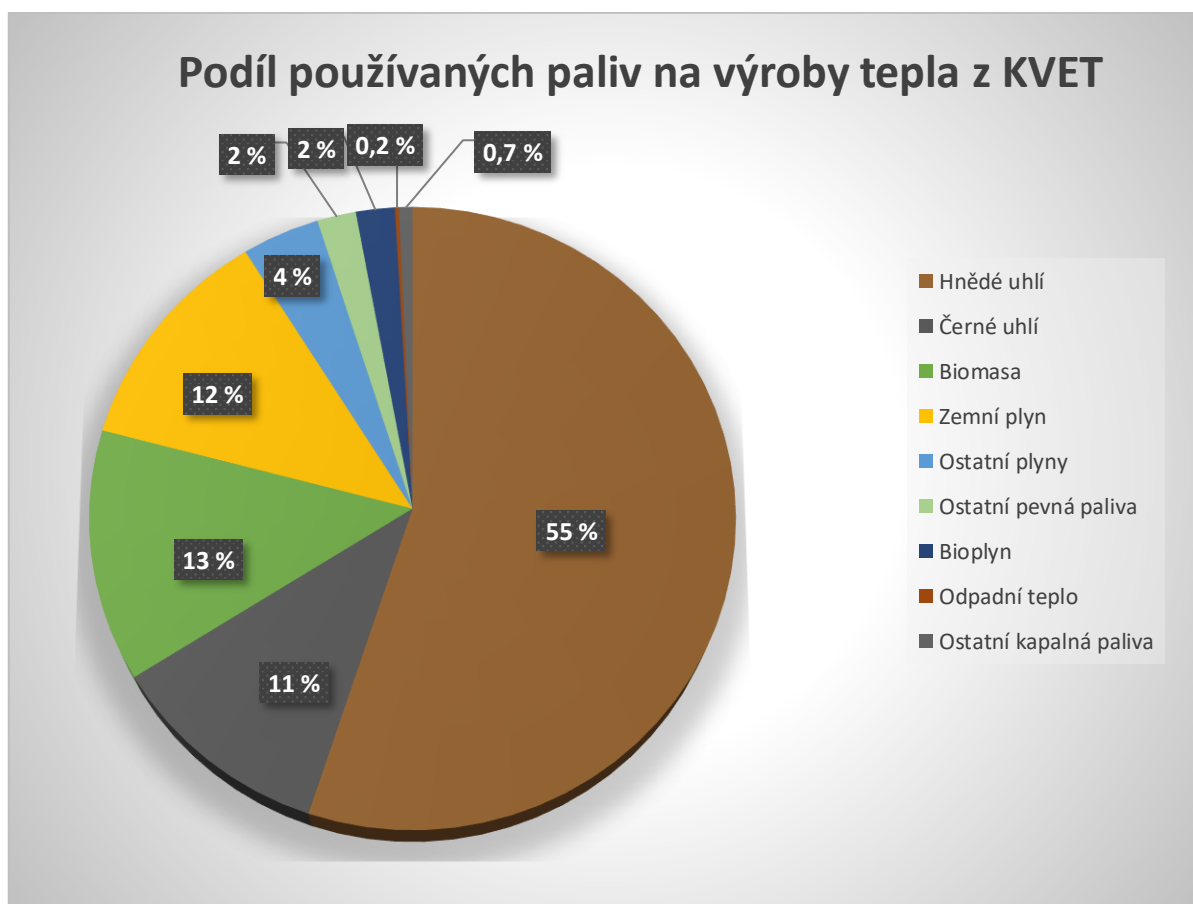
Vytápěná lokalita	Provozovatel	Celkový instalovaný tepelný výkon (MWt)	Prodané teplo za rok (TJ)	Palivo
Praha	Pražská teplárenská, a. s.	1 046	8 700	Uhlí, zemní plyn
Brno	Teplárny Brno, a. s.	819	3 582	Zemní plyn, biomasa
Ostrava	Veolia, a. s. - Teplárna Přívoz + Elektrárna Třebovice	830	4 470	Černé uhlí, lehké topné oleje
Plzeň	Plzeňská teplárenská, a. s.	814	3 110	Uhlí, biomasa, komunální odpad
Liberec	Teplárna Liberec, a. s. + Termizo, a. s.	131	990	Zemní plyn, topný olej, komunální odpad
Olomouc	Veolia, a. s. - Teplárna Olomouc	213	1 650	Uhlí, lehký topný olej
Česko Budějovice	Teplárna České Budějovice, a. s.	456	1 530	Uhlí, zemní plyn
Ústí nad Labem	ČEZ, a. s. - Teplárna Trmice	469	2 000	Zemní plyn
Pardubice + Hradec Králové	Elektrárny Opatovice, a. s.	1 068	3 285	Hnědé uhlí
Zlín	Teplárna Zlín s.r.o.	373	1 100	Uhlí, zemní plyn
Kladno	Teplárna Kladno s.r.o.	966	900	Uhlí, zemní plyn
Most	United Energy, a. s. - Teplárna Komořany	1 076	2 000	Hnědé uhlí
Karviná+Havířov	Veolia, a. s. - Teplárna Karviná + Teplárna Československé armády	419	1 960	Uhlí, biomasa
Teplice	ČEZ, a. s. - Elektrárna Ledvice	380	665	Hnědé uhlí
Chomutov	ČEZ, a. s. - Elektrárna Prunéřov	500	920	Hnědé uhlí
Děčín	Termo Děčín, a. s.	74	277	Zemní plyn
Mladá Boleslav	Ško-energo s.r.o.	444	1 700	Biomasa
Třinec	Energetika Třinec, a. s.	586,5	1 600	Zemní plyn
Karlovy Vary	Sokolovská uhelná, a. s. - Elektrárna Vřesová	821	1 200	Hnědé uhlí
Otrokovice	Teplárna Otrokovice, a. s.	247	1 500	Hnědé uhlí

5 Technologie teplárenství

Jako každé odvětví, tak i teplárenství se stále technologicky vyvíjí. Používají se různá paliva s ohledem na účinnost a dopad na životní prostředí a stále více se využívají moderní technologie, které napomáhají k efektivnější a čistší výrobě energií.

5.1 Paliva používaná v teplárenství

Základními palivy teplárenství v České republice jsou hnědé uhlí, černé uhlí a zemní plyn. Většina tuzemských tepláren využívá jako palivo uhlí, a to z domácího dovozu. Využívání domácího uhlí je ekonomicky přínosné a garantuje to jistotu a bezpečnost dodávky. Obnovitelné zdroje a druhotné zdroje energie, např. komunální odpad a biomasa, mohou být v nějakých případech a oblastech důležité, ale jsou to víceméně lokální zdroje s omezeným potenciálem. [1], [3]



Graf č. 4: Podíl používaných paliv na výrobě tepla z kombinované výroby elektřiny a tepla. [7]

5.1.1 Hnědé uhlí

V České republice je hnědé uhlí nejvyužívanější palivo pro výrobu elektrické a tepelné energie. V současné době se z něj získává teplo pro dálkové vytápění pro milion bytových jednotek.

V České republice a v Evropě jsou bohaté naleziště hnědého uhlí, které se těží v povrchových dolech. Oproti černému uhlí má cca poloviční výhřevnost, ale má menší náklady na těžbu. Jeho velká nevýhoda spočívá v produkci velkého množství škodlivých látek při spalování. [16]

5.1.2 Černé uhlí

Ačkoliv má černé uhlí znatelně větší výhřevnost než uhlí hnědé, využívá se jako palivo méně. Vysvětluje to jeho náročnější těžba. Černé uhlí je totiž položeno v hloubkách dosahujících dokonce až 1200 m. Kvalita takového uhlí se určuje podle obsahu uhlíku, kdy nejkvalitnějším černé uhlí se nazývá antracit a nejméně kvalitní tzv. plynové uhlí ze kterého se vyrábí svítiplyn. Pro ještě větší výhřevnost se používá koks, který se získává zahříváním černého uhlí v teplotách nad 1000 °C a při nízké koncentraci kyslíku. Stejně jako u hnědého uhlí, produkuje při spalování značné množství škodlivých látek. [16]

5.1.3 Zemní plyn

Zemní plyn je u nás největším konkurentem hnědého uhlí na úrovni centralizovaného a decentralizovaného vytápění. Je více ekologické palivo než uhlí. Produkuje téměř o polovinu méně škodlivých látek. Také má vysokou výhřevnost, ale značnější náklady na vytápění než uhlí. [16]

5.1.4 Komunální odpad

K získání energie z odpadu pro výrobu tepla i elektřiny se používají tzv. spalovny komunálního odpadu. Mohlo by se zdát, že spalování odpadu je neekologické a vznikají při

něm nebezpečné emise unikající do ovzduší. Zpracování odpadu ve spalovnách je naopak ekologický způsob. [17], [18]

První spalovna na území České republiky byla postavena v Brně již v roce 1905. V současnosti jsou v České republice celkem 4 spalovny, a to v Praze, Brně, Liberci a Plzni.

Tab. č. 3: Přehled spaloven podle výroby tepla a elektřiny za fiskální období 2018-2019. [19], [20], [21], [22]

Spalovny	Příjem odpadu [t/rok]	Výroba tepla [TJ/rok]	Výroba elektřiny [MWh/rok]
Praha	278 000	820	58 500
Brno	233 000	1 050	69 400
Liberec	96 000	650	3 200
Plzeň	93 000	770	36 000

Pozn.: Výroba elektřiny v Liberecké spalovně byla poznamenána poruchou turbíny.

5.2 Obnovitelné a druhotné zdroje energie

Pod pojmem obnovitelné zdroje je v České republice zahrnuta sluneční, větrná, vodní a geotermální energie a dále energie, která vzniká ze zpracování biomasy a biologicky rozložitelných odpadů. Byť úloha obnovitelných zdrojů stále narůstá, a do budoucna bude narůstat čím dál více, nemůžeme s nimi v nejbližších letech počítat jako s majoritním nahrazením dosavadních zdrojů. Pro centrální dálkové vytápění jsou například dřevo a sluneční energie nevhodné. Celkově jsou obnovitelné zdroje zatím lépe využitelné v lokálním získávání tepelné energie.

V České republice nejsou podmínky pro obnovitelné zdroje zcela příznivé. Slunce v našem podnebním pásmu během roku příliš dlouho ani prudce nesvítí, vítr příliš nefouká, ani řeky nemají velký spád a využití geotermální energie je zatím v počáteční fázi. Příklad u nás využitelného obnovitelného zdroje je zemědělská a lesní biomasa. Ale ani tento zdroj není nevyčerpatelný a vždy ekonomicky výhodný. Je limitován zejména degradací půdy nebo zdražením dřeva pro dřevozpracující podniky a papírny. Pěstovat biomasu je vhodné na nijak nevyužitých pozemcích a půdy vyšší bonity spíše nechat pro pěstování potravin. Proto by se mohla jevit jako ekonomicky i environmentálně prospěšnější než obnovitelné zdroje, investice do efektivnějšího využívání hnědého uhlí. Již dnes a do budoucna se přepokládají technologické inovace, podpora a velké využití oblastí fotovoltaiky, akumulace energie a kogenerace

z biomasy. [1]

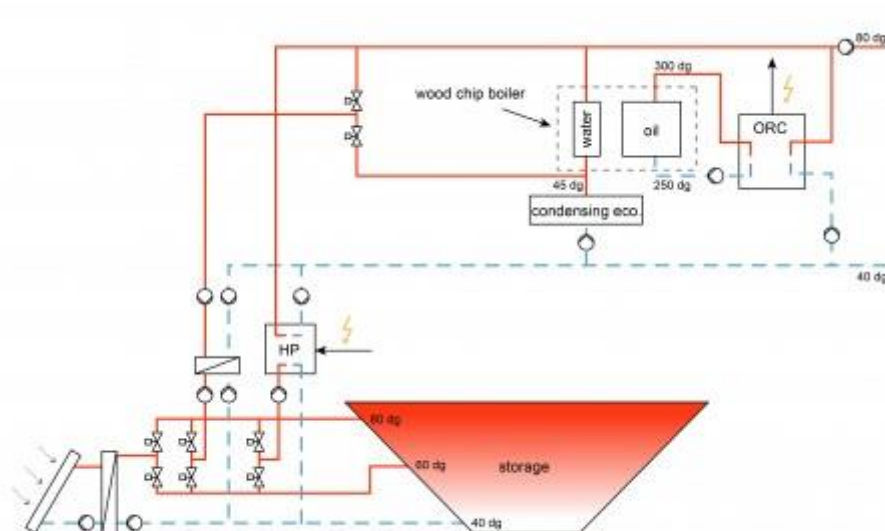
5.2.1 Solární energie

Teplo ze slunce je velmi snadno využitelná energie k vytápění nebo ohřevu vody, ale je to zdroj nestabilní. V zimě, kdy je největší spotřeba tepla, svítí slunce kratší dobu než v létě, kdy je spotřeba tepla nejmenší. Dnes jsou solární panely cenově dostupné, hlavně díky štedrým dotacím od státu. V České republice jsou velmi rozšířené, například na střeších rodinných domů, firemních skladů a kanceláří, pro vytápění celých objektů nebo pro ohřev vody pro vlastní potřebu. Pro centrální zásobování teplem není solární energie příliš vhodná, protože by bylo třeba vystavět rozsáhlé pláne kolektorů. [23]

Solární teplárna

Problémy nízké účinnosti, nestabilní výroby a neschopné akumulace energie, které jsou spojeny s obnovitelnými zdroji energie, solární teplárny řeší pomocí komplexního propojení solárních kolektorů, akumulací energie a čerpáním nízkopotenciální energie tepelným čerpadlem, které ke svému chodu využívá energii z biomasy. V zahraničí, konkrétně v Dánsku, již dlouhá léta solární teplárny fungují. Bohužel u nás je slunce jako zdroj tepelné energie pro centrální vytápění zatím nevyužité.

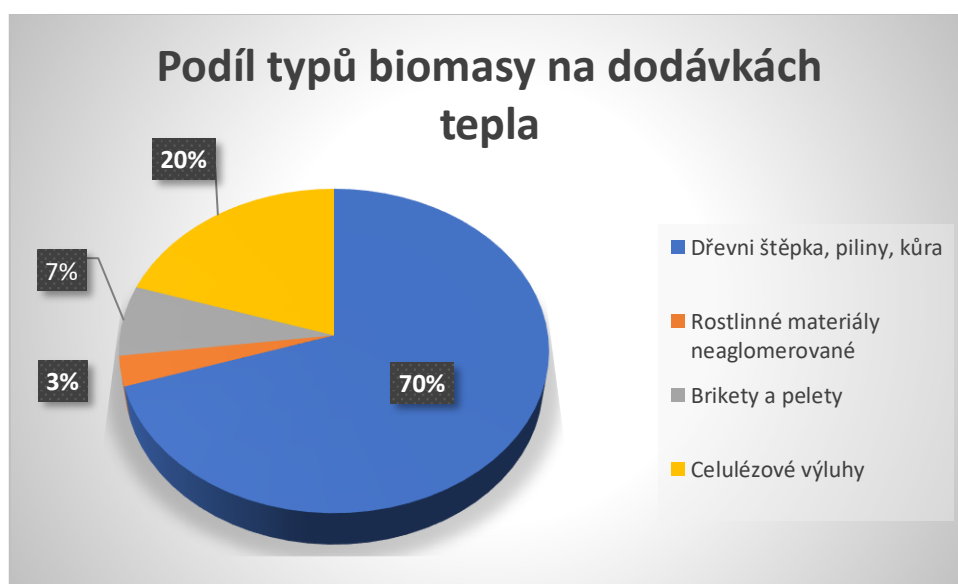
Chod solární teplárny je ovlivněn ročním obdobím. V průběhu jara a léta je možné vytápět celé město přímo pomocí sluneční energie. Pomocí solárních kolektorů se ohřívá voda pro dálkové zásobování a přebytečná energie se akumuluje v izolovaném podzemním zásobníku vody. Během podzimu, kdy samotný sluneční ohřev přestává stačit, se k ohřevu přidává kotel na dřevní štěpku nebo tepelné čerpadlo využívající teplo z akumulací nádrže. V zimě jde solární energie do ústraní a tepelné čerpadlo s kotlem na biomasu pracují téměř permanentně. [23]



Obr. č. 2: Schéma solární teplárny. [23]

5.2.2 Biomasa

Pod slovem biomasa jsou zahrnuty všechny podoby organismů (živočiškové, rostliny, houby, sinice, bakterie). Ve spojení s teplárenstvím je potřebné podstatu slova biomasa zúžit na biopalivo, které je vhodné pro teplárenské zpracování. Jako biopalivo se zde rozumí dřevní štěpka, brikety, pelety a v menší míře zastoupené rostlinné materiály a celulósový výluhy. [24]



Graf č. 5: Podíl typů biomasy na dodávkách tepla v roce 2019. [7]

Nejstarším způsobem, jak získat energii z biomasy, je přímým spalováním v kotlích. Ve formě dřeva, briket či pelet se biomasa velmi často využívá jako palivo v domácnostech. Biomasa stále nabírá většího významu v souvislosti s kogenerační výrobou. Kdy při kombinované výrobě elektřiny a tepla dosahuje účinnosti využití energie z paliva cca 90 %. Kdežto při výrobě samotné elektřiny z biomasy je účinnost využití energie paliva asi 50 %.

V České republice výroba tepla a elektřiny z biomasy v posledních letech stále roste. Využívá se zejména spoluspalování biomasy a uhlí. Podle studií je společné spalování biomasy a uhlí nejjednodušší a nejlevnější způsob, jak využít biomasu a potlačit negativní atributy uhlí i biomasy. [24], [25]

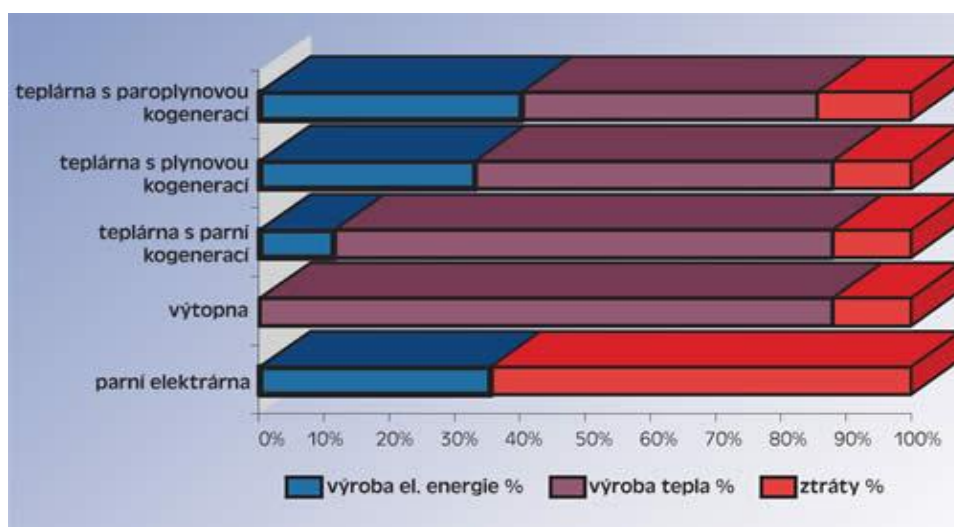
5.2.3 Geotermální energie

Tepelná energie uchována v jádru země se nazývá geotermální. Je stále více využívána k výrobě elektřiny nebo přímo na vytápění.

V zahraničí se v závislosti na příhodných přírodních podmínkách využívá geotermální energie pro výrobu elektřiny v geotermálních elektrárnách. V ČR se prozatím žádná geotermální elektrárna neprovozuje. Možným důvodem je fakt, že v našich podmínkách je myslitelná elektrárna, která bude využívat teplo ze suchých hornin z hloubky cca 5 km. To je velmi nákladné a náročné. V našich podmínkách, ale i ve světě, je velmi rozšířené využití geotermálního tepla jako zdroj pro tepelná čerpadla. [26]

5.3 Kogenerace

Ve velkých uhelných a jaderných elektrárnách se využije jen 32 % energie paliva na výrobu pouze samotné elektrické energie, a naopak ve velkých městech existuje mnoho výtopen a kotelen produkující jen tepelnou energii. Při kombinované výrobě tepla neboli kogeneraci, jde o výrobu elektrické energie, při které se vzniklé teplo pomocí chladících věží neodvádí do ovzduší, jako by tomu bylo u samostatné výroby elektřiny, ale dále se využívá například pro centrální vytápění. [27], [28]



Obr. č. 3: Rozdělení el. energie, tepla a vzniklých ztrát při výrobě v různých typech oddělené a kombinované výroby. [27]

Kogenerace je efektivní způsob využití paliva a ekologicky ohleduplný způsob výroby elektrické a tepelné energie. Účinnost kogenerace je u moderních kogeneračních technologiích více než 90 %. Zatímco u klasických zdrojů elektrické energie, kde se vzniklé teplo nijak nevyužívá, je účinnost využití energie v palivu 30 - 40 %. [27], [28]



Obr. č. 4: Porovnání účinnosti kombinované a oddělené výroby tepla a elektřiny. [27]

Využití kogeneračních jednotek je opravdu široké. Využívají se pro dodávku tepla i elektřiny do průmyslových podniků, bytových domů, ale i celých měst. Vyrábí se s výkonem od jednotek kWe až po stovky MWe. Existuje mnoho druhů kogeneračních jednotek, které mohou jako palivo využívat velkou škálu paliv, např. uhlí, topné oleje, zemní plyn, biopaliva a biomasu.

Velkou výhodou kogenerace je jistě vyšší účinnost využití energie z paliva vzhledem ke klasickým zdrojům elektrické nebo tepelné energie. Všechny výhody kogenerace jsou uvedeny v tabulce č. 1. [27], [28]

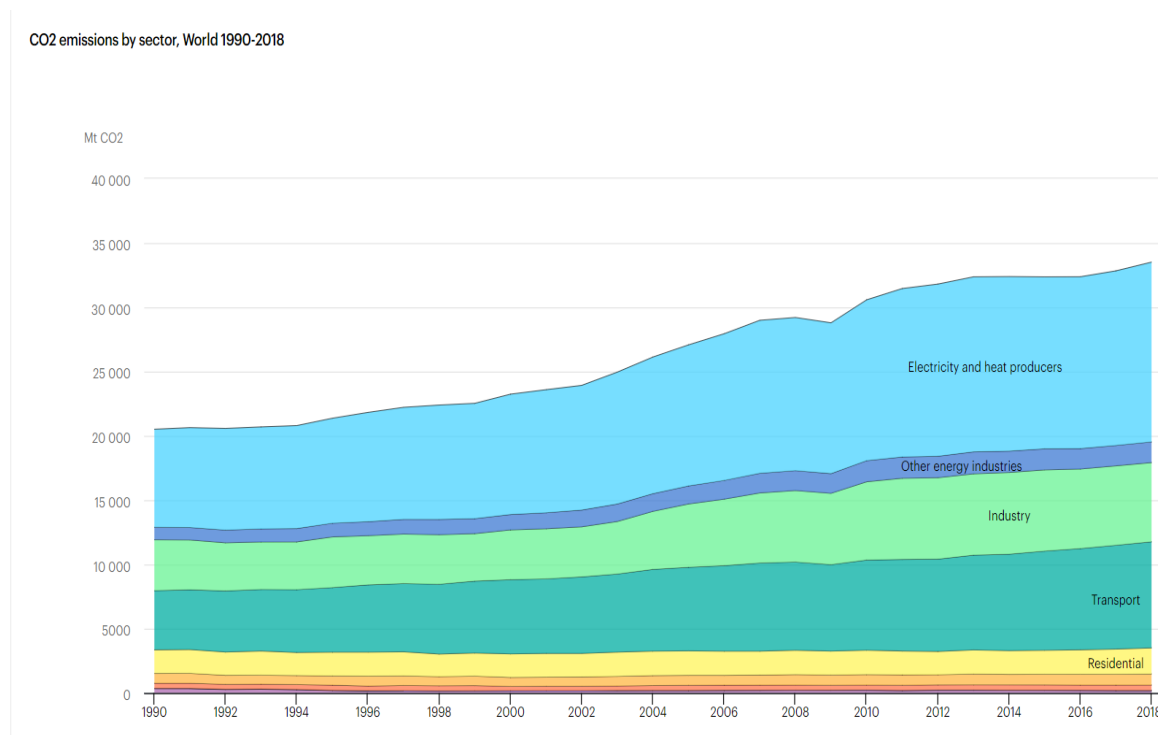
Tab. č. 4: Přehled výhod kogenerace. [8]

Výhody kogenerace	
1.	Omezení emisí skleníkových plynů.
2.	Větší rozšíření a rozvoj decentralizované výroby díky možnosti projektování kogeneračních jednotek na míru.
3.	U decentralizované výroby téměř odpadají přenosové a distribuční ztráty.
4.	Při Black-outu je kogenerace schopna zastat funkci náhradního zdroje a dodávat elektřinu a teplo.
5.	Větší spolehlivost dodávky energie v dané lokalitě.
6.	Navýšení konkurence díky navýšení počtu výrobců elektrické a tepelné energie.
7.	Vyšší účinnost využití energie paliva.

Kogenerace má sice spoustu výhod, ale je třeba mít na paměti, že má i své omezení. Aby bylo možné co nejefektivněji využívat energii paliva, musí také existovat efektivní odběr této energie, tedy odběr elektřiny a tepla. Přičemž stěžejní je zajištění odběru tepelné energie, protože teplo je lokální energií a nedá se převádět na velké vzdálenosti, jako je to možné u elektřiny. Při nezajištění dostatečného odběru tepelné energie, např. v letním období, vzniká problém. Buďto vyrábět jen elektřinu a jen část tepla využívat na ohřev užitkové vody, nebo zůstat 4–6 měsíců bez výdělku a nechat zařízení nečinné. Obě varianty pak mají určitý ekonomický dopad. [27], [28]

5.4 Dekarbonizace

Největším zdrojem skleníkových plynů je spalování fosilních paliv, zejména v energetice. Stále rostoucí koncentrace CO₂ a dalších skleníkových plynů ve vzduchu má za následek zvyšování teploty vzduchu i oceánů, tání ledovců a s tím spojený růst hladin oceánů. To vše má dopad na společnost a ekosystémy (např. záplavy nízko položených pobřežních oblastí, pokles koncentrace O₂ ve vodě, umírání korálových útesů, posuny vegetačních pásem, častější a silnější vlny veder, sucha, povodně, atd...). [29]



Graf č. 6: Porovnání emisí CO₂ ve světě podle sektorů. [30]

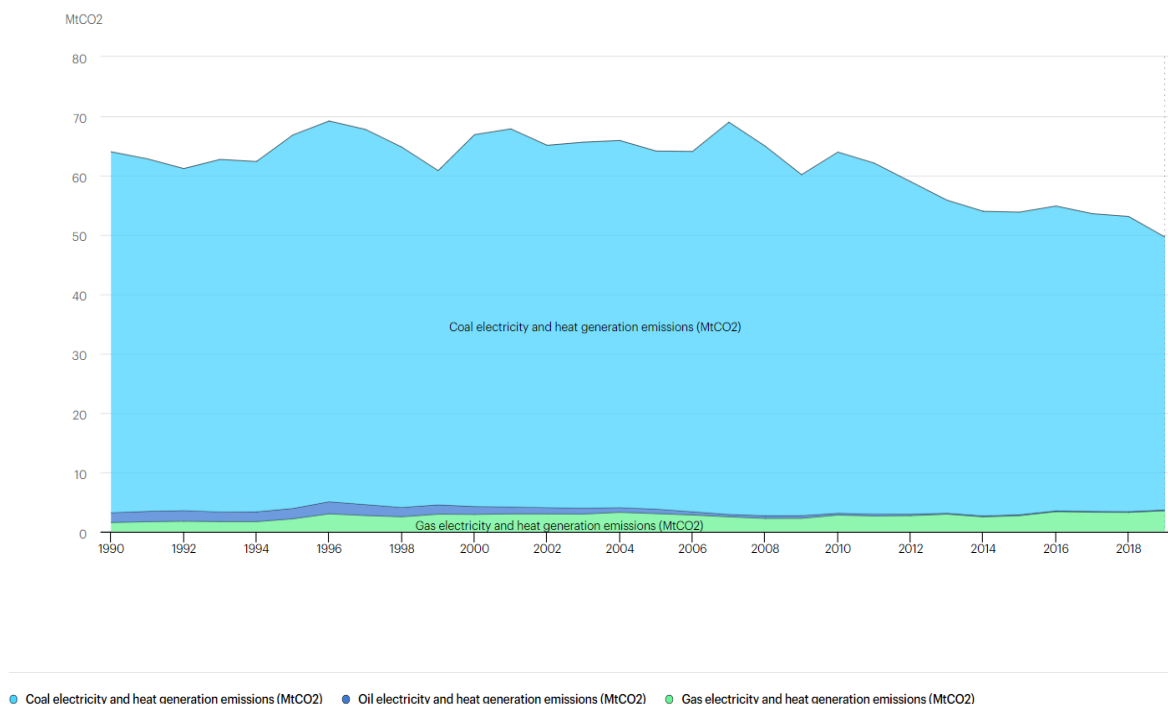
K emisím skleníkových plynů se pojí tzv. emisní povolenky, ty dovolují daným podnikům vypouštět do ovzduší dané množství CO₂. Česká republika vstoupila do Evropského systému obchodování s emisními povolenkami v roce 2005. Povolenky se udělují státům a stát je dále přerozděluje jednotlivým podnikům. Celý systém emisních povolenek má co nejvíce omezit emise skleníkových plynů. [31], [32]

Tab. č. 5: Emisní faktory oxidu uhličitého pro vybrané druhy paliva. [32]

Typ paliva	Druh paliva	Emisní faktor (t CO ₂ /MWh)
Pevné palivo	Hnědé uhlí	0,36
	Černé uhlí	0,33
	Koks	0,39
Kapalné palivo	Těžký topný olej	0,27
	Lehký topný olej	0,26
	Benzín	0,25
Plynné palivo	Zemní plyn	0,2
	Propan-butan	0,24
	Koksárenský plyn	0,16
Elektřina		1,17
Biomasa		0

Česká republika je v rámci EU hlavním představitelem výroby elektřiny a tepla z uhlí na počet obyvatel. Tudíž jsou u nás hlavním znečišťovatelem ovzduší uhelné elektrárny a teplárny. Emisní náročnost energetiky v ČR je dokonce tak velká, že se řadí mezi největší producenty skleníkových plynů v přepočtu na obyvatele. Bohužel jsou uhelné elektrárny a teplárny zdrojem i jiných znečišťujících látek, které mají negativní dopad na lidské zdraví a životní prostředí. Dekarbonizace české energetiky bude kvůli zmíněným negativním vlivům v nejbližších letech nezbytná. [29]

CO2 emissions from electricity and heat by energy source, Czech Republic 1990-2019



Graf č. 7: Porovnání emisí CO₂ při výrobě elektřiny a tepla v ČR podle použitých fosilních paliv. [33]

Největší podíl využívaného paliva pro teplárenství v ČR má stále uhlí. V nejbližších letech by měla přijít modernizace teplárenských soustav. Tato modernizace bude představovat přechod z uhlí na zemní plyn a biomasu. Zejména pro menší zdroje, které musí splnit zpřísněné ekologické normy do roku 2023, je přechod na ekologičtější paliva s menšími emisemi CO₂ nutnost. Přechod na ekologičtější palivo bude stát desítky miliard korun a bude potřeba nalézt a nasadit mnoho technologií. Velkou roli by mohla sehrát jaderná energetika. [29], [34]

5.4.1 Jaderná elektrárna jako zdroj tepla

Jaderná elektrárna nemusí být nutně spojena jen s výrobou elektřiny. Je to také bezemisní zdroj tepelné energie. V ČR není vytápění z jaderných elektráren velmi rozšířené, ale přece jen už se u nás teplo z jaderné elektrárny využívá. Přes 20 let už město Týn nad Vltavou využívá pro vytápění teplo z jaderné elektrárny Temelín. To zde umožnilo zbavit se 22 místních výtopen a stát se tak jedním z měst s nejčistším ovzduším v ČR.

Další projekt vytápění z jaderné elektrárny Temelín byl zahájen v roce 2019. Jedná se

o výstavbu 26 km dlouhého horkovodu z elektrárny do města České Budějovice. Součástí výstavby horkovodu budou i 2 čerpací stanice a 3 potrubní mosty. I přes takovou délku se předpokládají minimální tepelné ztráty v horkovodech díky použití nejmodernějších materiálů na izolaci. Bohužel, došlo ke zpoždění s výstavbou a není znám termín dokončení. Teplo z Temelína by mělo pokrýt cca 30 % ze současné výroby tepla v Českých Budějovicích. To odpovídá roční dodávce tepla 750 TJ. Celý projekt má také za cíl přinést do města čistší ovzduší. To se díky velmi ekologické kombinované výrobě elektřiny a tepla z jaderné elektrárny vyplní. Ročně se ušetří až 80 000 t CO₂, které by byly jinak vypuštěné do ovzduší. Dalším plánovaným projektem do budoucna je například dálkové vytápění z jaderné elektrárny Dukovany do Brna. [34], [35], [36]

5.5 Ukládání tepelné energie

Hlavní důvod využití akumulace energie je přenesení energie v čase. Dovoluje uchovat energii v období přebytku energie a na druhou stranu dovoluje využít tuto energii v době kdy je nedostatek energie (např. léto-zima, den-noc). Energie se ukládá do akumulčního prvku, kterým je nejčastěji voda. V ideálním případě by měl být akumulátor co nejmenší, nejlevnější a s co nejmenšími ztrátami.

Akumulace tepelné energie jde provést několika způsoby. Lze ji provést jakýmkoli vratným a opakujícím se procesem, při kterých stoupá vnitřní energie soustavy. Způsoby se dělí podle fyzikálně chemického principu. [37]

5.5.1 Akumulace citelného tepla

Nejjednodušší, a proto i nejstarší používaný způsob uchování tepelné energie je právě ohřev pracovní látky. Princip je založen na využívání měrného tepla látky. Pracovní látka by měla mít co největší tepelnou kapacitu a také co nejnižší cenu. Tomu naštěstí odpovídá nejrozšířenější kapalina na planetě voda (jako další, ale méně vhodná látka, se pro akumulaci tepla dá použít např. kamenivo). Voda je poměrně levná a má vysokou měrnou tepelnou kapacitu 4,2 KJ/(kg.K). Ukládání tepla do horké vody se používá v domácnostech, ale také v teplárnách. U domácností se setkáme s bojlerem a v případě tepláren s velkými akumulčními nádržemi. Akumulční nádrže jsou ve své podstatě velké termosky naplněné vodou. Ve chvíli,

kdy vyrobené teplo již není soustava zásobování teplem schopna pojmout, použije se přebytečná tepelná energie na ohřev vody v nádrži. Energie teplé vody se využije později.

Hodně tepláren již akumulaci tepelné energie využívá. Akumulátory jim pomáhají efektivně využívat vyrobené energie z kogenerační výroby. Dokážou se přizpůsobit poptávce po elektřině a nadbytečné teplo akumulovat a využít později, kdy je poptávka po elektřině menší. Taková flexibilita je pro teplárny výhodná, takže z dříve používaných malých akumulátorů se v současnosti přechází i na větší akumulátory pro velké soustavy zásobování teplem. V ČR je ceněna největší soustavou ukládání tepelné energie do horké vody společnost Teplárny Brno. [37]

Teplárny Brno – provoz Červený mlýn

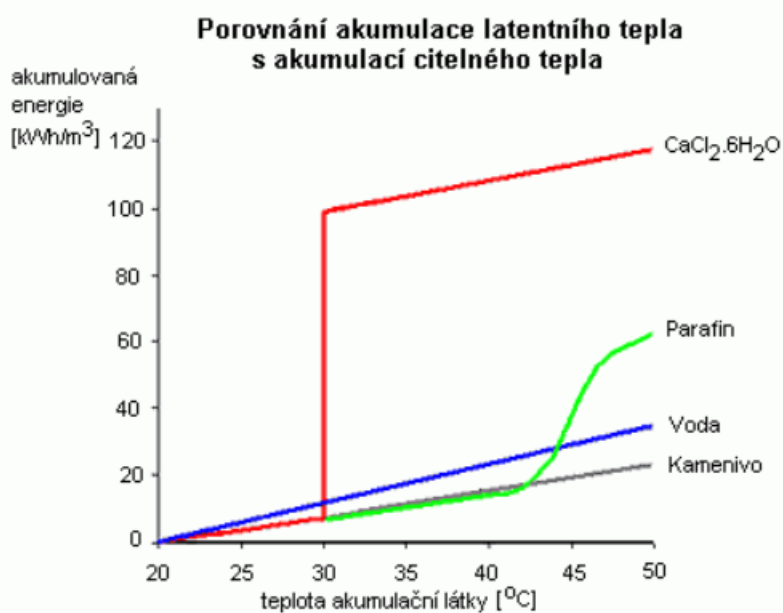
Největší tuzemský akumulační systém do horké vody vznikl přidáním k prvotní akumulační nádrži nádrží druhou. Druhá nádrž nebyla vybudována „na volné ploše z ničeho“, vznikla přestavěním zásobníku na lehký topný olej, který již nebyl využíván. Teplo je dodáváno nejen z vlastního systému teplárny, ale také může být dodáno z jiných tepelných zdrojů přes tepelnou síť. Obě akumulační nádrže v Červeném mlýně mají objem 9 900 m³. Je možno v nich uchovat 345 MWh tepelné energie. Takový objem energie je dostatečný pro pokrytí denní tepelné potřeby pro 17 000 domácností. [38]

5.5.2 Akumulace latentního tepla

Akumulace latentního tepla není tak využívána jako akumulace citelného tepla. Je založena na využívání entalpie fázové změny pracovní látky. Při změně skupenství látky dochází k uvolňování/odebírání tepla. I když známe 4 druhy fázových změn látek (tání/tuhnutí, vypařování/kondenzace, sublimace/desublimace, ionizace/rekombinace), pro nás je vhodný jen jeden druh. Tím druhem je přechod mezi kapalnou a tuhou látkou, protože pro uskladnění plynu je třeba velké zařízení, které je schopno odolávat vysokým tlakům.

Vhodné látky pro tento způsob jsou chemicky čisté látky, které tají při konstantní teplotě jako jsou síran sodný ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \times 10\text{H}_2\text{O}$ s entalpií tání 243 kJ/kg při teplotě cca 32 °C) nebo chlorid vápenatý ($\text{CaCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$) s entalpií tání 171 kJ/kg při teplotě cca 30 °C. Pro dosažení

požadované teploty tání pomocí různého složení se používají směsi (např. parafín). Směsi netají jen při konkrétní teplotě, tají při větším rozsahu teplot. [37]



Obr. č. 5: Porovnání akumulace citelného tepla pro látky voda, kamení a citelného tepla pro látky chlorid vápenatý, parafín. [37]

Přestože se více využívá akumulace citelného tepla, akumulace latentního tepla má oproti akumulaci citelného tepla jisté výhody. Akumulátor má konstantní pracovní teplotu, kterou lze stanovit použitím příhodné pracovní látky, a obvykle menší objem. Nicméně u chemicky čistých látek v praxi dochází ke změně teploty fázové změny a dochází ke zvětšení rozsahu teplot z důvodu znečištění chemicky čistých látek. Nevýhodou je pak poměrně vyšší cena pracovní látky v porovnání s cenami pracovních látek u akumulace citelného tepla. [37]

Tab. č. 6: Přibližné porovnání materiálových vlastností a cen vybraných pracovních látek. [39]

Pracovní látka	Objemová hmotnost v sypkém stavu [kg/m ³]	Cena pracovní látky vztažená k akumulční schopnosti [Kč/GJ]	Měrná akumulovaná energie [GJ/m ³]
CaCl ₂	1 200	3 800	2,15
Na ₂ SO ₄	1 468	8 400	0,36
voda	1 000	150	0,21
kamenivo	1 500	2 900	0,14

5.5.3 Využití akumulace v teplárenství

Akumulace tepla nabírá stále více na popularitě. V teplárnách akumulace zvyšuje účinnost využití paliva, tím pádem šetří palivo a má pozitivní vliv na ekonomiku celé teplárny. Akumulace napomáhá pokrýt tepelné špičky v odběru tepla a tím omezit nebo úplně vyloučit potřebu špičkových kotlů.

Časem by se mohla většina tepláren stát komplexními energetickými centry. Čím dál více tepláren s elektrokotli napomáhá elektrizační soustavě přeměnou elektrické energie na tepelnou a tím pokrýt přebytky elektřiny v soustavě způsobené například neregulovatelnými obnovitelnými zdroji. Také si teplárny stále více pořizují akumulční baterie na elektřinu, které dokážou nabít ze svých zdrojů a elektřinu v případě potřeby ihned dodat do sítě. Teplárny tedy budou schopny dodávat odběratelům teplo a elektřinu s vysokou účinností výroby, využít přebytky elektřiny v síti a svižně regulovat výrobu elektrické energie. [38]

5.6 Budoucnost Českého teplárenství

S ohledem na stále stoupající ceny emisních povolenek a faktu, že individuální výroba tepla je od nich osvobozena, nebudou teplárny na hnědé a černé uhlí do budoucna konkurenceschopné. Proto většinu poptávky po teple by měla pokrýt kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET). Doplnovat poptávku by pak měli zdroje na zemní plyn a lokální zdroje na biomasu či komunální odpad. Velkou roli by také mohly sehrát zdroje na jaderné

palivo, o kterých se stále více začíná mluvit jako o bezemisním a levném zdroji tepla. [40]

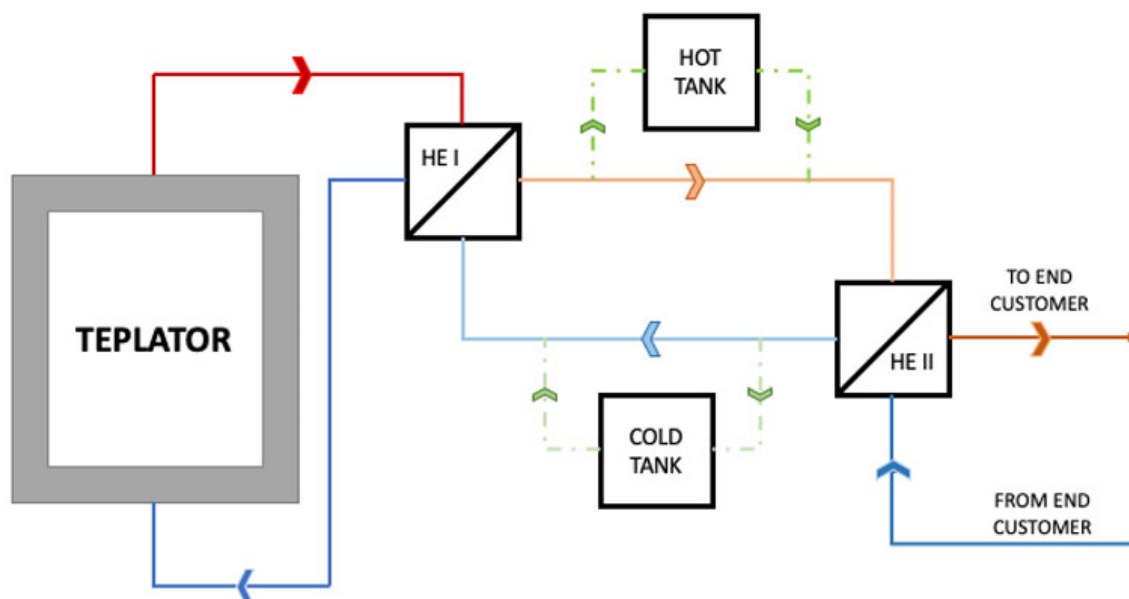
6 TEPLATOR

Koncept TEPLATOR byl vyvinut skupinou vědců na Fakultě elektrotechnické ZČU v Plzni a Českém institutu informatiky, robotiky a kybernetiky ČVUT v Praze. Jedná se o bezemisní zdroj levného tepla pro soustavu centrálního zásobování teplem. TEPLATOR jako palivo využívá již vyhořelé palivo z lehkovodních reaktorů, v podstatě toto palivo recykluje.

Štěpením jader, oproti spalování fosilních paliv, nedochází ke vzniku emisí CO₂ a ani jiných škodlivých látek, které znečišťují ovzduší (např. těžké kovy, oxidy síry, oxidy dusíku, atd...). Jelikož TEPLATOR využívá již použité palivo, ve kterém je stále dostatek uložené energie, ale již by se nedalo využít v jaderných elektrárnách a bylo by uskladněno ve skladech vyhořelého jaderného paliva, nedochází ke vzniku dalšího jaderného odpadu. První návrhy konceptu TEPLATOR předpokládají využití paliva z reaktorů VVER-440. V Česku a na Slovensku je pro reaktor VVER-440 v současnosti uloženo cca 40 000 kazet použitého paliva a počet stále roste. Typ TEPLATOR DEMO potřebuje ke svému provozu na 2 roky 55 kazet použitého paliva. To odpovídá, při současné zásobě paliva, výdrži cca 1 455 „TEPLATOR roků“. TEPLATOR FULL spotřebuje také 55 kazet, ale za jednu topnou sezónu. Výdrž paliva tedy odpovídá na cca 730 „TEPLATOR roků“. [41], [42], [43]

6.1 Současné zpracování TEPLATORu

Koncept používá známé, ověřené komponenty. Pracuje celkem se třemi okruhy. Primární okruh slouží k chlazení aktivní zóny, sekundární okruh k ukládání energie a terciální k přenosu tepla odběratelům. [42], [43]



Obr. č. 6: Schéma zapojení TEPLATORu v soustavě CZT. [43]

Možnost navrhnout současnou podobu a konfiguraci TEPLATORu, která umožňuje získat z již použitého paliva znovu energii, zajistili až moderní výpočtové přístupy. V nynějším návrhu jde o tří smyčkový systém, kde jsou 3 výměníky tepla, 3 čerpadla a 3 větve chladiva. Palivo je umístěno v nádobě s kanálky, v tzv. aktivní zóně. Prostor mezi kanálky je vyplněn moderátorem. V kanálkách proudí chladivo, které dále postupuje potrubím, které je svedeno do kolektoru. Chladivo dále protéká skrz výměníky, kde předá část své energie nosnému mediu v sekundárním okruhu. Ochlazené chladivo je hnáno čerpadly zpět do aktivní zóny. Teplonosné médium v sekundárním okruhu (podle provozních parametrů voda nebo tekutá sůl) předá přes sekundární výměníky energii do topného (terciálního) okruhu, ze kterého je teplonosné medium rozváděno k odběratelům. K sekundárnímu okruhu jsou ještě napojeny dva zásobníky, které umožňují uložit zbytkové teplo a odvést ho v případě teplárenských špiček. [44]

V současné době koncept TEPLATOR pracuje s jednotkou TEPLATOR DEMO s výkonem 50 MW a teplotou na výstupu 98 °C s plánovaným dokončením v roce 2028. Podle uspořádání aktivní zóny, lze být rozšířena na jednotku TEPLATOR FULL s výkonem 150-170 MW a teplotou na výstupu 200 °C s očekávaným nasazením do roku 2032. Pro zajištění ještě vyšších teplot až 420 °C je ve vývoji jednotka TEPLATOR HT. Avšak doba nasazení typu HT se neočekává dříve než v roce 2035. [41],[42], [43]

6.1.1 TEPLATOR DEMO

Tab. č. 7: Vybrané technické parametry pro koncept TEPLATOR DEMO. [45]

Technické parametry	
Tepelný výkon	50 MW _t
Chladivo	Těžká voda (D ₂ O)
Moderátor	Těžká voda (D ₂ O)
Pracovní tlak	atmosférický
Teplota chladiva při vstupu/výstupu z aktivní zóny	45/98 °C
Typ paliva/uspořádání soustavy	VVER440/hexagonální se 126 palivovými pruty
Počet palivových kazet	55
Životnost	60 let
Mechanismus řízení reakce	Výška hladiny moderátoru
Systém havarijního odstavení	Absorpční pláty

Koncept TEPLATOR DEMO je 6,5 m vysoký a 3,7 m široký. Primární nádoba se skládá z grafitového válce a spodního a horního víka. Rozměry byly navrhovány, aby celý koncept byl co nejkompaktnější s ohledem na cenu těžké vody. Podařilo se dosáhnout, že TEPLATOR potřebuje méně než 60 m³ těžké vody. [41], [42]

Roční vyrobený objem tepla, pomocí TEPLATOR DEMO, lze spočítat z faktu, že z paliva dostaneme energii 50 MWh každou hodinu. Poté se převede jednotka MWh na GJ, která se v teplárenství více používá.

$$1 \text{ MWh} = 3\,600 \text{ MJ} = 3,6 \text{ GJ} \quad [1]$$

Dále víme, že topná sezóna v ČR je cca 9 měsíců, kde každý měsíc trvá průměrně 30 dnů a každý den 24 hodin. Nakonec ještě předpokládáme průměrné využití během sezóny 85 %. Z výpočtu dostaneme výsledný objem vyrobeného tepla Q_T .

$$Q_T = 50 * 3,6 * 9 * 30 * 24 * 0,85 = 991,44 \text{ TJ} \doteq 1 \text{ PJ} \quad [2]$$

6.2 Ekonomická stránka konceptu TEPLATOR

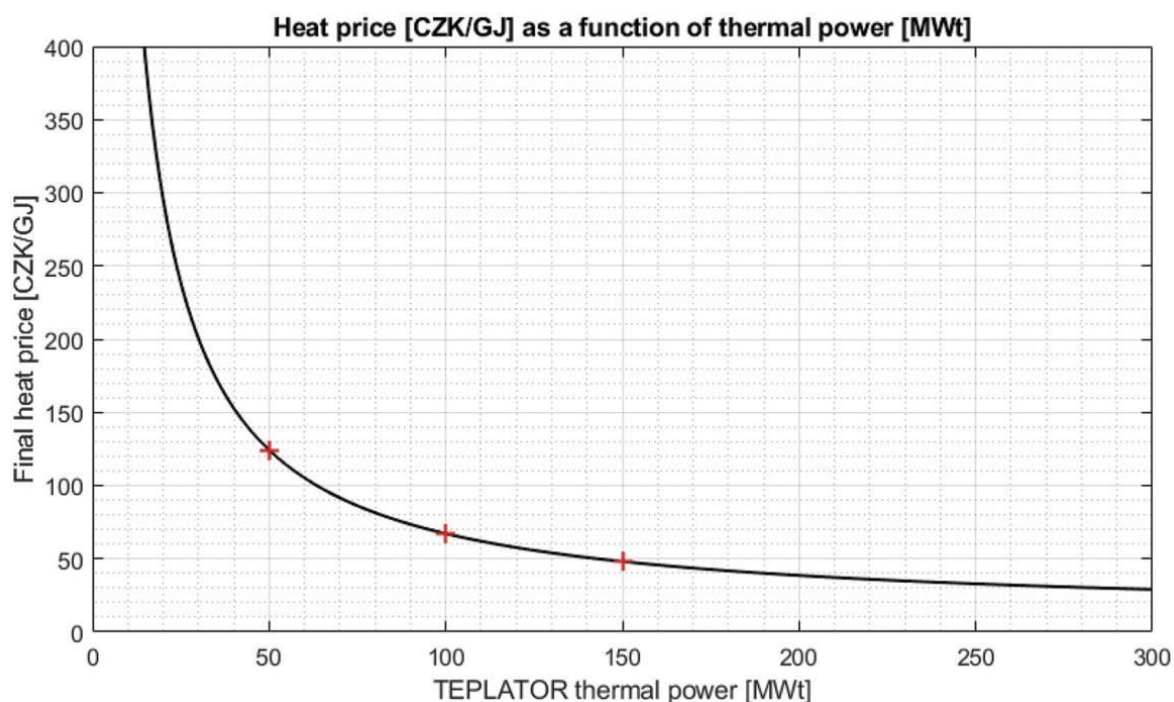
Hlavním cílem konceptu TEPLATOR je bezpečně vyrábět levné teplo. Návrh tedy počítá s použitím již ověřených a bezpečných komponentů splňujících nejvyšší bezpečnostní požadavky. Počáteční investice se odhaduje na 800 000 000 - 1 000 000 000 Kč, z čehož je asi polovina určená pro nákup těžké vody, které je potřeba cca 60 m³. Cena superčisté těžké vody se pohybuje od 30 000 Kč/kg až do 40 000 Kč/kg, kdy pro odběr většího objemu vody pro průmyslové využití je cena znatelně snížena a počítá se s cenou 6 000 Kč za kilogram těžké vody. Náklady, které představuje decommissioning (vyřazení z provozu) konceptu by byly hrazeny z prodeje těžké vody, která je po využití v konceptu stále použitelná.

O provoz konceptu, kromě období, kdy bude zařízení mimo provoz, se dokáže postarat 10 osob. Celkové fixní náklady na provoz, na kterých se majoritně podílí pojištění, doprava a výměna paliva, činí 30 000 000 Kč/rok. Není zde zahrnuta cena za nákup paliva, jelikož návrh uvažuje s použitím vyhořelého paliva a s tím spojeny jen náklady na převoz paliva. Nicméně lze jako palivo využít čerstvé jaderné palivo s cenou cca 80 000 000 Kč na jednu vsázku, která podle instalovaného výkonu zařízení vydrží na 1-2 topné sezóny. [41]

Tab. č. 8: Náklady na výstavbu a provoz konceptu TEPLATOR. [41]

Počáteční investice:	800 000 000 - 1 000 000 000 Kč	z toho:	Výstavba:	400 000 000 Kč
Fixní provozní náklady:	30 000 000 Kč/rok		Nákup těžké vody:	400 000 000 Kč
Odvod na jaderný účet:	30 Kč za vyrobenou MWh tepla			
Náklady za čerstvé palivo: (v případě použití)	40 000 000 - 80 000 000 Kč/rok			

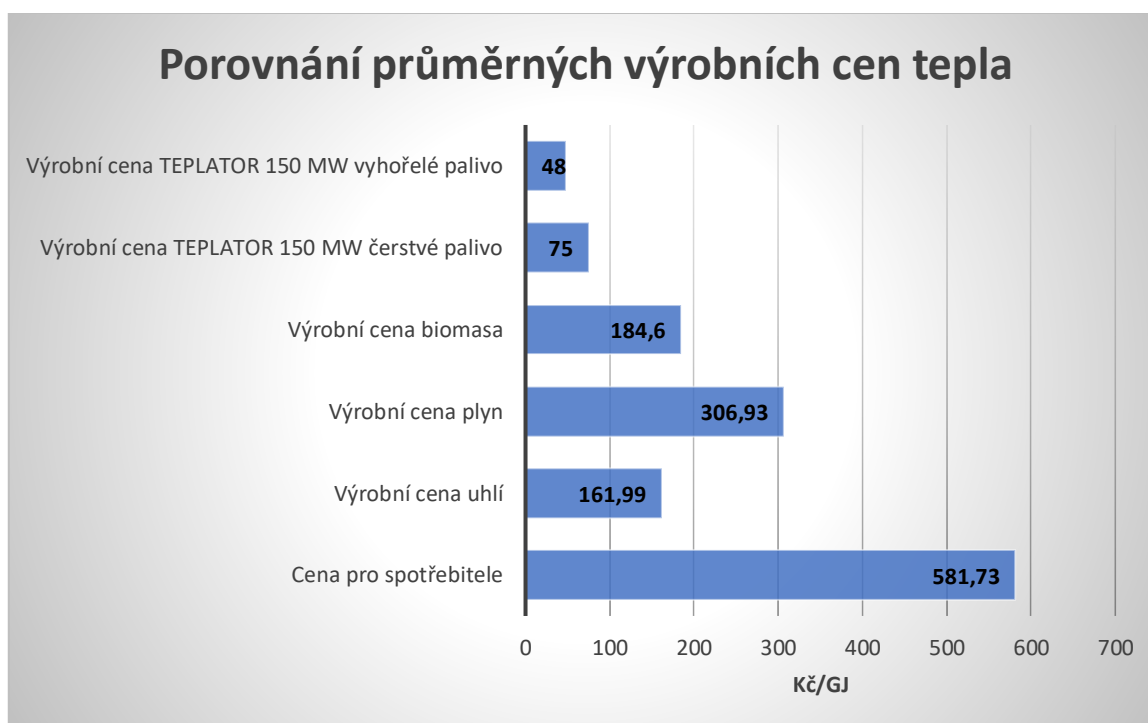
Jak již bylo zmíněno dříve výsledná cena za vyrobený GJ tepla se odvíjí od instalovaného tepelného výkonu zařízení. Pro výkon 50 MW je cena nejvyšší a se zvyšujícím se výkonem zařízení klesá cena. Ceny jsou znázorněny na Obr. č. 7.



Obr. č. 7: Závislost ceny tepla za GJ na instalovaném výkonu zařízení. [41]

6.3 Potenciál k využití

Největší přínosy konceptu TEPLATOR jsou v oblasti dálkového vytápění jsou ekonomické a ekologické. Cena za gigajoul tepla z TEPLATORu může být i mnohonásobně menší než z jiných teplárenských zdrojů, a navíc při použití vyhořelého paliva, kdy předpokládáme jen s náklady spojenými s převozem paliva, odpadají téměř zcela náklady na pořízení paliva. Orientační porovnání cen pro teplo ze zdrojů na různé druhy paliva je uvedeno v grafu. č. 8. Znárodněna je autory prezentovaná cena tepla produkovaného TEPLATOREM o nejvyšším výkonu 150 MW. Výrobní cenu tepla z uhlí a plynu představují palivové náklady a poplatky za emisní povolenky, u biomasy pouze palivové náklady. Nejsou zahrnuty náklady na provoz a údržbu zařízení. Finální cena pro spotřebitele je průměr ČR včetně DPH a tedy obsahuje také náklady na distribuci tepelné energie.



Graf č. 8: Porovnání průměrných výrobních cen tepla pro vybraná paliva. [41], [46], [47], [48]

Co se týče ekologie, stále je v ČR mnoho uhelných tepláren, které jsou v teplárenství hlavním znečišťovatelem ovzduší. V rámci dekarbonizace českého teplárenství, zlepšení kvality ovzduší a omezení skleníkových plynů, připadají jako globální náhrada za uhelné zdroje jen zdroje na zemní plyn. Další náhradou, a to velmi ekologickou, by mohl být právě koncept TEPLATOR, který je přizpůsobený na využívání již vyhořelého jaderného paliva z reaktorů typu VVER-440 (ten se nachází například v JE Dukovany). Takového paliva je v České republice i na Slovensku uskladněno mnoho a jeho počet stále přibývá. Využitím vyhořelého jaderného paliva tedy odpadá nejen potřeba těžit stále nové palivo, ale také nevzniká žádný nový nebezpečný odpad.

Kvůli vypočítanému ročnímu objemu vyrobeného tepla Q_T je koncept TEPLATOR DEMO s výkonem 50 MW teoreticky vhodný zdroj pro města nebo vytápěné oblasti se spotřebou dálkově dodávaného tepla rovnou nebo vyšší než 1 PJ za rok. Z tab. č. 2 se jedná skoro o všechna uvedená města.

V praxi se však očekává nasazení konceptu TEPLATOR DEMO do lokalit se spotřebou tepla ze systému CZT vyšší než 2 TJ/rok. Jelikož je koncept DEMO s výkonem 50 MW jen demonstrační jednotka, bude docházet v komerčním využití k navýšení výkonu jednotky až na

150 MW. Na takové navýšení výkonu je každá jednotka přizpůsobena a není tedy potřeba nová přestavba nebo výstavba. Navíc z důvodu vysokých nákladů na výstavbu je ekonomicky výhodné provozovat TEPLATOR s vysokým výkonem. Jeho dlouhodobý provoz při sníženém výkonu nevyužije maximálního potenciálu celého konceptu a jeho provoz by nebyl tak ekonomicky ani ekologicky přínosný. S vyšším instalovaným výkonem TEPLATORu také klesá dle Obr. č. 7 cena za GJ tepla. [41]

Velkých měst v ČR se spotřebou nad 2 000 TJ/rok je hned několik. Koncept TEPLATOR by tedy mohl být nasazen do soustavy CZT a vytápět velká města (jmenovitě se například jedná o města: Praha, Brno, Ostrava, Plzeň, Hradec Králové a Pardubice). O teplo, by se také mohly dělit sousedící lokality s menší spotřebou tepla a tím by využití TEPLATORu nebylo omezeno jen na velká města. [42]

7 Závěr

V první teoretické části práce byly představeny technologie výroby a rozvodu tepelné energie a jak vnímáme teplárenství v současné době. Na tyto informace navazuje historie českého teplárenství a současný stav teplárenství v ČR se stručným popisem vybraných tepláren a tabulkou významných tepláren, které dodávají teplo do největších českých měst.

Druhá část práce je zaměřena na moderní technologie a paliva a jejich využití v soustavě CZT. Z paliv jsou přiblížena klasická paliva, jako je hnědé a černé uhlí a zemní plyn, které pro dálkové vytápění využívají již desítky let, ale také komunální odpad. Ten se sice u nás k výrobě tepla také využívá desítky let, ale ne v takové míře. U nás jsou zatím 4 velké spalovny na komunální odpad a s ohledem na to, že lidstvo produkuje stále více odpadu, budou přibývat další. Dále jsou zmíněny obnovitelné a druhotné zdroje energie, které jsou ekologické a mají napomoci čistšímu ovzduší, ale v našich podmínkách nelze využít jejich potenciál naplno. Následuje popis kogenerace, využívané pro efektivnější využití energie z paliva, dekarbonizace českého teplárenství, které se snaží o zamezení vypouštění škodlivých látek do ovzduší, a akumulaci energie v teplárnách, ze kterých by časem mohli vzniknout komplexní energetická centra.

Poslední část představuje projekt TEPLATOR. Ze začátku jsou představeny typy konceptu TEPLATOR a jeho využití paliva, zpracování a design. Dále je blíže představen koncept TEPLATOR DEMO, který by měl jako první být nasazen do provozu. Jsou uvedeny jeho základní technické parametry a vypočítaný objem vyrobeného tepla za jednu topnou sezónu. Na konci je projekt rozebrán z ekonomického hlediska. Jsou zde uvedeny náklady na výstavbu a provoz a cena za gigajoul tepla pro jednotlivé instalované výkony konceptu TEPLATOR.

Na teplárny, využívající zejména fosilní paliva, jsou kladeny stále větší nároky ohledně emisí skleníkových plynů a znečišťujících látek do ovzduší. Takových tepláren je mnoho a koncept TEPLATOR by je mohl ve výrobě tepla nahradit. Vzhledem ke snižujícím se cenám za gigajoul tepla se zvyšujícím se instalovaným tepelným výkonem TEPLATORu, je navrženo nasazení do lokalit s roční spotřebou tepla ze systému dálkového vytápění vyšší než 2 000 TJ/rok. Takových měst je v ČR hned několik. Nasazení TEPLATORu nemusí být omezeno jen na velká česká města. Využit by se také mohl v zahraničí (např. na Slovensku jsou

vhodná města: Bratislava, Košice...) nebo k vytápění sousedících lokalit, které samotné nemají velkou spotřebu tepla.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] DRÁBOVÁ, Dana a Václav PAČES: *Perspektivy české energetiky: současnost a budoucnost*. Praha: Novela bohemia, 2014. ISBN isbn978-80-87683-26-2.
- [2] Teplárenské sdružení České republiky [online]. [cit. 20.5.2021]. Dostupné z: <http://www.tscr.cz/>
- [3] BUDÍN, Jan, 2015. Jak funguje soustava centrálního zásobování teplem v ČR? [online]. 26.2. [cit. 5.5.2021]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/jak-funguje-soustava-centralniho-zasobovani-teplem-v-cr>
- [4] KAUFMANN, Pavel, 2007. *Vývoj teplárenství v České republice* [online]. [cit. 5.5.2021]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1423/jaro2012/MVZ458/um/Kaufmann_2007_18-21.pdf
- [5] Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, 2011. Studie stavu teplárenství [online]. [cit. 5.5.2021]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/ministerstvo/aplikace-zakona-c-106-1999-sb/studie-stavu-teplarenstvi--85256/>
- [6] Energetický regulační úřad, 2016. *Vyhodnocení cen tepelné energie a jejich vývoj k 1. lednu 2016* [online]. [cit. 5.5.2021]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/teplo/statistika/vyhodnoceni-cen-tepelne-energie>
- [7] Energetický regulační úřad, 2021. *Roční zpráva o provozu teplárenských soustav ČR za rok 2019* [online]. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/zpravy-o-provozu-teplarenskych-soustav>
- [8] Plzeňská teplárenská, a. s., 2020. Výroční zpráva 2019. [cit. 5.5.2021]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/vyrocní-zprava-2019/>
- [9] Pražská teplárenská, a. s., 2020. Výroční zpráva 2019. [cit. 5.5.2021]. Dostupné z: <https://www.ptas.cz/vyrocní-zpravy/>
- [10] Teplárny Brno, a. s., 2021. Výroční zpráva 2019-2020. [cit. 5.5.2021]. Dostupné z:

<https://www.teplarny.cz/cs/vyrocní-zpravy>

[11] Teplárna České Budějovice, a. s., 2020. Výroční zpráva 2019. [cit. 5.5.2021]. Dostupné z: <http://www.teplarna-cb.cz/akcionari/vyrocní-zpravy.html>

[12] Teplárna Liberec, 2021 [online]. [cit. 20.5.2021]. Dostupné z: <https://tli.mvv.cz/>

[13] Elektrárny Opatovice, 2021 [online]. [cit. 20.5.2021]. Dostupné z: <https://www.eop.cz/>

[14] Energetika Třinec [online]. [cit. 20.5.2021]. Dostupné z: <https://www.etas.trz.cz/>

[15] Energetický regulační úřad, 2021. *Přehled údajů o licencích udělených ERÚ* [online]. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <http://licence.eru.cz/>

[16] *Teplárenství - Zdroje* [online]. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <http://www.mojeenergie.cz/cz/teplarenstvi-dodavka-energie>

[17] *Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Spalovna* [online]. 2021 [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Spalovna&oldid=19818185>

[18] HOLÍNEK, Tomáš, 2015. Zařízení pro energetické využití odpadu (spalovny) [online]. 5.8. [cit. 20.5.2021]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplarenstvi/zarizeni-pro-energeticke-vyuziti-odpadu-spalovny>

[19] Pražské služby, 2019. *Spalovna-ZEVO* [online]. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://www.psas.cz/spalovna-zevo>

[20] TERMIZO, 2021. *Základní informace* [online]. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://tmz.mvv.cz/o-spolecnosti/zakladni-informace/>

[21] ZEVO Plzeň, *O nás* [online]. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://www.zevoplzen.cz/o-nas>

- [22] SAKO Brno, 2018 [online]. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://www.zevoplzen.cz/o-nas>
- [23] HROZEK, Dian, 2016. Solární teplárna – budoucnost centrálního zásobování teplem? [online]. 12.1. [cit. 20.5.2021]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplarenstvi/zarizeni-pro-energeticke-vyuziti-odpadu-spalovny>
- [24] VOBOŘIL, David, 2017. Biomasa-využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR [online]. 6. 2. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>
- [25] Redakce Nazeleno.cz, 2009. Biomasa v České republice: kolik vyrábíme elektriny? [online]. 26. 3. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energie/biomasa-v-ceske-republice-kolik-vyrabime-elektriny.aspx>
- [26] ŠAFANDA, Jan, 2018. Jaké jsou možnosti využití geotermální energie v České republice? [online]. 21. 12. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/nazory/jake-jsou-moznosti-vyuziti-geotermalni-energie-cesku%20>
- [27] BERANOVSKÝ, Jiří, KAŠPAROVÁ, Monika, MACHOLDA, František, SRDEČNÝ, Karel a TRUXA, Jan. EkoWATT: KOMBINOVANÁ VÝROBA ELEKTRINY A TEPLA [online]. 2007 [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://old.ekowatt.cz/cz/informace/kombinovana-vyroba-elektriny-a-tepla>
- [28] BUDÍN, Jan, 2015. Kogenerace - princip, technologie a výhody[online]. 21.4. [cit. 20.5.2021]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody>
- [29] SKLENÁŘ, Oldřich, 2020. Konference o energetické budoucnosti Česka - část 1. [online]. 10. 9. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/nazory/cesta-k-dekarbonizaci-ceske-energetiky-dil-prvni>
- [30] IEA, CO2 emissions by sector, World 1990-2018, IEA, Paris. [cit. 2021-5-21]. Dostupné

z: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySector>

[31] *Emisní povolenky - základní informace* [online]. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <http://www.termowatt.cz/pokus2/emisni-povolenky/zakladni-informace.aspx>

[32] HODBOŮ, Josef, 2019. Slovo do pranice: Zdražení emisních povolenek, daň z plynu a cena tepla [online]. 23. 9. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/teplarenstvi/19597-slovo-do-pranice-zdrazeni-emisnich-povolenek-dan-z-plynu-a-cena-tepla>

[33] IEA, CO2 emissions from electricity and heat by energy source, Czech Republic 1990-2019, IEA, Paris. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser?country=CZECH&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2EleBySource>

[34] MORAVEC, Jan, 2021. Dekarbonizace výroby tepla bude v následujících letech nezbytná. Významnou roli může hrát jádro [online]. 8. 3. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/jaderne-elektrarny/dekarbonizace-vyroby-tepla-bude-nasledujicich-letech-nezbytna-vyznamnou-rolu-muze-hrat-jadro>

[35] SUK, Pavel, 2020. Dodávky tepla z jaderné elektrárny Haiyang byly zahájeny [online]. 29. 11. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/jaderne-elektrarny/dodavky-tepla-jaderne-elektrarny-haiyang-byly-zahajeny>

[36] VARGOVÁ, Lucie, 2019. ČEZ zahájil stavbu horkovodu z Temelína do Českých Budějovic [online]. 18. 3. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://www.c-budejovice.cz/cez-zahajil-stavbu-horkovodu-z-temelina-do-ceskych-budejovic>

[37] BECHNÍK, Bronislav, 2003. Akumulace tepelné energie - fyzikální principy [online]. 14. 5. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla/1482-akumulace-tepelne-energie-fyzikalni-principy>

[38] RYŠAVÝ, Ivan, 2018. Teplárny se mohou časem proměnit v komplexní energetická

centra [online]. 26. 3. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://www.moderniobec.cz/teplarny-se-mohou-casem-promenit-v-komplexni-energeticka-centra/>

[39] BECHNÍK, Bronislav, 2003. Porovnání vybraných způsobů akumulace tepelné energie [online]. 21. 5. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla/1490-porovnani-vybranych-zpusobu-akumulace-tepelne-energie>

[40] GRECMAN, Daniel, 2021. Konference o energetické budoucnosti Česka - část 1. [online]. 12. 3. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/energetika-v-cr/konference-energeticke-budoucnosti-ceska-cast-1>

[41] MAŠATA, D., ŠKODA, R. TEPLATOR: ekologické a ekonomické zhodnocení jaderného bezemisního zdroje tepla. In: All for Power, 2021, roč. 15, č. 1, s. 41–44. ISSN 1802-8535.

[42] FOŘTOVÁ, Anna, ŠKODA, Radek, ZEMAN, Michal, 2020. TEPLATOR - dostupné teplárenství 21. století [online]. 1. 10. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://allforpower.cz/jaderna-energetika/teplator-dostupne-teplarenstvi-21-stoleti-235>

[43] TEPLATOR [online]. [cit. 20.5.2021]. Dostupné z: <https://www.teplator.cz/>

[44] FOŘTOVÁ, Anna, ŠKODA, Radek, 2020. Jak jsme na tom s malými jadernými reaktory v Česku? Nabízejí budoucnost třeba pro teplárenství [online]. 16. 9. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://www.peak.cz/jak-jsme-na-tom-s-malymi-jadernymi-reaktory-v-cesku-nabizeji-budoucnost-treba-pro-teplarenstvi/25110/>

[45] ŠKODA, Radek, 2003. *Nuclear District Heating Solution* [online]. [cit. 21.5.2021]. Dostupné z: <https://www.teplator.cz/documents/>

[46] Energetický regulační úřad, 2020. *Vyhodnocení cen tepelné energie k 1. 1. 2020* [online]. [cit. 20.5.2021]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/teplo/statistika/vyhodnoceni-cen-tepelne-energie>

[47] Energetický regulační úřad, 2018. *Energetický regulační věstník* [online]. 7.11. [cit. 25.5.2021]. Dostupné z:

https://www.eru.cz/documents/10540/3899124/ERV_8_2018/b3f05e95-8a6f-4899-a1c8-b8e911751cdd

[48] Energetický regulační úřad, 2021. *Průměrná cena emisní povolenky pro rok 2020* [online]. 19.1. [cit. 25.5.2021]. Dostupné z:

<https://www.eru.cz/documents/10540/462920/Prumerna+cena+emisni+povolenky+za+rok+2020.pdf/b78a10d5-1915-481a-94ea-57ed8909657c>

Seznam obrázků

Obr. č. 1: Charakteristické prvky teplárenství v průběhu let.....	15
Obr. č. 2: Rozdělení el. energie, tepla a vzniklých ztrát při výrobě v různých typech oddělené a kombinované výroby.	28
Obr. č. 3: Porovnání účinnosti kombinované a oddělené výroby tepla a elektřiny.	29
Obr. č. 4: Schéma solárního systému.....	26
Obr. č. 5: Porovnání akumulace citelného tepla pro látky voda, kamení a citelného tepla pro látky chlorid vápenatý, parafín.....	36
Obr. č. 6: Schéma zapojení TEPLATORu v soustavě CZT.	40
Obr. č. 7: Závislost ceny tepla za GJ na instalovaném výkonu zařízení.	43

Grafy

Graf č. 1: Vývoj ceny tepelné energie pro konečné odběratele pro rok 2006-2016.	16
Graf č. 2: Podíl teplárenství na celkové výrobě el. energie.....	17
Graf č. 3: Podíl dodávky tepla pro společnost Pražská teplárenská, a. s. z paliv a z nákupu tepla.....	19
Graf č. 4: Podíl používaných paliv na výrobě tepla z kombinované výroby elektřiny a tepla.	22
Graf č. 5: Podíl typů biomasy na dodávkách tepla v roce 2019.	26
Graf č. 6: Porovnání emisí CO ₂ ve světě podle sektorů.	31
Graf č. 7: Porovnání emisí CO ₂ při výrobě elektřiny a tepla v ČR podle použitých fosilních paliv.....	33
Graf č. 8: Porovnání průměrných výrobních cen tepla pro vybraná paliva.....	44

Tabulky

Tab. č. 1: Vývoj spotřeby vybraných paliv společností Plzeňská teplárenská, a. s. v letech 2015-2019.	18
Tab. č. 2: Seznam velkých českých měst vytápěných významnými teplárnami.	21
Tab. č. 3: Přehled spaloven podle výroby tepla a elektřiny za fiskální období 2018-2019.....	24
Tab. č. 4: Přehled výhod kogenerace.	30
Tab. č. 5: Emisní faktory oxidu uhličitého pro vybrané druhy paliva.	32
Tab. č. 6: Přibližné porovnání materiálových vlastností a cen vybraných pracovních látek.....	37
Tab. č. 7: Vybrané technické parametry pro koncept TEPLATOR DEMO.....	41
Tab. č. 8: Náklady na výstavbu a provoz konceptu TEPLATOR.....	42