



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV PROCESNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF PROCESS ENGINEERING

## SEZONNÍ AKUMULACE TEPLA PRO ÚČELY TEPLÁRENSTVÍ V PODMÍNKÁCH ČR

SEASONAL ACCUMULATION OF HEAT FOR HEATING PURPOSES IN THE CONDITIONS OF THE CZECH  
REPUBLIC

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Dmytro Kiral**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Ondřej Putna, Ph.D.**

**BRNO 2024**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav procesního inženýrství  
Student: **Bc. Dmytro Kiral**  
Studijní program: Procesní inženýrství  
Studijní obor: bez specializace  
Vedoucí práce: **Ing. Ondřej Putna, Ph.D.**  
Akademický rok: 2024/25

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 diplomové práce:

## Sezonní akumulace tepla pro účely teplárenství v podmínkách ČR

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V souvislosti s dekarbonizací energetiky a rozvojem obnovitelných zdrojů energie bude vyrovnání nabídky a poptávky po energii v daném časovém okamžiku představovat čím dál větší výzvu. Tento problém se týká i teplárenství v případě využití bezemisních zdrojů jako jsou tepelná čerpadla nebo sluneční energie. Částečným řešením této situace může být ukládání tepelné energie do sezonních zásobníků v letních měsících, kdy je k dispozici dostatek levné elektřiny nebo tepla ze solárních kolektorů a opětovné využití tohoto tepla v zimním období. Náplní práce bude posouzení této technologické koncepce na území ČR.

### Cíle diplomové práce:

- 1.) Seznámit se formou rešerše s problematikou průmyslových tepelných čerpadel a způsobů dlouhodobé akumulace tepla pro účely sítí zásobování teplem
- 2.) Navrhnout koncepci technologie se sezonní akumulací tepla pro konkrétní vybranou lokalitu se sítí zásobování teplem s roční dodávkou tepla v řádu jednotek až desítek TJ.
- 3.) Zpracovat zjednodušený matematický model tohoto systému.
- 4.) Formou jednoduché případové studie vyhodnotit potenciál tohoto řešení

### Seznam doporučené literatury:

[1] RALUY, Rosa Gemma, Luis M. SERRA, Mateo GUADALFAJARA a Miguel A. LOZANO. Life Cycle Assessment of Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage. Energy Procedia. 2014, 48, Proceedings of the 2nd International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry (SHC 2013), 966–976. ISSN 1876-6102, doi:10.1016/j.egypro.2014.02.110

[2] TULUS, Victor, Dieter BOER, Luisa F. CABEZA, Laureano JIMÉNEZ a Gonzalo GUILLÉN-GOSÁLBEZ. Enhanced thermal energy supply via central solar heating plants with seasonal storage: A multi-objective optimization approach. Applied Energy. 2016, 181, 549–561. ISSN 0306-2619, doi:10.1016/j.apenergy.2016.08.037

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

Cílem této diplomové práce je seznámení s technologií sezonní akumulace tepla a možností jeho využití v podmínkách ČR. Práce je zaměřená na utilizaci mařeného tepla ze zařízení pro energetické využití odpadu a návrh nádrže pro akumulaci tepelné energie.

## **Klíčová slova**

Teplárenství, zařízení pro energetické využití odpadů, sezonní akumulace tepla

## **Abstract**

The aim of this master's thesis is to familiarize with the technology of seasonal heat accumulation and the possibility of its use in the conditions of the Czech Republic. The work is focused on the utilization of waste heat from the equipment for the energy use of waste and the design of a tank for the accumulation of thermal energy.

## **Keywords**

Heating industry, "waste-to-energy" equipment, seasonal heat accumulation

## **Bibliografická citace**

KIRAL, Dmytro. Sezonní akumulace tepla pro účely teplárenství v podmínkách ČR. Brno, 2025. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/162479>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství. Vedoucí práce Ondřej Putna.

## **Prohlášení o původnosti**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Sezonní akumulace tepla pro účely teplárenství v podmínkách ČR“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Putny, Ph.D. a v seznamu literatury jsem uvedl všechny použité literární a odborné zdroje.

V brně dne 9.07.2024

---

Bc. Dmytro Kiral

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu Ing. Ondřeji Putnovi, Ph.D za odborné rady při vypracování této diplomové práce. Poděkování patří také rodině a přátelům, kteří mě po celou dobu podporovali.

## Obsah

1	Úvod .....	2
2	Sezónní akumulace tepla a centrální zásobování teplem.....	3
2.1.	Sezónní TES pro výkon vytápění.....	3
2.2.	Sezónní TES pro chladicí kapacitu.....	5
2.3.	Možností využití TES v ČR.....	5
2.4.	Výtopna .....	8
2.5.	Teplárna .....	9
2.6.	Paroplynová teplárna .....	11
2.7.	Kogenerační motor.....	13
2.8.	Zařízení pro energetické využití odpadů .....	14
3	Termické akumulace energií a výběr lokality.....	17
3.1.	Solární TES.....	19
3.2.	Termická akumulace energií .....	20
3.3.	Lokalita .....	24
4	Návrhová část.....	29
4.1.	Vstupní údaje .....	30
4.2.	Způsob uchování tepla a tepelná kapacita nádrže .....	31
4.3.	Rozměry nádrže .....	39
	Závěr .....	44
	Zdroje .....	45
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	49

# 1 Úvod

Sezónní akumulace tepla představuje významný prvek v oblasti efektivního využití energie a udržitelného teplárenství. Tato technologie umožňuje shromažďování tepla vyrobeného v letních měsících a jeho využití v zimním období, což přispívá k optimalizaci energetických zdrojů a snižování emisí skleníkových plynů.

V kontextu České republiky je tato problematika obzvláště relevantní. S proměnlivým klimatem a rostoucími energetickými nároky je nezbytné hledat inovativní řešení, která by nám umožnila efektivněji využívat dostupné zdroje. Sezónní akumulace tepla nabízí možnost využití přebytků tepla z letních měsíců, které by jinak byly ztraceny.

Nicméně, implementace a provoz takových systémů představují řadu výzev. Je třeba pečlivě zvážit ekonomickou efektivitu, technickou proveditelnost a environmentální dopady. K tomu je třeba přihlídnout k specifickým podmínkám České republiky, včetně klimatických podmínek, infrastruktury a regulačního rámce.

Tento text se proto zaměří na zkoumání možností a výzev spojených se sezónní akumulací tepla v kontextu teplárenství v České republice. Cílem je poskytnout ucelený pohled na tuto problematiku a přispět k diskusi o budoucnosti udržitelného teplárenství v naší zemi.

Práce se bude zaměřená na projekt, kde bude přítomné maření teplá při výrobě teplá, které v teple období stále muže vyrábět teplo, ale nemá kam to teplo dát. Kvůli pořádné práce zařízení teplo se nikam nemůže zutilizovat, a to působí vypuštění více energii tepla do okolí. Taký nebudeme uchovávat ten fakt, že i množství utilizovaného tepla vždy je menší, kvůli tepelným ztrátám. Působí také není tak vysoka účinnost zdroje, výměníků tepla a tepelné vodivosti použitých materiálů.

Kvůli tomu, projekt bude zahrnovat výběr jednotky, která má velké maření v letní období a návrh pro lepší utilizace teplá a dalšího využití tepelné energii i během teplejších měsíců.

Podlé zvolených možností analýzy nalezených materiálů pro napsání této závěrečné prací bude navřená varianta využití sezonní akumulace tepla pomocí akumulacní nádrži naplněné vodou. Bude zváženo několik variant pro zohlednění efektivity zvolených tepelných kapacit a jak to ovlivní spotřebu plynu během topní sezony pomoci plynových kotlů.

## 2 Sezónní akumulace tepla a centrální zásobování teplem

Sezónní akumulace tepla je technologie, která umožňuje shromažďování tepla vyrobeného v letních měsících a jeho využití v zimním období. Tato technologie je důležitá pro efektivní využití energie a udržitelné teplárenství. [1]

Mnoho vytápěcích systémů, zejména těch, které využívají tepelná čerpadla a prakticky všechny aktivní solární systémy pro vytápění prostor, obsahuje TES (termoenergetické systémy) schopné akumulovat teplo. Toto akumulované teplo je dostupné od chvíle, kdy je k dispozici přebytek, až do doby, kdy je nedostupné nebo drahé. Doba skladování může být různá, od několika hodin u denních skladovacích cyklů až po mnoho měsíců u sezónních (ročních) cyklů. Sezónní TES v solárních topných systémech je obzvláště oblíbený v oblastech s vysokou zeměpisnou šířkou, kde [2]

- solární energie je mnohem dostupnější během dlouhých letních dnů, kdy není tak velká potřeba vytápění, než během krátkých zimních dnů, kdy je potřeba pokrýt vysoké požadavky na vytápění; a [2]
- chladné okolní podmínky, často pod 0°C, jsou k dispozici během zimy s jejími krátkými dny, kdy není potřeba chlazení, na rozdíl od dlouhých letních dnů, kdy je nutné splnit požadavky na chlazení prostoru. [2]

V prvním případě je možné využít potenciál pro sezónní skladování tepla od léta do zimy. To znamená, že teplo, které je v létě v přebytku, může být uloženo a využito v zimě, kdy je potřeba vytápění. Ve druhém případě je naopak možné využít chladné podmínky zimy pro skladování chladicího výkonu, který může být využit v létě, kdy je potřeba chlazení. [2]

### 2.1. Sezónní TES pro výkon vytápění

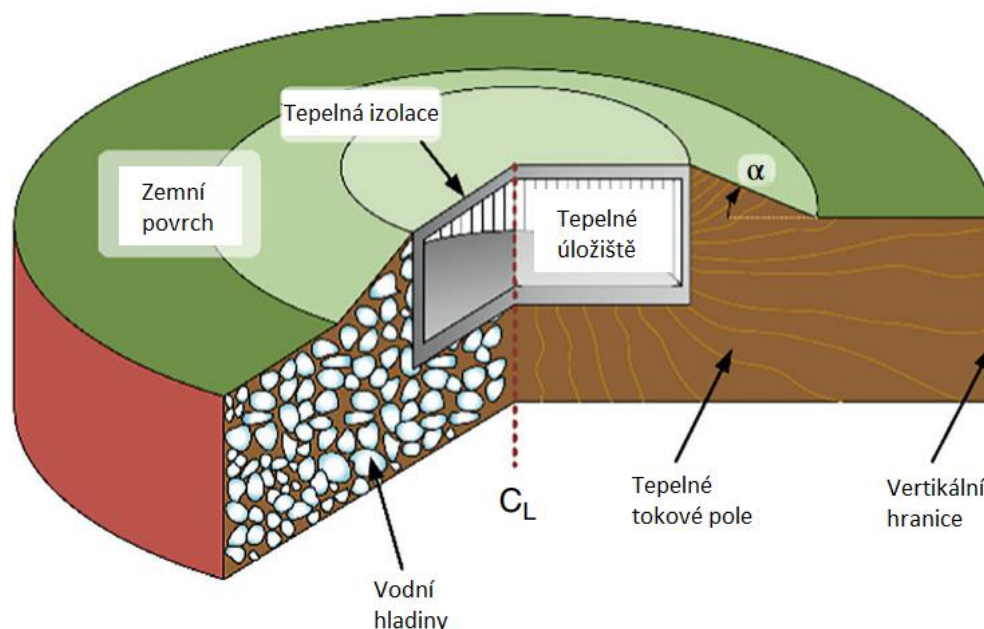
Voda je často preferovaná jako akumulární médium v sezónních systémech TES. Důvodem je, že může sloužit jak jako médium pro přenos tepla, tak jako médium pro akumulaci tepla. To eliminuje náklady a termodynamické ztráty spojené s jednou operací výměny tepla. Navíc splňuje technické požadavky za nízkou cenu. Je netoxická, nehořlavá, nekorozivní, chemicky stabilní a neviskózní. Jde o vysoce specifickou tepelnou kapalinu s dobře známými vlastnostmi. [2]

Existuje mnoho typů skladovacích kontejnerů pro sezónní TES, včetně nádrží, kavern a vodonosných vrstev. Velké systémy s teplou vodou v izolovaných nádržích často splňují požadavky na sezónní akumulaci topné kapacity. Tyto systémy jsou obvykle velmi velké, často přesahují 500 000 litrů. Důvodem je, že s rostoucí velikostí se

sníží poměr povrchu k objemu, což vede ke snížení jak nákladů, tak tepelných ztrát na jednotku skladovací kapacity. [2]

Optimální formou pro tak velké nádrže se jeví být pravý kruhový válec s vertikální osou. Nádrže tohoto tvaru mají nízký poměr povrchu k objemu. Mohou být konstruovány tak, aby byly umístěny na povrchu země, nebo mohou být částečně nebo úplně zakopány. Vrcholy nádrží v zakopaných konfiguracích jsou často upraveny pro jiné účely, například zpevněné pro použití jako parkoviště nebo upravené pro použití jako park. Veškeré tepelné ztráty nebo infiltrace z podzemních nádrží protékají půdou a nakonec dosáhnou jednoho ze dvou chladičů: rozhraní země-vzduch a hladiny podzemní vody. U této válcové geometrie je třeba poznamenat, že stav, kdy jsou výška a poloměr přibližně stejné, má tendenci minimalizovat celkové tepelné ztráty nádrže, protože poskytuje minimální poměr povrchu k objemu. Vnitřek nádrže je často pokryt izolační vrstvou. [2]

V některých situacích mohou mít nádrže, které jsou částečně zakopány, připevněnou část nebo celý vytěžený materiál k bočním stěnám. Obrázek 1 zobrazuje akumulaci nádrž tepla, která je částečně pohřbená pod zemí. Dále jsou na něm naznačeny přibližné cesty, kterými se teplo šíří mimo nádrž. Tím je zajištěna jak fyzická podpora, tak určitý stupeň izolace pro horní část stěny nádrže. Tato konfigurace také umožňuje efektivní odvod povrchové vody, často má hydraulické výhody spojené s požadavky na zdvih systémových čerpadel a zabraňuje nutnosti odvážet a likvidovat vytěženou zeminu z místa. [2]



Obr 1. Zobrazení částečně ponořenou nádrž pro akumulace tepla. Adaptované z: *Thermal Energy Storage. System and Applications. 3d Edition.* [2]

Byly zkoumány metody analýzy charakteristik tepelných ztrát několika dlouhodobých zásobníků [3-5]. Konkrétně plně zakopaná nádrž, jejíž horní část je v rovině s povrchem země, a pozemní nádrž již přitahovaly pozornost a pro tyto případy byly vyvinuty konstrukční metody. Tepelné vlastnosti půdy obklopující nádrž jsou někdy závislé na poloze, čase a teplotě. Například změny v obsahu půdní vlhkosti mohou nastat během dešťů nebo tání sněhu a ledu a mohou významně změnit tepelné vlastnosti půdy. Některé další energetické interakce, které se vyskytují, zahrnují latentní teplo tání půdní vlhkosti během zmrazování a tání a latentní teplo vypařování během sušení povrchu. Konstrukční materiály stěn nádrže, často železobeton, mají někdy podobné tepelné vlastnosti jako půdní režim. [2]

## **2.2. Sezónní TES pro chladicí kapacitu**

Různé systémy pro sezónní skladování chladu byly navrženy a podrobeny testování. Většina těchto systémů využívá principu skladování ledu a jsou vhodné pro klimatické podmínky, kde teploty během většiny zimního období klesají pod 0°C. [2]

Existuje systém, v němž se během zimy vytváří zásoba ledu tím, že se voda rozstříkuje do nádrže, která je vystavena okolní atmosféře, když jsou podmínky vhodné pro zamrzání vody. V ostatních časech je izolovaná nádrž uzavřena. Během léta, kdy je potřeba chladit prostory, se led nechá roztát a studená voda cirkuluje podle potřeby pro chlazení. Nádrž je navržena tak, aby umožňovala vytvoření dostatečného množství ledu v zimě, které by uspokojilo většinu nebo všechny letní potřeby chlazení. Tento systém byl testován v kanadské Ottawě. [2]

## **2.3. Možností využití TES v ČR**

Sezónní akumulace tepla je významným tématem v České republice, zejména v souvislosti s cílem dekarbonizace výroby tepla. V roce 2040 by měla být výroba tepla v České republice kompletně bezemisní. [6] Cesta k tomu vede přes plynofikaci, elektrifikaci, akumulaci a využívání odpadního tepla. Místo jedné technologie, uhelného kotle, tady bude celá skupina zařízení, které ho budou nahrazovat. [7]

Jedním z inovativních řešení je využití písku pro akumulaci tepla. Nový otopný a energetický systém pro rodinné domy i velké průmyslové podniky funguje na principu akumulace tepla v písku. Takto akumulovaná energie prý dovede za určitých podmínek vytápnout vnitřní prostory a ohřívat teplou užitkovou vodu prakticky za nulových provozních nákladů po dobu životnosti zařízení. [8]

Tepelné čerpadlo v kombinaci s akumulací by umožnilo mnohem čistější výrobu tepla a cenné palivo by se šetřilo na zimu. Proč v létě spalovat uhlí, plyn nebo biomasu k ohřevu vody a při tom vypouštět do vzduchu mnoho odpadního tepla a emisí, když máme ve stejnou dobu přebytky bezemisní elektřiny z obnovitelných zdrojů energie? [7]

Nicméně, počáteční investice do těchto technologií může být vysoká a je třeba zvážit jejich dlouhodobou návratnost a efektivitu. [8]

***Hlavní důvody pro použití sezónní akumulace tepla jsou [9]:***

- 1) Nepravidelná dodávka energie
- 2) Rozdíly v cenách energií ve sledovaném časovém období
- 3) Využití přebytků energie
- 4) Zefektivnění provozu zdroje (vyšší účinnost přeměny energie, provoz zdroje na tuhá paliva)

***Výhody používání sezónní akumulace tepla [10, 11, 12]:***

- 1) Akumulace tepla umožňuje přenést energii v čase (v protikladu k přenosu v prostoru) z období relativního přebytku do období relativního nedostatku (den-noc, léto-zima).
- 2) Ideální akumulátor má malý objem, nízkou cenu a malé ztráty energie.
- 3) Nespornou výhodou průtočného ohřevu vody je malý objem ohřívané vody.
- 4) Výhodou použití kombinované akumulární nádoby je nenáročnost na prostorové uspořádání technologického zařízení, které plní funkci akumulace, přípravy teplé vody sluneční energií, dohřívání kotlem pro vytápění i možností instalace elektrické topné vložky.

***Nevýhody používání sezónní akumulace tepla [11, 13]:***

- 1) Akumulace tepelné energie je obecně spojena s tepelnými ztrátami, které při dlouhodobém skladování významně snižují účinnost akumulace.
- 2) Hlavní nevýhodou je značný objem akumulátoru a skutečnost, že využitelná teplota v průběhu vybíjení klesá.
- 3) Otopnou vodu musíme držet na poměrně vysoké teplotě.

*Centrální zásobování teplem*, někdy také označované jako dálkové vytápění nebo síť dálkového tepla, je systém, který zajišťuje centrální výrobu tepla v jednom nebo více zdrojích a následný rozvod vyrobeného tepla tepelnými sítěmi odběratelům do větších územních celků – města, městské čtvrti, sídliště, obchodní nebo průmyslové zóny. [14]

V České republice je dle Teplárenského sdružení České republiky zásobováno centrálně vytápěno téměř 1,5 milionu domácností. Pro uspokojování potřeb všech odběratelů je v České republice využíváno celkem 10 000 km tepelných sítí. [14]

Výroba tepla v rámci CZT probíhá v několika typech zdrojů tepla: Výtopna, Teplárna, Paroplynová teplárna, Kogenerační motor. Každý z těchto zdrojů má své specifické vlastnosti a využití, a to jak z hlediska efektivity, tak i z hlediska vlivu na životní prostředí. [14]

Také nemůžeme uniknout i problému odpadního tepla. Odpadní teplo, které vzniká během průmyslových procesů nebo výroby energie, je často nevyužité a uvolňované do životního prostředí<sup>1</sup>. V posledních letech se však stále více hledají způsoby, jak toto ztracené teplo efektivně využít, což vede ke snížení energetických nákladů a emisí skleníkových plynů. [15]

Zdroje odpadního tepla jsou všude kolem nás. Kromě uhelných kondenzačních a jaderných elektráren, které vypouštějí do okolního prostředí běžně více než polovinu energie získané z paliva, je obrovské množství odpadního tepla produkováno v průmyslových procesech. [16]

Mezi průmyslové procesy, které se řadí k největším producentům odpadního tepla patří ropné rafinérie, ocelárny, sklárny, papírny a další. [15]

Existují různé technologie a řešení pro zpětné získávání odpadního tepla. Mezi ně patří:

Výměníky tepla: Zařízení, které přenášejí teplo mezi dvěma nebo více médii. [15]

Organické Rankinovy cykly (ORC): ORC systémy využívají odpadní teplo pro výrobu elektrické energie. [15, 17]

Absorpční chladicí zařízení: Tyto systémy využívají odpadní teplo k pohonu chladicího procesu<sup>1</sup>.

Využití odpadního tepla přináší řadu ekonomických a environmentálních přínosů, mezi které patří snížení emisí skleníkových plynů, úspora energie a nákladů, a zvýšení energetické nezávislosti<sup>1</sup>. Nicméně, zpětné získávání odpadního tepla může být technicky náročné a vyžadovat vysoké investice do technologií a infrastruktury. [15]

Sezónní akumulace tepla může hrát klíčovou roli v těchto systémech, protože umožňuje efektivnější využití tepla a snižuje potřebu výroby tepla v zimních měsících. To může vést k významným úsporám energie a snížení emisí skleníkových plynů [1].

Co se týče spotřeby a produkce tepla v roce 2023, podle Energetického regulačního úřadu byla spotřeba tepla ze soustav zásobování teplem v roce 2022 nejnižší za šest let. Celkem se v Česku v tomto roce spotřebovalo 74 PJ tepla, nejvíc tradičně v průmyslu a v domácnostech. [18]

*Zde jsou některé konkrétní případy systémů CZT které mohou produkovat odpadní teplo:*

## 2.4. Výtopna

Výtopna je samostatně stojící zdroj tepla, který má ze čtyřech uvedených zdrojů nejjednodušší cyklus získávání energie. Celý proces začíná spalováním paliva (uhlí, zemní plyn, topné oleje, ...) v kotli, při kterém dochází k ohřevu vody. Tepelná energie je následně přes tepelný výměník dodávána do rozvodné soustavy CZT. Cyklus se vyznačuje až 90 % účinností. Nevýhodou v porovnání se zbývajícími třemi technologiemi je absence výroby elektřiny. [14]



*Obr. 1. Plynové kotle – VYTEZA Vyškov [19]*

Výtopny hrají v českém teplárenství dominantní úlohu, zajišťují více než polovinu výroby tepla. Nicméně, ceny emisních povolenek jsou v současnosti na takové úrovni, že provozovatelům tepláren zvoní hrana. Proto začíná zásadní transformace teplárenství, která potrvá do roku 2030. Podstatou bude změna palivové základny, ze

kterých se teplo bude vyrábět. Půjde o zemní plyn, dále domácí obnovitelné zdroje energie, biomasu, odpady, odpadní teplo a jádro. [20]

Podle studie ČVUT bude potřeba do roku 2030 investovat do teplárenství přes 98 miliard korun. Zemní plyn může být ale vzhledem k cíli klimatické neutrality pouze přechodným palivem. Zemní plyn bude muset být v nadcházejících desetiletích postupně nahrazen jinými, bezuhlíkovými technologiemi. [21]

Takže výtopny mají vliv na teplárenství v České republice, ale tento vliv se mění v důsledku transformace energetického sektoru a snahy o dosažení klimatické neutrality. Výtopny budou muset přejít na nízkoemisní a obnovitelné zdroje energie, což vyžaduje značné investice a strategické plánování. [20, 21]

## 2.5. Teplárna

V teplárně dochází na rozdíl od výtopny ke kombinované výrobě elektřiny a tepla. Energie získaná spálením paliva je v tomto případě hnána na vysokotlakou parní turbínu, která je hřídelí spojena s generátorem elektřiny. Tím ovšem proces nekončí. Stále horká pára putuje do tepelného výměníku, kde podobně jako v případě výtopny předává teplo do soustavy CZT. V parní teplárně, ve které je výroba elektřiny vázána na výrobu tepla, lze tímto způsobem přeměnit přibližně 18 % uvolněné energie na elektřinu a 72 % energie využít ve formě předaného tepla. Ztráty energie tvoří tedy pouze 10 %. [14]

Podobně jako teplárna může fungovat také kondenzační elektrárna. V té je při klasickém provozu emisní pára z parní turbíny pomocí chladiče (tepelný výměník) vypouštěna bez užitku do ovzduší chladícími věžemi. Přitom průměrně pouze 38 % vstupní energie je přeměněno na elektřinu. Při odběru odpadového tepla, které putuje opět do soustavy CZT a následně ke spotřebitelům tepla, je možné účinnost energetického procesu zvýšit až na 65 %. [14]



*Obr. 2. Parní kotel na uhlí v elektrárně Opatovice [19]*

Teplárny hrají v České republice klíčovou roli. Dodávají teplo do více než 1 150 000 domácností. Zásobování tepelnou energií je nedílnou a významnou součástí energetického sektoru národního hospodářství České republiky i energetické infrastruktury měst a obcí. [22]

Teplárny přispívají k zajištění tepelné pohody a teplé vody pro občany, podnikatelskou i veřejnou sféru včetně škol, úřadů a nemocnic. Díky možnosti využití širokého spektra primárních energetických zdrojů včetně tuzemských paliv i obnovitelných a druhotných zdrojů energie hrají nezastupitelnou roli při zajištění energetické bezpečnosti a nezávislosti České republiky. [22]

Teplárny také přispívají k ochraně životního prostředí. Dálkové dodávky tepelné energie totiž přispívají k omezování imisní zátěže v městských aglomeracích. [22]

Významnou roli hrají teplárny také v oblasti výroby elektřiny. Existence soustav zásobování teplem je základní podmínkou širokého nasazení vysoce účinné kombinované výroby elektřiny a tepla, která přináší významné úspory primárních paliv. [23]

Nicméně, vývoj cen tepelné energie a změny v energetické politice mohou ovlivnit budoucí roli tepláren v České republice. [23]

## 2.6. Paroplynová teplárna

Paroplynový cyklus je moderním a ve světě velmi užívaným a osvědčeným zdrojem výroby elektrické energie. Je výjimečný vysokou provozní disponibilitou, výkonem a šetrností k životnímu prostředí, na druhou stranu jsou tyto výhody vyváženy potřebou drahého paliva pro provoz spalovací turbíny. Jde o jednu z variant kombinovaných oběhů, ve kterých se vstupní teplo využije vícenásobně. Výhodami kombinovaných oběhů jsou lepší využití vložené energie a nižší emise spalin vztažené na vyrobenou MWh. [24]

Plynové spalovací turbíny obvykle spalují plyn, lehký topný olej, petrolej, mazut a samostatně nemají velkou účinnost. Kombinace plynové turbíny (Braytonův cyklus) a klasického parního oběhu (Rankinova cyklu) podstatně zvyšuje účinnost výroby elektrické energie. [24]

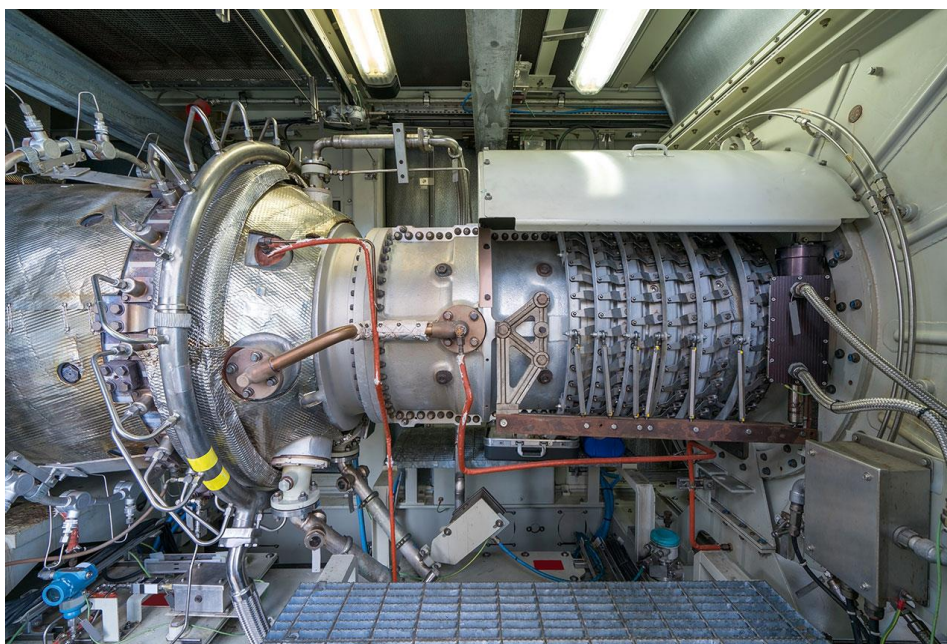
Výroba elektřiny v paroplynovém cyklu je snahou o maximálně účinnou výrobu elektřiny, což je zajištěno právě součinností dvou tepelných oběhů, parního a plynového. Účinnost paroplynového cyklu může dosahovat až 55 %, zatímco u kondenzační elektrárny na uhlí se dosahuje nejvýše asi 45 %. [24]

Tepelný cyklus plynové turbíny se skládá z komprese vstupního vzduchu a jeho smísení s palivem. Směs hoří, spaliny expandují v plynové turbíně, čímž ji roztočí. Oběh je uzavřen výstupem spalin přes spalinový výměník. Ve spalinovém kotli se vyrobí pára, která pohání druhou turbínu – parní. [24]

Tepelný cyklus parní turbíny se skládá z ohřevu tlakové vody na teplotu varu, vypařování, přehřátí páry na pracovní teplotu a následné expanze páry v parní turbíně. Oběh je uzavřen kondenzací páry vystupující z turbíny zpět na vodu. [24]



*Obr. 3. Paroplynová elektrárna [25]*



*Obr. 4. Plynová spalovací turbína tvoří základ paroplynového cyklu v elektrárně [24]*

Paroplynové teplárny mají významný vliv na energetický sektor v České republice. Tyto teplárny využívají paroplynový cyklus, který je vysoce účinný a umožňuje kombinovanou výrobu tepla a elektřiny. [26, 27]

Jedním z příkladů je projekt Veolia v Karviné, kde byl postaven první multipalivový kotel v České republice. Tento kotel je schopen využívat biomasu, uhlí a tuhá

alternativní paliva, vyrobená z vyříděných zpracovaných odpadů. Po jeho dokončení byla odstavena uhelná technologie na starší Teplárně ČSA. Tento projekt přinesl další snížení emisí na Karvinsku. [26]

V Karlovarském kraji, kde je velká část kraje zásobována z uhelných tepláren, zejména od Sokolovské uhelné, bude mít útlum a konec těžby hnědého uhlí výrazný vliv na teplárenství. V tomto kontextu hrají paroplynové teplárny klíčovou roli při hledání nových zdrojů tepla. [27]

Je důležité poznamenat, že přechod na paroplynové teplárny a jiné nízkoemisní technologie vyžaduje značné investice a strategické plánování. Nicméně, tyto změny jsou nezbytné pro dosažení cílů v oblasti klimatu a udržitelnosti. [26, 27]

## **2.7. Kogenerační motor**

V kogeneračním motoru je plyn spalován v upraveném pístovém motoru, který pohání generátor vyrábějící elektřinu. Teplo se v tomto procesu získává chlazením spalin, chladicí vody a oleje. Následně je přes výměníky dodáváno do soustavy CZT. To je zařízení pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. [28] Základ každé kogenerační jednotky tvoří soustrojí motor-generátor. [29]

Pohonná jednotka vychází z koncepce pístového motoru upraveného na spalování zemního plynu. [29]

Motor i generátor produkují teplo, které je odváděno vodou přes oddělovací výměník, do topného systému. Díky efektivnímu využití „odpadního tepla“ se při kombinované výrobě elektřiny a tepla ušetří až 70 % energie obsažené v palivu oproti oddělené výrobě elektřiny a tepla. [29]



*Obr. 5. Kogenerační jednotka KE-MNG 200 eco-AE [29]*

Kogenerační motory, které vyrábějí současně elektřinu a teplo, mají v České republice významný vliv. Tyto systémy jsou vysoce účinné a přispívají k energetické účinnosti a snižování emisí skleníkových plynů. [30]

Kogenerační jednotky mohou být poháněny různými druhy paliva, včetně zemního plynu, bioplynu, biomasy a dalších obnovitelných zdrojů energie. To umožňuje využití místních zdrojů energie a snižuje závislost na dovozu fosilních paliv. [30]

V České republice je kogenerace široce využívána v průmyslu, komerčních budovách a v oblasti veřejných služeb. Kogenerační jednotky jsou také instalovány v teplárnách a výtopenách jako součást kombinované výroby tepla a elektřiny. [30]

Nicméně, rozvoj kogenerace vyžaduje značné investice a strategické plánování. Je také třeba překonat technické a regulační překážky, aby bylo možné plně využít potenciál kogenerace. [30]

## **2.8. Zařízení pro energetické využití odpadů**

V dnešní době se stává častěji případy užitečné využívání biomasy a odpadu s cílem generaci tepla a elektrické energie. Tato technologie se nazývá Zařízení pro Energetické Využití Odpadů.

ZEVO je technologie, která se využívá k energetickému zpracování odpadů, zejména směsného komunálního odpadu. V České republice jsou v současnosti v provozu čtyři ZEVO [31]:

**SAKO Brno (Brno)** - kapacita 248 tisíc tun odpadů ročně

**ZEVO Malešice (Praha)** - kapacita 330 tisíc tun odpadu ročně

**ZEVO Termizo (Liberec)** - kapacita 96 tisíc tun odpadu za rok

**ZEVO Plzeň (Chotíkov)** - kapacita 105 tisíc tun odpadu za rok

Stávající roční kapacita ZEVO v České republice je přibližně 750 tisíc tun. Pokud bude chtít Česká republika splnit cíle Evropské komise v oblasti oběhového hospodářství (65 % recyklace, 10 % skládkování, 25 % energetické využití), bude potřeba navýšit kapacitu ZEVO o dalších 950 tisíc tun. [32]

V budoucnu se plánuje výstavba dalších ZEVO. Například poblíž Plané nad Lužnicí na Tábořsku se plánuje výstavba ZEVO, do kterého společnost C-Energy Planá chce investovat přibližně 2,1 miliardy Kč. Toto zařízení by mělo doplnit plánované ZEVO ve Mělníku(320 kt/rok) [33] českobudějovickém Vrátně(160 kt/rok)[34], v Komořanech(150 kt/rok) [35], v Plané nad Lužnicí(80 kt/rok) [36], v Písku(do 50 kt/rok) [37], který je plánován k provozu ve spolupráci se Strakonice. [32]

ZEVO je důležitou součástí moderního odpadového hospodářství, protože umožňuje využití odpadů k výrobě elektřiny a tepla, šetří primární paliva a suroviny a významně snižuje objem odpadů určených k ukládání na skládku. Nicméně je důležité zdůraznit, že energetické využití odpadů v žádném případě nekonkuruje třídění a recyklaci, naopak je přirozeně doplňuje. [38]



*Obr. 6. ZEVO společnosti SAKO v Brně [38]*

Kvůli tomu, že je ZEVO jako zdroj tepla, který může pomoci spalování komunálního odpadu generovat teplo během celého roku. Používá se jako druh nakládání s odpady a tím se využívá velké množství odpadu, které nemůže být recyklováno, a najednou řeší problém skládkování odpadů. Kvůli tomu, že pro ZEVO je potřeba pořád spalovat odpady – vzniká přebytek tepla, který se vypouští do okolního prostředí. Takové teplo se považuje za odpadní teplo.

### 3 Termické akumulace energií a výběr lokality

V této kapitole se budeme zabývat více sezonní akumulací tepla pomocí využití ZEVO, které by primárně sloužilo jako zdroj generace tepla jak v teplejší, tak i v chladnějším období. Hlavní důvody použití technologií v tomto projektu bude to, že ZEVO

pracuje během roku bez zastávek a to znamená, že teplo ze spalování odpadu nám se bude generovat i v teplejší období, když poptávka po teple není tak vysoká.

Důsledkem je to, že hodně tepla, které nemůžeme nikam dat. Proto *odpadní teplo* v tomto případě bude vypouštěné do okolí v případech kdy to nemůžeme nějak zutilizovat nebo použít.

Výjimkou ale je to, že teplo, které bude přebytečně vygenerováno v teplém období, bude se uchovávat pro využití v chladné období roku. To je důsledkem toho, že ZEVO produkuje teplo, které se generuje pomocí spalování odpadu, a to bude šetřit náklady spojené s nakládáním a skladováním odpadu.

Systémy tepelné energie mohou být užitečné pro efektivní využití a dodávání tepla, když se výroba a spotřeba energie neshodují. Různé varianty TES procesů byly zkoumány a vyvinuty pro vytápění a chlazení budov, průmyslové aplikace a energetické systémy pro veřejné a kosmické účely. Klíčovým aspektem je doba skladování. [2]

Denní ukládací systémy mají několik výhod: investice a energetické ztráty jsou obvykle nízké a jednotky jsou menší a snadno se vyrábějí mimo místo. Velikost denního úložiště pro každou aplikaci není tak kritická jako pro větší roční úložiště. Roční skladování se však může stát ekonomicky výhodným pouze v projektech vícebytových nebo průmyslových parků a často vyžaduje nákladné energetické distribuční systémy a nové institucionální uspořádání související s vlastnictvím a financováním. [2]

V solárních aplikacích TES je optimální doba skladování energie obvykle ta, která nabízí konečnou dodanou energii s minimálními náklady, když je integrována s polem kolektorů a zálohována do konečné aplikace. Některá média dostupná pro senzitivní a latentní TES jsou klasifikována v tabulce 1. [2]

Tab. 1. Dostupná média pro senzibilní a latentní TES. Adaptované z: *Thermal Energy Storage. System and Applications. 3d Edition. [2]*

Senzibilní		Latentní
Krátkodobě	Dlouhodobě	Krátkodobě
Skalní postele	Skalní postele	Anorganické materiály
Zemní postele	Zemní postele	Organické materiály
Vodní postele	Velké vodní nádrže	Mastné kyseliny
	Akvifery	Aromatika
	Sluneční bazény	
	Voda	
	Vrty	
	Štěrková voda	
	Odpadní sněhové jámy a ledová jezírka	

V TES se energie ukládá prostřednictvím změny teploty akumulčního média, jako je voda, vzduch, olej, skalní podloží, cihly, písek nebo půda. Množství energie, které je vloženo do TES zařízení, je úměrné rozdílu mezi konečnou a počáteční teplotou akumulace, hmotnosti akumulčního média a jeho tepelné kapacity. Každé médium má své výhody a nevýhody. [2]

Například, voda má přibližně dvakrát vyšší specifické teplo než hornina a půda. Vysoká tepelná kapacita vody (~4,2 kJ/kg°C) často činí vodní nádrže logickou volbou pro systémy TES, které pracují v teplotním rozsahu potřebném pro vytápění nebo chlazení budov. Na druhé straně, relativně nízká tepelná kapacita hornin a keramiky (~0,84 kJ/kg°C) je poněkud kompenzována velkými teplotními změnami, které tyto materiály umožňují, a jejich relativně vysokou hustotou. [2]

Senzibilní TES je tvořen třemi hlavními komponentami: paměťovým médiem, kontejnerem a zařízeními pro vstup a výstup. Kontejnery hrají dvojí roli – nejenže udržují akumulční materiál, ale také minimalizují ztráty tepelné energie. Je preferováno, aby v průběhu skladování existoval teplotní gradient, což se nazývá

tepelná stratifikace. U pevných skladovacích médií je udržení této stratifikace jednodušší než u kapalin. [2]

Citlivé materiály TES zůstávají v jedné fázi během celého rozsahu teplot, které se vyskytují během procesu skladování. Množství uloženého tepla v těchto materiálech lze vyjádřit pomocí vzorce: [2]

$$Q = m * c_p * \Delta T = \rho * c_p * V * \Delta T \quad (1)$$

Kde:

Q – tepelná kapacita, J

$c_p$  – specifická tepelná kapacita, J/kg K

$\Delta T$  – rozdíl počáteční a potřebné teploty, K

$\rho$  – hustota materiálu, kg/m<sup>3</sup>

V – objem materiálu, který odpovídá tepelné kapacitě, m<sup>3</sup>

Pro daný materiál je jeho schopnost shromažďovat teplo úzce spojena s hodnotou parametru  $\rho c_p$ . Voda, která má tuto hodnotu vysokou a je cenově dostupná, vyžaduje jako kapalina pro své uložení kvalitnější nádobu, než by bylo potřeba pro pevnou látku. [2]

Materiál, aby byl efektivní v aplikacích TES, by měl být obecně cenově dostupný a disponovat výbornou tepelnou kapacitou. Dalším klíčovým faktorem pro efektivní TES je rychlost uvolňování a extrakce tepla, což je vlastnost odvozená od tepelné difuzivity. Proto jsou železné broky ideálním médiem pro akumulaci tepla, jelikož kombinují vysokou tepelnou kapacitu s vysokou tepelnou vodivostí. [2]

Z hlediska nákladů je kámen vhodným materiálem pro TES, i když jeho objemová tepelná kapacita je jen poloviční oproti vodě. Dřívější studie prokázaly, že nádrže naplněné kameny jsou praktické. Hlavní předností je, že je lze snadno využít pro shromažďování tepla přesahujícího 100°C. [2]

### 3.1. Solární TES

Solární energie, jako důležitý alternativní zdroj energie, má potenciál být v budoucnosti více využívána. Hlavním omezením využití solární energie je její cyklická povaha, která závisí na denním čase. Proto systémy využívající solární energii vyžadují akumulaci energie, aby bylo možné zajistit dodávku energie během noci a období s nízkým

osvětlením. I když je potřeba tepelné akumulace energie (TAE) přítomna i u mnoha dalších tepelných aplikací, je zvláště důležitá pro solární aplikace. [2]

TAE hraje klíčovou roli v úspěchu mnoha přerušovaných zdrojů energie při naplňování energetické poptávky. Tento problém je obzvláště významný u solární energie, jelikož největší potřeba po ní obvykle nastává, když je dostupnost slunečního svitu nejnižší, zejména v zimě. TAE komplikuje solární energetické systémy dvěma hlavními způsoby. Za prvé, subsystém TAE musí být dostatečně velký, aby umožnil systému fungovat během období s nedostatečným slunečním svitem. Alternativou je mít záložní zdroj energie, což zvyšuje kapitálové náklady a vede k existenci jednotky, která zůstává nevyužitá. Z krátkodobého hlediska je možné integrovat solární energii a pravděpodobně bude potřeba do systémů, které také využívají konvenční zdroje energie, jako jsou fosilní paliva. Z dlouhodobého hlediska však mohou být preferovány samostatné solární systémy. [2]

Další významnou komplikací přinášenou TAE je, že primární sběrný systém musí být dostatečně velký, aby mohl akumulovat energii během období s dostatečným slunečním zářením. To vyžaduje další sběrnou plochu a s ní spojené dodatečné kapitálové náklady. Testy typických záznamů slunečního svitu ukazují, že i v pouštních podmínkách jsou období zataženého a jasného počasí přibližně stejně rozložena, s několika dny jednoho následovanými několika dny druhého. Částečně zatažené dny mohou výrazně ovlivnit výkon a rozhodování mezi praktickým a nepraktickým skladováním energie. Pokud je možné shromáždit celkovou energii polojasného dne, doba vyžadující skladování energie se výrazně zkrátí. [2]

Koncentrační solární systémy musí být schopny zvládnout občasné přímé sluneční záření během zatažených dnů. To vyžaduje, aby byly absorbery a kotle navrženy tak, aby se předešlo problémům s přehřátím, když se slunce náhle objeví v plné síle. Nekoncentrační systémy na druhé straně čelí základnímu problému – jak dosáhnout dostatečně vysoké účinnosti při středních teplotách, aby bylo možné dosáhnout energetického výstupu za přijatelné náklady. Proto musí být náklady na TES přiměřené. [2]

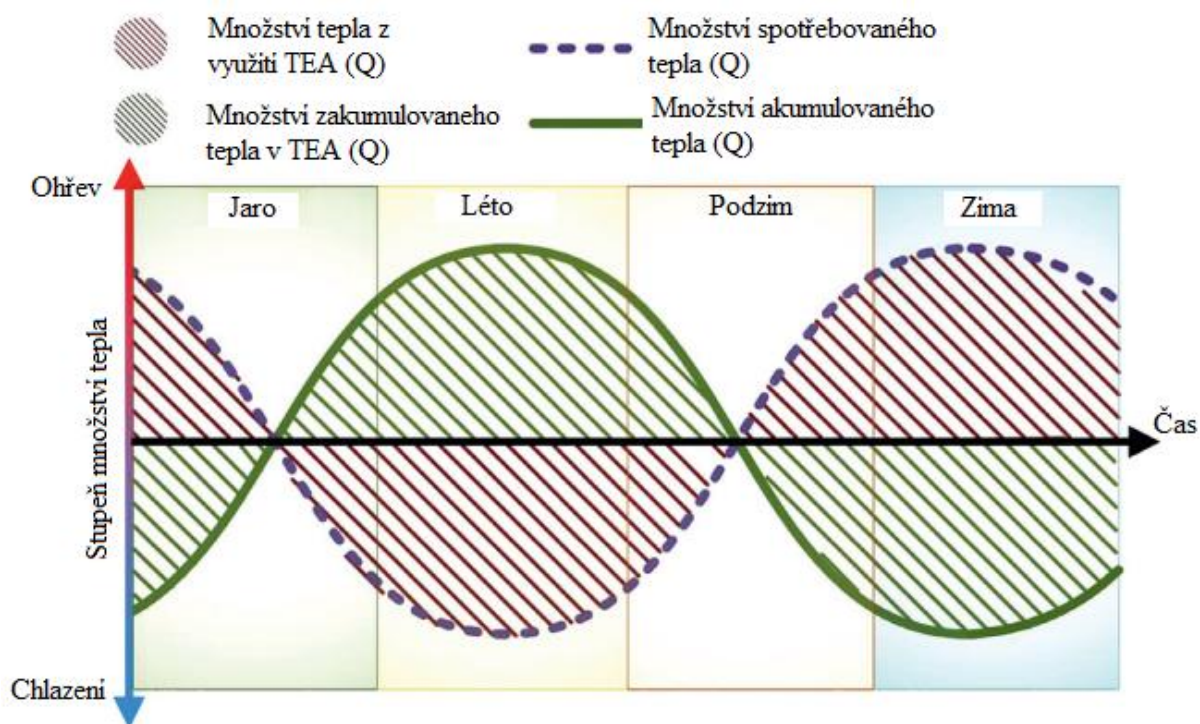
### **3.2. Termická akumulace energií**

Termická akumulace energie (TAE) je pokročilá technologie, která se stává stále atraktivnější pro tepelné aplikace, jako je vytápění, ohřev vody, chlazení a klimatizace. Systémy TAE nabízejí možnost zvýšit efektivitu tepelných energetických zařízení a usnadnit rozsáhlou změnu paliva. Klíčovým aspektem TAE je jeho schopnost řešit nesrovnalosti mezi dodávkou a poptávkou energie. [2]

Existují především dva typy systémů pro termickou akumulaci energie: senzitivní (například voda, kámen) a latentní (například led, solné hydráty). Volba systému TAE záleží hlavně na požadované době skladování, například denní nebo sezónní, ekonomické životaschopnosti, provozních podmínkách atd. Mnoho výzkumných a vývojových aktivit v oblasti energetiky se zaměřuje na efektivní využití energie a úsporu energie, přičemž TAE se jeví jako jedna z nejpřitažlivějších tepelných technologií, které byly vyvinuty. [2]

Termická akumulace energie je v zásadě proces, kdy se energie "zadržuje" pro pozdější použití. Teplota, na které je energie uchovávána, částečně určuje možné využití. Příklady TAE zahrnují skladování solární energie pro noční a víkendové využití, letní teplo pro zimní vytápění a led ze zimy pro letní chlazení. Navíc lze teplo nebo chlad generovaný elektricky během mimošpičkových hodin využít během následujících špičkových hodin. Sluneční energie, na rozdíl od energie z fosilních paliv, jaderné energie a některých dalších zdrojů, není k dispozici nepřetržitě. Dokonce i chladicí zátěže, které se do určité míry shodují s maximálními úrovněmi slunečního záření, ale s určitým časovým zpožděním, jsou často přítomny po západu slunce. TAE může poskytnout klíčový mechanismus pro vyrovnání tohoto nesouladu mezi dobou dostupnosti energie a poptávkou. [2]

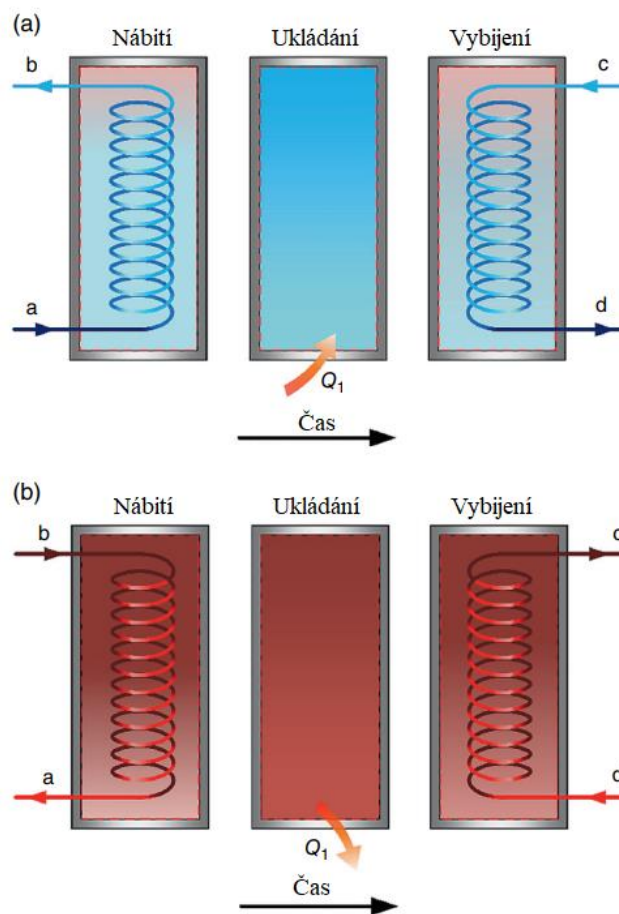
Rostoucí energetické požadavky společnosti, omezené zásoby fosilních paliv a obavy z environmentálních dopadů jsou hnací silou pro vývoj obnovitelných zdrojů energie, jako je sluneční energie, biomasa a větrná energie. Vzhledem k jejich přerušovanému charakteru je efektivní využití těchto a dalších zdrojů energie částečně závislé na dostupnosti účinných a efektivních systémů pro skladování energie. [2]



Obr. 7. Sezónní nabíjení a vybíjení TAE během roku. Adaptované z: *Thermal Energy Storage. System and Applications. 3d Edition.* [2]

Jako příklad úspor nákladů a zvýšení efektivity dosažitelné pomocí termické akumulace energie (TAE) zvažte tento scénář. V některých klimatických podmínkách je nutné zajistit vytápění v zimě a chlazení v létě. Tyto služby jsou obvykle poskytovány pomocí energie k pohonu ohříváčů a klimatizací. Jak ukazuje obrázek 7, pomocí TAE je možné akumulovat teplo z teplých letních měsíců pro použití v zimě, zatímco chladné okolní teploty v zimě mohou nabíjet chladicí zásobník a následně zajistit chlazení v létě. Toto je příklad sezónního skladování, které lze použít k pokrytí energetických potřeb způsobených sezónními výkyvy teplot. Je zřejmé, že takové schéma vyžaduje velkou skladovací kapacitu kvůli velkým časovým měřítkům skladování. Stejný princip lze použít v menším měřítku pro vyhlazení denních teplotních výkyvů. Solární energii lze například využít k ohřevu dlaždic na podlaze během dne. V noci, když okolní teplota klesá, dlaždice uvolňují své uložené teplo, aby zpomalily pokles teploty v místnosti. Dalším příkladem aplikace TAE je využití akumulace tepla pro využití tarifů za elektřinu mimo špičku. Chladicí jednotky lze provozovat v noci, kdy jsou náklady na elektřinu relativně nízké. Tyto jednotky slouží k chlazení tepelného zásobníku, který pak zajišťuje chlazení klimatizace po celý den. Nejenže se sníží náklady na elektřinu, ale díky nižším nočním okolním teplotám se zvýší i účinnost chladiče a sníží se špičková spotřeba elektřiny pro energetické společnosti. [2]

Existuje mnoho možností pro média pro uchovávání tepla, a to v závislosti na teplotním rozsahu a aplikaci. Pro senzitivní uchovávání tepla je často volbou voda, která má jednu z nejvyšších specifických tepelných kapacit mezi kapalinami při okolní teplotě. Přestože specifické teplo vody není tak vysoké jako u mnoha pevných látek, její výhodou je, že jako kapalina lze snadno čerpat pro přenos tepelné energie. Voda také umožňuje dobrý přenos tepla. Pevné látky mají výhodu vyšších specifických tepelných kapacit, což umožňuje kompaktnější skladovací jednotky. Pokud je potřeba vyšší teploty, jako například pro přívod přehřívacího vzduchu do pece, stávají se pevné látky preferovaným zásobníkem tepla. Jako skladovací materiál se pak často používají žáruvzdorné materiály. Pokud je potřeba přečerpat zásobní médium, často se používají tekuté kovy. [2]



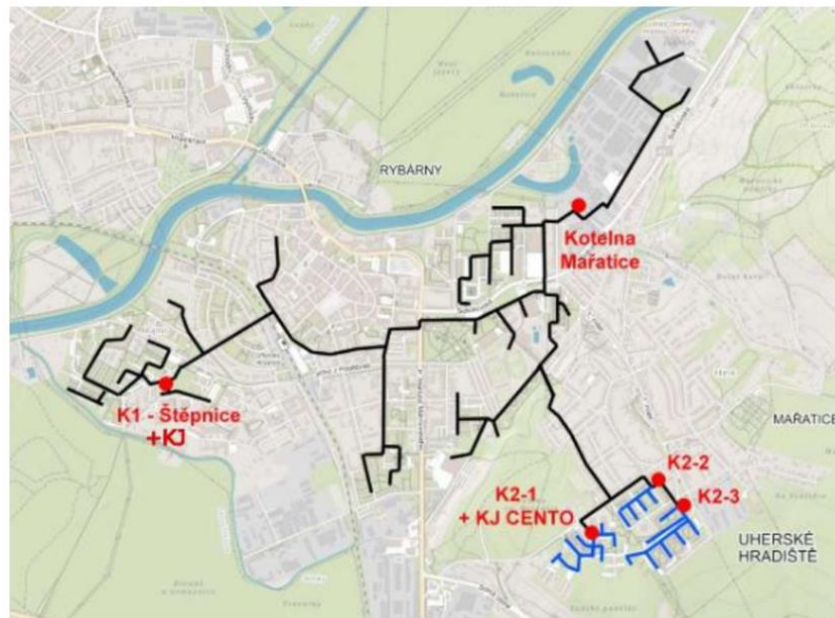
Obr. 8. Systém akumulace tepla a chladu a tři procesy. Adaptované z: *Thermal Energy Storage. System and Applications. 3d Edition.* [2]

Na obrázku 8 vidíme, že teplo  $Q_1$  proniká do systému a má pro chladicí systém kladnou hodnotu. Pokud se teplo  $Q_1$  uvolní, přechází do okolí a má zápornou hodnotu. Tepelný tok je znázorněn pro procesy skladování, ale může se vyskytnout ve všech procesech. Toto ukazuje, jak může být teplo efektivně využito a uchováno pro pozdější použití v různých aplikacích.

### 3.3. Lokalita

Kvůli tomu, že standartní systém slunečního sezonního akumulace tepla má nevýhodu, jaká dává jenom částečné zatížení kvůli záležitostí od počasí a častí dne, bylo vybráno více vhodnější způsob generace tepla – projekt budoucího ZEVO, který spaluje odpady během celého roku a bude mít stále velký tepelný výkon i mimo topného období, což působí velkou generace odpadního tepla.

V současné době je výroba tepla zajišťována jedním primárním a čtyřmi sekundárními zdroji. Primárním zdrojem tepla je uhelná teplárna v Mařaticích, která má instalovaný tepelný výkon 18,35 MW. K dispozici jsou také čtyři blokové kotelny jako sekundární zdroje s celkovým instalovaným tepelným výkonem 16,42 MW. Tyto zahrnují kotelnu K1 v Štěpnicích s kogenerační jednotkou a kotelny K2-1, K2-2, K2-3, také s kogenerační jednotkou. Celkový tepelný výkon systému je v současnosti 34,77 MW. Systém centrálního zásobování teplem v městě Uherské Hradiště je znázorněn na následujícím obrázku. [40]



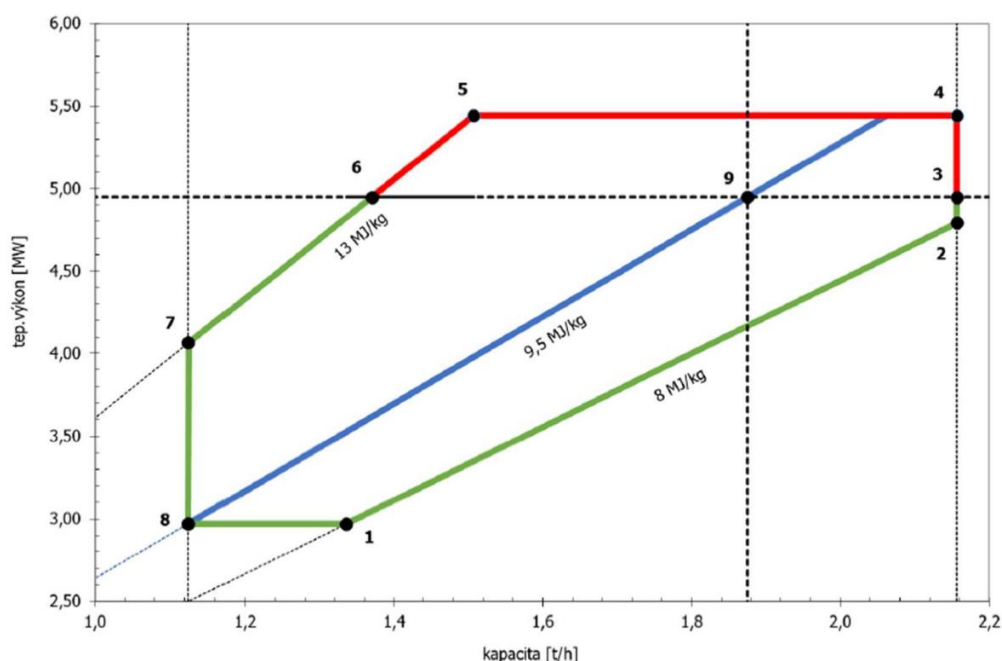
Obr. 9 Schématické znázornění sítě CZT (černá – primární rozvody, modrá – sekundární rozvody, červená – kotelny). Zdroj: Dokumentace ZEVO Uherské Hradiště. [40]

Pro tento projektový záměr byla doporučena technologie spalování na roštu, která je kombinována s metodou čištění spalin. Tato metoda zahrnuje suchou sorpci s dávkováním  $\text{NaHCO}_3$ , dávkování aktivního uhlí a odprášení pomocí tkaninového filtru. K redukci  $\text{NO}_x$  je využita technologie SCR, která zahrnuje dávkování roztoku technické močoviny. [40]

Při návrhu ZEVO je nutné respektovat čtyři základní parametry, které jsou klíčové pro následný provoz zařízení. Tyto parametry musí být v průběhu provozu dodržovány a nesmí být překročeny ani nedosaženy. Těmito parametry jsou: (Zdroj: *Dokumentace ZEVO Uherské Hradiště*) [40]:

- 1) tepelný výkon,
- 2) dávkované množství odpadu,
- 3) maximální teplota ve spalovacím prostoru (tj. maximální výhřevnost odpadu),
- 4) minimální teplota ve spalovacím prostoru (tj. minimální výhřevnost odpadu).

Grafická interpretace těchto dat je prezentována ve formě výkonového diagramu na následujícím obrázku. Tento diagram umožňuje identifikovat hlavní provozní oblasti technologie. [40]



Obr. 10. Výkonový diagram roštu pro ZEVO 15 kt/rok. Zdroj: *Dokumentace ZEVO Uherské Hradiště*. [40]

**Pracovní oblast**, která je definována vnitřní plochou diagramu mezi body 1, 2, 3, 6, 7 a 8, představuje běžný provozní stav technologie. V této oblasti jsou hodnoty tepelného výkonu, teplot a množství dávkovaného odpadu v souladu s očekávanými normami pro běžný provoz. Tato oblast je klíčová pro efektivní a bezpečné fungování technologie. [40]

**Oblast přetížení**, která je definována vnitřní plochou diagramu mezi body 3, 4, 5 a 6, představuje stav, kdy je technologie vystavena vyššímu zatížení, než je obvyklé. V tomto režimu může jednotka pracovat pouze omezenou dobu, přibližně 1 hodinu během 24 hodin. Tento režim by měl být využíván s opatrností, aby nedošlo k přetížení nebo poškození technologie. [40]

Bod 9 na diagramu reprezentuje **normální trvalý provoz** technologie. To znamená, že v tomto bodě jsou všechny parametry (tepelný výkon, teploty, množství dávkovaného odpadu atd.) nastaveny tak, aby bylo dosaženo optimálního a stabilního provozu zařízení. [40]

Cílem projektu je postavit zařízení pro energetické využití odpadů (ZEVO) s kapacitou 15 kt/rok v Uherském Hradišti. Plánované umístění ZEVO je v areálu teplárny Mařatice, na místě současné skládky uhlí. Plánovaná kapacita spalování komunálního odpadu je 15 kt/rok, což při plánovaném provozu 8 000 hodin/rok odpovídá nominální hodinové kapacitě 1,875 t/hod spáleného komunálního odpadu. [40]

Plánem je trvalé odstavení uhelných kotlů teplárny Mařatice a jejich nahrazení ZEVO, které bude dodávat teplo do stávající sítě centrálního zásobování teplem (CZT) města Uherské Hradiště, doplněné o zdroje na zemní plyn. Aby byly pokryty špičky v dodávkách tepla, zejména v zimních měsících, bude stávající objekt teplárny přebudován na plynovou teplárnu. Místo 4 uhelných kotlů budou instalovány 3 plynové kotle (každý o výkonu 6 MW) a kogenerační jednotka na zemní plyn o výkonu 1,26 MWt (999 kW<sub>e</sub>). Výroba elektřiny v současné turbíně bude zachována. [40]

Pro realizaci projektu ZEVO je zvažována oblast v areálu společnosti CTZ s.r.o., která je vhodná díky možnosti využití tepla a již existujícímu systému centrálního zásobování tepla. Teplárna Mařatice, která je součástí společnosti CTZ s.r.o., se nachází v severní části města Uherské Hradiště ve Zlínském kraji. V této oblasti města jsou umístěny i další průmyslové podniky, jako je MESIT, bývalý areál OTMA – Sloko a administrativní budovy těchto a dalších společností. Společnost CTZ s.r.o. je umístěna na začátku této průmyslové zóny. V areálu teplárny se aktuálně nachází uhelná teplárna Mařatice s plochou pro skladování uhlí. Dopravní dostupnost areálu je zajištěna silnicí II. třídy číslo 497, která spojuje Uherské Hradiště a obec Jarošov. Tato silnice nabízí dostatečnou šířku pro přístup nákladní dopravy k budovám teplárny, což umožňuje dovoz odpadu a odvoz reziduí. V současnosti je tato silnice také využívána pro dopravu pevných paliv, dovoz dalších látek pro systém čištění spalin a odvoz tuhých reziduí z teplárny Mařatice. [40]

Plánem pro výstavbu ZEVO je využití plochy, která je momentálně využívána pro skladování uhlí. Poloha ZEVO musí zohlednit trasu nového horkovodu CZT a plynovodu v severní části dostupné plochy pozemku 348/134. Z tohoto důvodu je

nutné umístit ZEVO do jižní části pozemku 348/134, což vyvolává potřebu rozšíření dostupných pozemků pro provoz ZEVO. [40]

Nákladní i osobní doprava pro provoz ZEVO, stejně jako pro ostatní technologie teplárny, je zajištěna na příjezdové komunikaci na pozemku 348/148 o rozloze 655 m<sup>2</sup> v katastrálním území Mařatic, které je vlastněno městem Uherské Hradiště. [40]

Vzhledem k frekvenci dopravy, nutnosti zajištění průjezdné šířky pro bezproblémovou obsluhu ZEVO a vhodnosti instalace kamerového systému a podobných zařízení usnadňujících obsluhu a evidenci dopravy, je také doporučeno, aby provozovatel ZEVO odkoupil tento pozemek. [40]

Na základě uvedených faktorů byla jako nejlepší možnost z hlediska ekonomické efektivity a dalších potenciálních dopadů vybrána **varianta umístění plánovaného zařízení pro energetické využití odpadů (ZEVO) do existujícího areálu Teplárny Mařatic**. Toto rozhodnutí bylo učiněno s ohledem na optimalizaci provozu a minimalizaci potenciálních negativních dopadů. [40]



Obr. 11 Pozemky dotčené výstavbou ZEVO. Zdroj: Dokumentace ZEVO Uherské Hradiště. [40]



*Obr. 12 Znáznornění dotčených pozemků v letecké mapě. Zdroj: Dokumentace ZEVO Uherské Hradiště. [40]*

## 4 Návrhová část

Vzhledem k otevřené diskuse s občany území, kde bude vystavené nové ZEVO bude navrženo umístění nádrže pro zbytečné akumulované teplo, aby nedošlo k jeho marnému vypuštění do okolí, a tím bude sníženo množství emise spojené se stále produkce tepla, úspora energie pro budoucí využití v čas topné sezony a snížení nákladů a množství spáleného zemního plynu. [41]

Teplo, které se bude přebytečně vyrábět v teple období se bude akumulovat ve speciálně navržené nádrži, odkud akumulované teplo se bude čerpat v chladnějším období.

Vzhledněm k umístění nové ZEVO bude potřeba akumulované teplo uchovávat vzdáleně od aktuální polohy budoucího ZEVO.

Projekt se připravuje a součástí této přípravy je dokumentace, která se zaměřuje na základní návrh ZEVO. Tato dokumentace definuje základní technické a technologické parametry, včetně prostorového uspořádání navrhovaného ZEVO. Studie, která se zabývá základními návrhovými parametry záměru (basic design), byla vypracována na základě studie o změně energetické koncepce zdroje teplárny CTZ v Uherském Hradišti, kterou provedlo VUT v Brně. Součástí dokumentace basic design je také základní materiálová a energetická bilance a aparátová skladba zařízení, včetně stanovení vhodné technologie pro výrobu elektrické energie. [40]

Ve studii VUT, která byla zmíněna výše, bylo provedeno hodnocení a ekonomické vyhodnocení různých možností nahrazení stávajícího uhelného zdroje. Byl také vyhodnocen potenciál odpadů, které nelze materiálově využít, a jejich vhodnost pro použití v plánovaném ZEVO. Hlavní pozornost byla věnována produkci odpadů v oblasti ORP Uherské Hradiště. ORP zahrnuje celkem 48 obcí s celkovým počtem obyvatel 90 tisíc. [40]

Ve studii VUT byl vypočítán potenciál odpadů vhodných pro ZEVO v roce 2035 na základě prognózy, která byla zpracována pro celou ČR. Cílem bylo splnit závazek ČR dosáhnout cíle materiálového využití KO na hodnotě 65 %. Model pro ORP Uherské Hradiště předpokládá do roku 2035 nárůst separovaného sběru papíru a plastů o 40%, skla a textilu o 70% a bioodpadu o 20% oproti stavu v roce 2018. V roce 2035 by mělo být více než 50 % OO materiálově využito. [40]

Podle odhadů bude celkové množství komunálního odpadu, který nelze materiálově využít a je vhodný pro energetické využití v ORP Uherské Hradiště, v roce 2035 přibližně 19 kt za rok. Kromě toho prognóza ukázala, že bude k dispozici přibližně 5 kt takových odpadů mimo komunální sféru. [40]

## 4.1. Vstupní údaje

V souvislosti s budoucí skladbou zdrojů a roční energetickou bilancí ZEVO vzhledem k dodávkám tepla do sítě CZT byly stanoveny charakteristiky provozu a předpokládané přebytky tepla zpracování odpadů v ZEVO. Hlavním stabilním zdrojem systému (tzv. base-load zdroj) bude ZEVO. V obdobích, kdy je potřeba vyšších dodávek tepla, budou spuštěny další zdroje – kogenerační jednotky a plynové kotle. Během pravidelných odstávek ZEVO bude tepelný výkon nahrazen některým z ostatních zdrojů. [40]

Na základě dokumentů vypracovaných pro technické posouzení záměru ZEVO byl stanoven podíl využití produkované energie pro dodávky tepla do sítě CZT, pro výrobu elektrické energie a tepla při nadbytečné produkci, které bude mařeno. Maření tepla se obvykle děje v letních měsících, kdy je odběr tepla do soustavy CZT nižší. Pravidelná servisní odstávka je plánována do období nejnižšího odběru tepla, což dále snižuje míru přebytků tepla. Následuje přehled návrhových stavů exportu tepla a výroby elektrické energie: [40]

Tab. 1. Údaje budoucího provozu ZEVO. Zdroj: Dokumentace ZEVO Uherské Hradiště. [40]

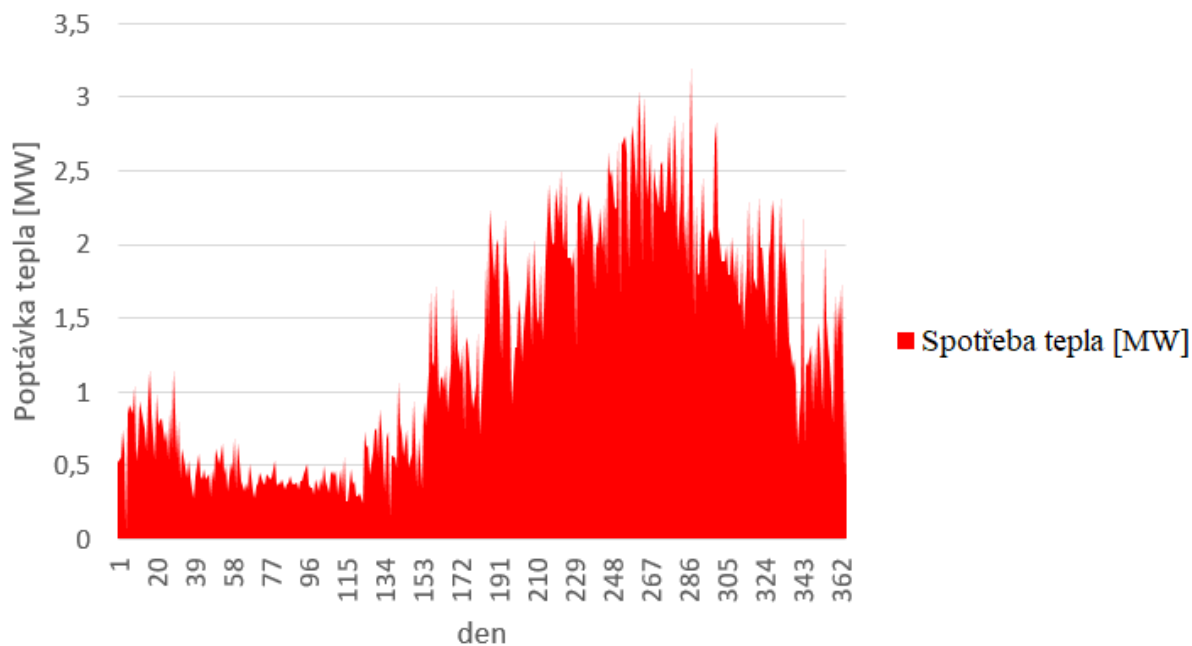
<b>Celková energetická bilance:</b>	
<i>Export tepla celkem:</i>	22 854 MWh/rok
<i>Výroba elektřiny celkem:</i>	1 622 MWh/rok
<i>Maření tepla celkem:</i>	5 044 MWh/rok

Údaje z dokumentace, které obsahují množství předpokládaného mařeného tepla, umožňuje začít vypočítat nám nadř, která bude sloužit pro uložení mařeného tepla a akumulace tepelné energie pro další využití a pokrytí tepelné poptávky během vytopné sezony.

Pak potřebujeme si uvědomit, jak vypadá poptávka tepla pro město Uherské Hradiště celkově. Na to použijeme údaje, které byly dostupné za rok 2023.

Celkově poptávka tepelné energie bude 40TJ, což rovná 40000GJ ročně.

V grafu 1 je znázorněna distribuce poptávky tepla.



Graf. 1 Znáornění poptávky a spotřeby tepla během roku

Podlé grafu vidíme, že rok začíná z teplejšího období, co nám umožňuje spočítat kolik času potřebujeme od začátku nabíjení nadře a její plného nabití, a okamžik plného vybití při používání z akumulovaného tepla.

## 4.2. Způsob uchování tepla a tepelná kapacita nádrže

Proto aby se dostat k oceňování typů nádrže, máme si uvědomit kolik tepla budeme moct uchovávat pomocí využití mařeného tepla novým ZEVO a kolik budeme potřebovat materiálu, které bude uchovávat teplo, pomocí kterému dojde ke snížení zátěže plynových kotlů v chladnějším období, a tím by možná i došlo ke snížení využití spotřeby plynu.

Poprvé vybereme materiál, který bude používán jako hlavní zdroj pro akumulaci mařeného tepla během provozu ZEVO.

Materiály citlivé na teplo, které jsou schopné akumulovat teplo, mohou být buď v kapalném nebo pevném skladovacím stavu. Parametry těchto materiálů, jako jsou termodynamické, fyzikální, chemické a ekonomické vlastnosti, jsou uvedeny v tabulce 1. Je důležité zajistit tepelnou spolehlivost (bez změny tepelných vlastností), chemickou stabilitu (bez rozkladu nebo změny chemického složení) po velkém počtu tepelných cyklů a odolnost proti teplotnímu stavu (bez degradace nebo ztráty hmotnosti) při vysokých teplotách, aby byla zajištěna dlouhá životnost. [42]

Energie uložená jako citelné teplo ( $Q$ ) v určitém časovém okamžiku pro danou hmotnost materiálu ( $m$ ) je určena rovnicí. Pro dosažení vysoké objemové akumulární kapacity ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ ), je třeba se zaměřit na materiály s vysokou specifickou tepelnou kapacitou a hustotou. Jako referenční hodnota je považována akumulární kapacita tepla vody pro teplotní rozdíl ( $\Delta T$ )  $60\text{ }^\circ\text{C}$ , která je  $250\text{ MJ}/\text{m}^3$ . [42]

Pokud jde o pevné materiály pro akumulaci tepla, nejběžněji používanými jsou skály, kameny, cihly, beton, suchá a mokrá zemina, dřevo, sádkartón a korková deska, které se preferují pro vytápěcí aplikace. Podzemní materiály, jako je skála, suchá a mokrá půda, mohou akumulovat teplo až do  $80\text{ }^\circ\text{C}$  s objemovou akumulární kapacitou přibližně  $108\text{ MJ}/\text{m}^3$  ( $\Delta T = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ). Beton může fungovat v teplotním rozmezí od  $30$  do  $70\text{ }^\circ\text{C}$  s objemovou akumulární kapacitou kolem  $95\text{ MJ}/\text{m}^3$  ( $\Delta T = 50\text{ }^\circ\text{C}$ ). Přestože je přenos tepla vedením mezi pevnými materiály typicky špatný, stratifikace může být udržována po dlouhou dobu. Kromě toho podzemní řešení ukazují výhodu využití země jako izolačního média, jako je tomu u rozsáhlých podzemních systémů TES. Použití pevných látek je však omezeno některými problémy, jako je snížená hustota akumulace energie ve srovnání s vodou, relativně vysoké náklady na provoz a údržbu akumulárních jednotek a rizika samovybíjení v dlouhodobém horizontu. [42]

Kapalné materiály pro skladování tepla, jako jsou voda, oleje a buď čistý alkohol nebo jeho deriváty, jsou běžně používány pro chlazení a vytápění. Voda je považována za nejlepší dostupný kapalným materiál díky své vysoké specifické tepelné kapacitě, dostupnosti a nízkým nákladům. Má objemovou akumulární kapacitu  $250\text{ MJ}/\text{m}^3$  pro vytápění ( $\Delta T = 60\text{ }^\circ\text{C}$ ) a  $63\text{ MJ}/\text{m}^3$  pro aplikace chlazení ( $\Delta T = 15\text{ }^\circ\text{C}$ ). Hlavními nevýhodami jsou vysoké investiční náklady na infrastrukturu pro skladování kapalin a riziko úniků. [42]

Tab. 2 Vlastnosti materiálů a ceny. Použité a adaptované: *Advances in thermal energy storage materials and their applications towards zero energy buildings: A critical review.* [42, 43]

Materiál	Průměrná cena	Druh	Vlastností			
			Hustota (kg/m <sup>3</sup> )	Tepelná vodivost (W/m°C)	Specifická tepelná kapacita (kJ/kg K)	Průměrná objemová měrná tepelná kapacita (kJ/m <sup>3</sup> K)
Beton	Od 1300 Kč/m <sup>3</sup>	Pevný	2000	1,35	1	2000
Beton (vysoká hustota)	Od 1300 Kč/m <sup>3</sup>	Pevný	2400	2	1	2400
Dřevo	10072 Kč/m <sup>3</sup>	Pevný	450	0,12	1,6	720
Hlína/bahno	-	Pevný	1200-1800	1,5	1,670-2,500	3252
Železobeton (2 %)	Od 1300 Kč/m <sup>3</sup>	Pevný	2400	2,5	1	2400
Olej	163541 Kč/m <sup>3</sup>	Kapalina	888	0,14	1,88	1669
Písek a štěrky	550–1300 Kč/m <sup>3</sup>	Pevný	1700-2200	2	0,91-1,18	2072
Voda (80 °C)	60Kč/m <sup>3</sup>	Kapalina	970	0,67	4,19	4064
Voda (20 °C)	60Kč/m <sup>3</sup>	Kapalina	998	0,6	4,19	4148
Voda (10 °C)	60Kč/m <sup>3</sup>	Kapalina	1000	0,6	4,19	4190

V našem případě výběr spadne na využití vody, jako hlavní materiál pro akumulaci tepla, protože má nízkou cenu i nejvyšší tepelnou kapacitu ze všech možných materiálů.

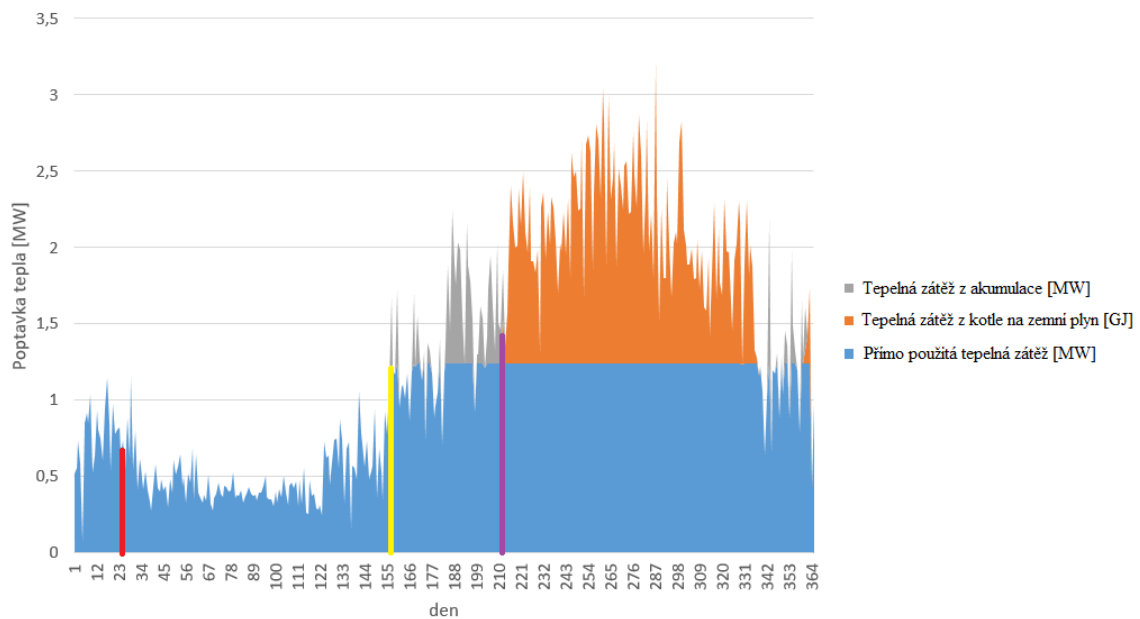
Pro typ nádrže poprvé mám si ujistit, jakých objem vody potřebujeme, pro akumulace mařeného tepla.

Tab.3 Vstupní údaje

Pojem nebo/a symbol	Množství	Jednotky	Převedené jednotky
<b>Mařené teplo <math>Q_m</math></b>	5044	MWh	$Q_m * 3,6 = 18158,4$ GJ
<b>Měřená kapacita <math>C_{o1}</math></b>	1000	GJ	
<b>Měřená kapacita <math>C_{o2}</math></b>	2000	GJ	
<b>Měřená kapacita <math>C_{o3}</math></b>	3000	GJ	
<b>Měřená kapacita <math>C_{o4}</math></b>	5000	GJ	
<b>Měřená kapacita <math>C_{o5}</math></b>	8000	GJ	
<b>Měřená kapacita <math>C_{o6}</math></b>	10000	GJ	

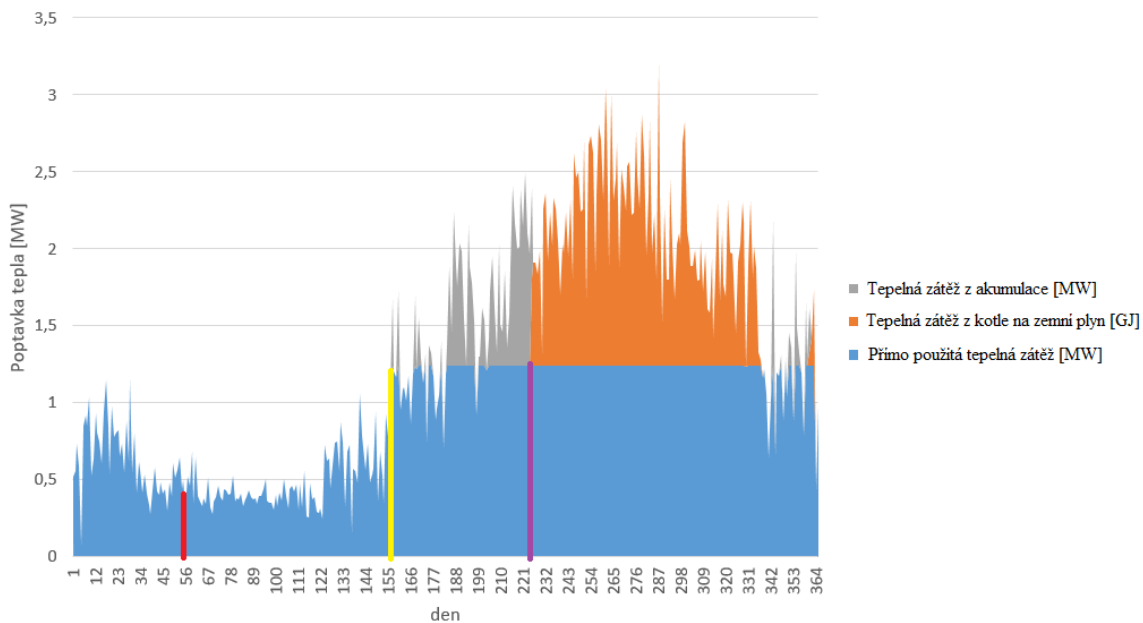
Podle údajů na tabule jde pochopitelné, že množství mařeného tepla ZEVO je mnohem víc, než plánujeme navrhovat termický akumulátor.

Kdybychom zvolili kapacitu od 1000 do 5000 GJ tak na následujících grafech budeme vidět, že od počátku teple sezony, kapacita nádrže už je plna o hodně před tím, jak začíná topná sezona. To znamená, že maření tepla nám bude trvat ještě nějakou významnou dobu.



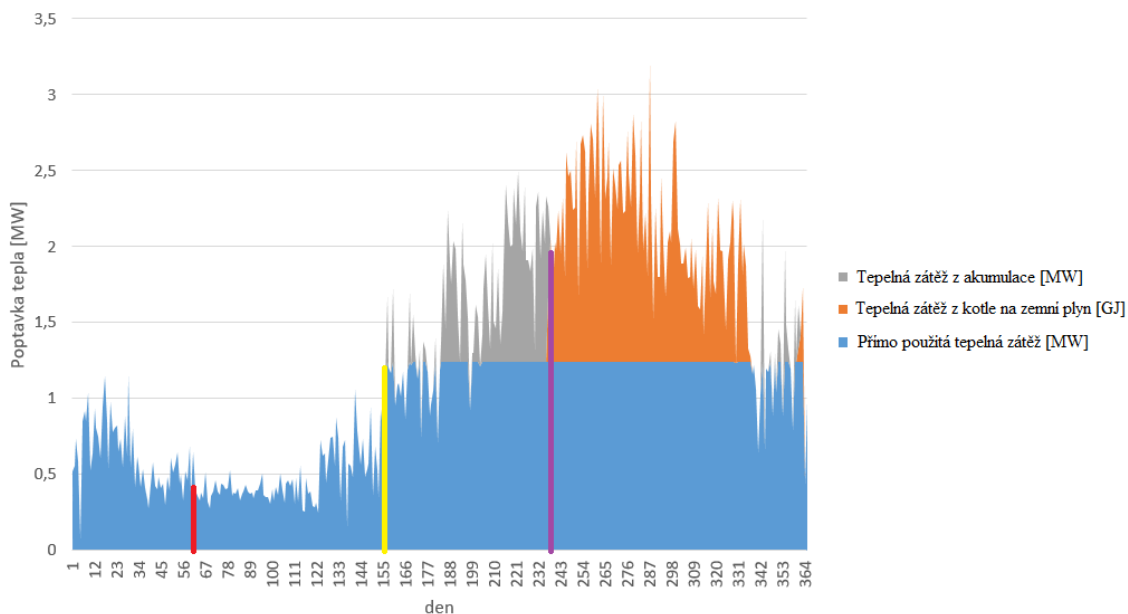
*Graf. 2 Znázornění využití akumulátoru tepla pro kapacitu 1000GJ (červená čára – okamžik nabití nádrže; žlutá čára – maximálně možná doba nabití; fialová čára – okamžik plného vybití)*

Na 45 den je nádrž plně nabitá a značné zvýšení poptávky tepla nám poprvé sáhne na 156 den, když i bude použité akumulované teplo a tento bod můžeme zvažovat jako počátek topné sezony. Po začátku topné sezony se nám to vybijí za 56 dnů. Hlavním důvodem takové dlouhé trvání je to, že během prvního měsíce poptávka tepla ještě není tak vysoká a občas klesá, kvůli čemu nádrž zase akumuluje mařené teplo. To platí pro všechny případy v dané analýze.



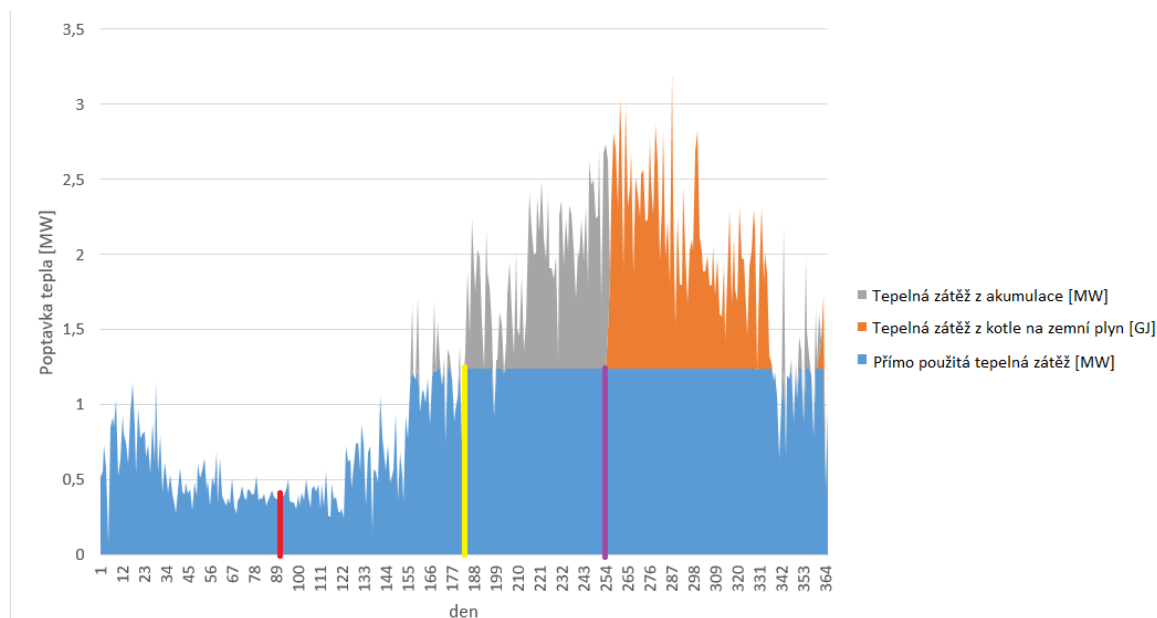
*Graf. 3 Znárodnění využití akumulátoru tepla pro kapacitu 2000GJ (červená čára – okamžik nabití nádrže; žlutá čára – maximálně možná doba nabití; fialová čára – okamžik plného vybití)*

Na 43 den je nádrž plně nabita a zbývá nám ještě 114 dnů do začátku topné sezony. Po začátku topné sezony se nám to vybijí za 69 dnů od začátku topné sezony.



*Graf. 4 Znárodnění využití akumulátoru tepla pro kapacitu 3000GJ (červená čára – okamžik nabití nádrže; žlutá čára – maximálně možná doba nabití; fialová čára – okamžik plného vybití)*

Na 60 den je nádrž plně nabita a zbývá nám ještě 97 dnů do začátku topné sezony. Po začátku topné sezony se nám to vybijí za 82 dni od začátku topné sezony.



*Graf. 5 Znárodnění využití akumulátoru tepla pro kapacitu 5000GJ (červená čára – okamžik nabití nádrže; žlutá čára – maximálně možná doba nabití; fialová čára – okamžik plného vybití).*

Na 91 den je nádrž plně nabita a zbývá nám ještě 66 dnů do začátku topné sezony. Po začátku topné sezony se nám to vybijí za 100 dnů od začátku topné sezony.

Takže podle grafu 1 je vidět, že hodně tepla nám po nabití nádrže ještě bude mařit bez žádné utilizace. Ale bereme v úvahu i to, že část tepla se začíná akumulovat i krátce před začátkem teple sezony. Ale z jiného pohledu, pomocí i nedostatečné pro nás hodnoty to pomohlo překryt případné použití plynového kotle. Skoro na konci topné sezony je taky vidět, že poptávka tepla začíná klesat a tímto dojde k dodatečně akumulace tepla. Tím ale můžeme zanedbat, protože většina vody v nádrži bude ještě chlazená, a proto může dojít k nedostatečné požadované teplotě vody.

Množství tepla, které nám bylo generované za celý rok dosáhne 4775,35GJ, které nám pokrývá při nominálním výkonu plynového kotle skoro polovinu spotřeby zemního plynu. (viz. Tab. 4)

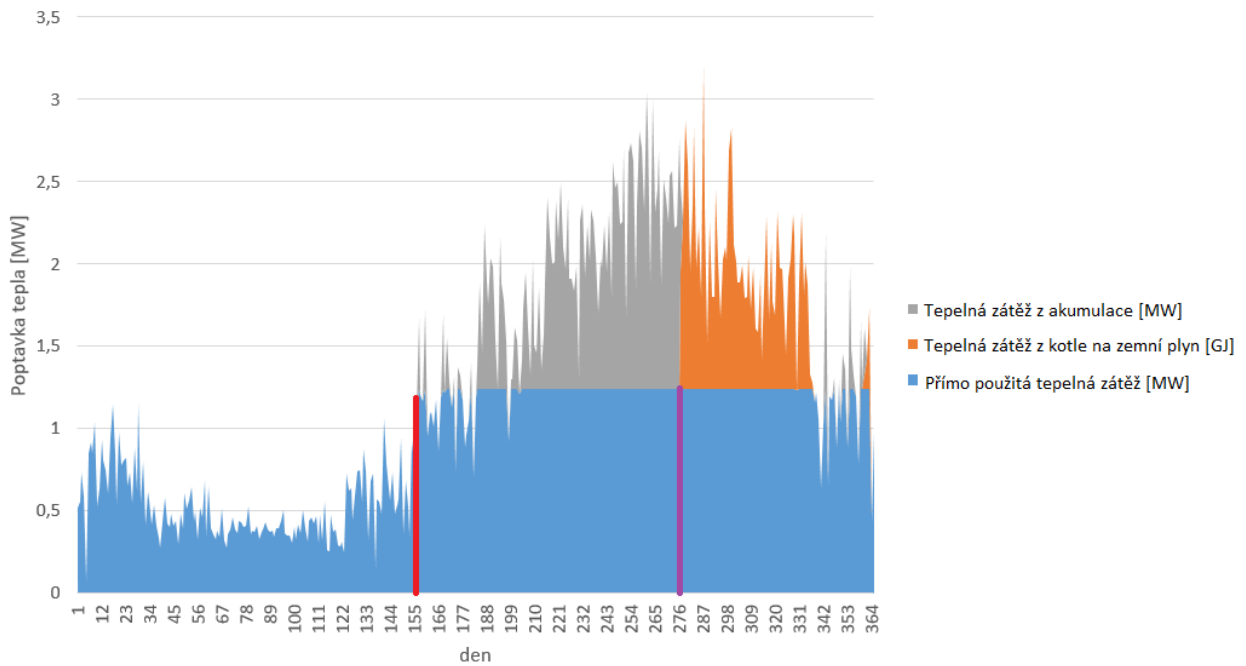
V tabulce, níž jsou vypočítané údaje, které nám ukazují rozdíl při dosažené akumulované kapacitě a jak nám to zkracuje množství spalovaného plynu.

Tab.4 Množství spotřebovaného plynu, pro různé kapacity nádrže.

Kapacita, GJ	Teplo využitě pomoci akumulace, GJ	Teplo generované plynovým kotlem, GJ	Spotřeba plynu, MWh	Spotřeba plynu [44], mil. Kč
<b>0</b>	0	11144	3095,478	2,28
<b>1000</b>	1455,57	9688,15	2691,15	2,20
<b>2000</b>	2357,90	8785,81	2440,50	2,0
<b>3000</b>	3185,71	7958,01	2210,56	2,18
<b>5000</b>	4775,35	6368,374	1769	1,45
<b>8000</b>	7047,13	4096,588	1137,94	0,933
<b>10000</b>	7056,31	4087,411762	1135,39	0,931

Jak je vidět z uvedené a následujících grafu – množství generovaného tepla pro nádrž o 8000GJ nám o třetinu zvětšilo. To je důsledkem toho, že nádrž měla dostatečný objem vody na to, aby generace tepla nám pokračovala až do chladnější sezony, kdy nám poptávka o teplo významně stoupne.

V druhém případě zvolené kapacity 8000GJ v grafu 2 můžeme vidět, že okamžik plného nabití nám trval až 155 dnů, a to nám vychází skoro ve stejný čas, jak nám začíná topná sezona. Za celý rok se vygeneruje až 7047,13 GJ. Okamžik plného vybití bude po 122 dnů po začátku topné sezony. Bereme v úvahu i to, že množství generované tepelné energii máme skoro o 1/3 více, kvůli rostoucí poptávky během chladnějších období, pomohlo to překrýt poptávku jenom o 31 více, než s nádobou o 5000GJ. Také to pomohlo zkrátit požadované množství plynu o třetinu. (viz. Tab. 4)



*Graf. 2 Znárodnění využití akumulátoru tepla pro kapacitu 8000GJ (červená čára – okamžik nabití nádrže; fialová čára – okamžik plného vybití)*

Na 155 den je nádrž plně nabitá a množství akumulovaného tepla nám začíná klesat na následující den. Za celý rok se vygeneruje až 7047,13 GJ. Okamžik plného vybití bude po 122 dnů po začátku. Výsledek pro nádrž o kapacitě 10000GJ není v dané analýze znázorněn, protože má stejnou dobu nabití a vybití jako nádrž o 8000GJ.

Také podle vypočtených údajů v tabule 4 je vidět, že rozdíl mezi nádrži kapacitou 8000GJ a 10000GJ není velký kvůli tomu, že obsah tepla v nádrži začíná klesat kvůli začátku topné sezony a nádrž nemá možnost akumulovat víc tepla.

### 4.3. Rozměry nádrže

Když už máme známe množství energie, které budeme generovat, je potřeba zvolit rozměry nádrže pro zvolenou kapacitu.

Objem nádrže můžeme dozvědět pomocí rovnice, kterou počítáme množství tepla.

$$-Q_{nadrž} = \int_{T_i}^{T_f} m * c_p * dT \quad (MJ) \quad (1)$$

Kde:

$Q_{nadrž}$  – tepelná kapacita, MJ

$T_i$  – počáteční teplota, K

$T_f$  – požadovaná teplota, K

$c_p$  – měřena specifická kapacita vody, kJ/kg K

$dT$  – rozdíl teplot, K

Hodnota tepelné kapacity nádrže bude záporná, kvůli tomu, že teplo  $\Delta T$  máme dodat do nádrže a tímto i rozumíme to, že nádrž je vybita.

Změníme rovnice:

$$-Q_{nadrz} = m * c_p * \Delta T = (V * \rho) * c_p * (T_i - T_f) \text{ (MJ)} \quad (2)$$

Kde:

$V$  – objem tepelné kapacity,  $m^3$

$\rho$  – hustota látky,  $kg/m^3$

Ted' můžeme opravit rovnice pro nalezení potřebného obsahu nádrže jediné přidáme doplňující údaje o počáteční teplotě a tou, které chceme dosáhnout a jejich hustotu:

Tab.5 Dodatečné údaje pro výpočet objemu nádrže.

Symbol a pojem	Hodnota	Jednotka	Převedené jednotky
$T_i$	20	°C	293K
$T_f$	80	°C	353K
$\rho_{20}$	998	kg/ $m^3$	
$\rho_{80}$	970	kg/ $m^3$	
$c_p$	4,19	kJ/kg K	0,00000419 GJ/kg K

Kde:

$\rho_{20}$  – hustota vody při teplotě 20°C

$\rho_{80}$  – hustota vody při teplotě 80°C

$$V = \frac{-Q_{nadrz}}{c_p * (T_i - T_f) * \left(\frac{\rho_{20} + \rho_{80}}{2}\right)} = 32339,23 \text{ (m}^3\text{)} \quad (3)$$

Neznamená to ale, že spočítána hodnota objemu je pro nás vhodná pro zvolení potřebného objemu nádrže. Pokud víme o tom, že při zvýšených teplotách kapalina má jev rozšíření, proto máme si ujistit, kolik potřebujeme maximální rozměr nádoby pro uchování zahřáté vody.

*Tab.6 Objemy nádrže při různých teplotách vody*

<b>t, °C</b>	<b>ρ, kg/ m<sup>3</sup></b>	<b>V<sub>vody</sub>, m<sup>3</sup></b>
20	998	31885,57
Průměr ΔT	984	32339,23
80	970	32805,98

Podle tabulky vyš vidíme, že minimální objem vody bude při stavu, kdy voda není ohřata, a naopak bude mít maximální objem při teplotě 80°C.

Přirovnáme maximální dosažený objem k nějakému celému číslu a budeme zkoušet maximálně vhodnou pro nás velikost nádrže.

Zvolíme nádrž pro teplotu 80°C a objemem 32805,98 m<sup>3</sup> a přirovnáme objem k nějaké celé částce = 33000 m<sup>3</sup> a zkusíme přirovnat k nějakým rozměrem navrhované nádrže.

*Tab.7 Objemy nádrže při různých rozměrech navrhované nádrže*

<b>V<sub>nadrz</sub>, m<sup>3</sup></b>	<b>33000</b>	<b>33000</b>	<b>33000</b>	<b>33000</b>
a, m	11	22	22	22
b, m	30	15	30	25
c, m	100	100	50	60
S, m <sup>2</sup>	3000	1500	1500	1500

Kde, a – hloubka, b – šířka, c – délka, S – plocha nadzemní částí.

Vzhledem k dosaženým rozměrům je pochopitelné, že je postavení nádrže docela náročné, kvůli tomu, že máme ji mít hlubokou a bude nám zabírat velkou plochu na povrchu. Od 3000 m<sup>2</sup> do 1500 m<sup>2</sup>.

Možná by pomohlo rozdělit celkový objem na několik menších a tím by nám to pomohlo s realizací projektu, k tomu navíc, budeme moct postavit nádrže v různých místech, a to by nám i usnadnilo možnost případných oprav, kdyby k tomu někdy došlo.

$$V_{m.nádrž} = \frac{V_{nádrž}}{4} = 8250 (m^3) \quad (4)$$

Tím, že bude obsah každé nádrže bude méně o čtvrt, umožní to nám snadnější přístup k různým polohám místností a možností lehčího přístupu (možnost služebních páter) a provedení udržitelných druhů práce.

*Tab.8 Objemy nádrže při různých rozměrech navrhovaných menších nádrže*

$V_{m.nádrž}, m^3$	8250	8400	8654,625	$V_{m.v.nádrž}, m^3$
a, m	22	21	21	D, m
b, m	25	20	346,185	S, m <sup>2</sup>
c, m	15	20	25	H, m
$L=((a+b+c)*4), m$	248	244	131,88	$L*2, m$

Kde, a – hloubka, b – šířka, c – délka, L – délka všech rohových styku, D – diametr válcové nádrže, S – plocha válcové nádrže, H – výška válcové nádrže

Objemy nádrže spočítáme pomocí následujících rovnic:

$$V_{m.nádrž} = a * b * c \quad (5)$$

Pro nádrž válcového tvaru to bude:

$$V_{mv.nádrž} = \frac{\pi * D^2 * H}{4} \quad (6)$$

Během analýzy se podařilo najít vhodnou formu podobné krychle a s rozměry 21\*20\*20 m, ale když nádobí navrhujeme s kruhovou podobou, tak nám to změní geometrie nádrži, ale zvětší možnou zátěž, která ta nádrž vydří a mnohým zmenší možná náročná místa, které převážně začínají kazet během provozu v místech rohových spojů.

Na tabuli je vidět, že kdyby nádrž měla podobu válce, tak nám to zmenší celkovou doušku rohových spojů o více než 100 metrů.

Pro další výpočty máme si znázornit a si ověřit, zdá maximální objemová a váhová zátěž nádrži odpovídá navrženým objemům nádrží při maximální zátěží vodou.

Použijeme údaje z tabulky 6 aby provést další výpočty:

*Tab.9 Objemy nádrže při různých teplotách vody*

t, °C	$\rho$ , t/ m <sup>3</sup>	V <sub>nádrž</sub> , m <sup>3</sup>	m <sub>nádrž</sub> , t	m <sub>m.c.nádrž</sub> , t	V <sub>m.c.nádrž</sub> ,
20	0,998	31885,57	31821,78	7955,45	8201,5
80	0,970	32805,98	32281,08	8185,09	8201,5

Podlé zvolených teplot a obsahů vody v nádrží vidíme, že zvolená geometrie válcové nádrží nám úplně odpovídá, protože námi zvolené rozměry umožňují naplnit nádrž o objemu hodně většímu, než se předpokládá. **8654,625m<sup>2</sup>** je dostatečný objem i pro případy, když bude možné bude spalovat více odpadu než ve skutečném projektu, dojde-li k takovým změnám v budoucnu.

Také bereme v úvahu možnosti částečné nebo plné ponoření nádrže v zemi. V tomto případě je potřeba důkladně zvážit možnosti pudy, aby mohla vydržet takové objemové a hmotností zatížení.

Také zvažujeme i možný případy poruch během provozu. Pro takové případy je možné i plná dysfunkčnost systému pro nějakou z 4 jednotek, proto je potřeba i rozhodnout o postavení dalších rezervních nádrže, které by mohli uchovávat vodu nádrže, která má závadu a stále akumulovat tepelnou energii.

## Závěr

Podle zvolených parametru a vstupních údajů byla provedená analýza poptávky tepla a navržená varianta systému akumulace tepla, která by pomohla zmenšit množství mařeného tepla které působí každodenní provoz ZEVO během celého roku.

Zvolená varianta o kapacitu nádrže nepředpokládá, že by došlo k ohřátí vody o větší kapacitu než 8000GJ, protože v tomto případě to bude znamenat, že kapacita spalování odpadu zvýše, a to potom bude působit nutnosti stavby další nádrže.

Podlé aktuálních vypočtu bylo zjištěno, kolik ročně se bude šetřit použitím akumulace v návazností na spotřebu plynu, a to nám vyšlo od počátečních nákladu od 2,28 mil. Kč do 0,933 mil. Kč, což zkracuje spotřebu plynu o víc než dvakrát.

Zvoleny objem nádrže byl stanoven pro hodnotu 33000 m<sup>3</sup>, ale pro zmenšení plochy místností, kterou bude konstrukce potřebovat, bylo řešeno rozdělit jednou velkou nádrž o 4 menší a tvar by měla byt podobné válcové.

Postavené nádrže se budou částečně nebo plně ponořené v zemi. Plné ponoření bude komplikovat dostupnost k možným útokům, ale umožní lepší tepelnou izolace.

## Zdroje

1. Ing. Ervín NOHEJL. *Sezónní akumulátor tepla s minimálními ztrátami*. [online] 2014 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla/11626-sezonni-akumulator-tepla-s-minimalnimi-ztratami>
2. İBRAHİM DİNÇER AND MARC A. ROSEN, *Thermal Energy Storage. System and Applications. 3d Edition*. [cit. 2024-06-27] Ontario Tech University, Ontario, Canada, s. 125-259.
3. HOOPER, F.C., MCCLENAHAN, J.D. A WILLIAMS, G.T. *Solární systémy vytápění prostor využívající roční akumulaci tepla*. 1980 [cit. 2024-06-27] Závěrečná zpráva č. DOE-CS-32939-12 připravená pro Ministerstvo energetiky USA, Katedrou strojního inženýrství, University of Toronto.
4. ROSEN, M. A. *Vyhodnocení tepelných ztrát z částečně zakopaných akumulčních nádrží tepla*. 1990 [cit. 2024-06-27] International Journal of Solar Energy 9 (3): 147–162.
5. ROSEN, M. A. *Semi-empirický model pro hodnocení vlivů berm na tepelné ztráty z částečně zakopaných zásobníků tepla* 1998 [cit. 2024-06-27] International Journal of Solar Energy 20: 57–77.
6. TEPLÁRENSKÉ SDRUŽENÍ ČESKÉ REPUBLIKY. *Až třetinu dálkového tepla by mohla v budoucnu dodávat velká tepelná čerpadla* [online] 2020 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://tscr.cz/az-tretinu-dalkoveho-tepla-by-mohla-v-budoucnu-dodavat-velka-tepelna-cerpadla/>
7. Mgr. Jiří ZILVAR, redakce. *Teplárenství v době Green dealu: tepelná čerpadla, kogenerace a masivní akumulace*. [online] 2024 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://energetika.tzb-info.cz/teplarenstvi/26861-teplarenstvi-v-dobe-green-dealu-tepelna-cerpadla-kogenerace-a-masivni-akumulace>
8. POJAR Petr. *Vnitřní prostředí a vytápění budov. Akumulace tepla*. [online] 2020 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://www.ceskestavby.cz/clanky/novy-cesky-vynalez-uklada-energii-do-pisku-a-zase-ji-z-nej-ziskava-slibuje-nulove-provozni-naklady-32664.html>
9. doc. Ing. Michal KABRHEL, Ph.D. *Nový český vynález ukládá energii do písku a zase ji z něj získává. Slibuje nulové provozní náklady*. [online] 2023 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** [https://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/16/vpv/vpv\\_akumulace-2020\\_tisk.pdf](https://tzb.fsv.cvut.cz/vyucujici/16/vpv/vpv_akumulace-2020_tisk.pdf)
10. BECHNÍK Bronislav. *Akumulace tepelné energie - fyzikální principy*. [online] 2003 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla/1482-akumulace-tepelne-energie-fyzikalni-principy>

11. Ing. Jiří MATĚJČEK, CSc. *Výhody a nevýhody používání kombinované akumulční nádoby pro přípravu teple vody sluneční energii.* [online] 2018 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:**  
<https://www.topin.cz/clanky/vyhody-a-nevyhody-pouzivani-kombinovane-akumulacni-nadoby-pro-pripravu-teple-vody-slunecni-energii-detail-3184>
12. SKOVAJSA Jan, KOLÁČEK Martin, ZÁLEŠÁK Martin. *Možnost akumulace energie ve formě tepla a chladu do akumulčních panelů.* [online] 2018 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:**  
<https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/energie/moznost-akumulace-energie-ve-forme-tepla-a-chladu-do-akumulacnich-panelu>
13. JANEČKA Filip. Bc. *Akumulace Energie Do "Tepelných Baterií"*, Bakalářská Práce. [online] 2022 [cit. 2024-06-24].  
VEDOUcí PRÁCE: doc. Ing. Jiří POSPÍŠIL, Ph.D.  
**Dostupné z:** [https://theses.cz/id/9g2pwy/2023\\_BP\\_Janecka\\_Filip\\_228922.pdf](https://theses.cz/id/9g2pwy/2023_BP_Janecka_Filip_228922.pdf)
14. BUDÍN Jan. *Jak funguje soustava centrálního zásobování teplem v ČR?* [online] 2015 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:**  
<https://oenergetice.cz/teplarenstvi/jak-funguje-soustava-centralniho-zasobovani-teplem-v-cr>
15. TISKOVA ZPRÁVA. *Využití odpadního tepla* [online] 2023 [cit. 2024-06-24].  
**Dostupné z:** <https://vyrobaenergie.cz/vyuziti-odpadniho-tepla/>
16. BUDÍN Jan. *Využití odpadního tepla pro výrobu elektřiny, tepla a chladu* [online] 2015 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:**  
<https://oenergetice.cz/teplarenstvi/vyuziti-odpadniho-tepla-pro-vyrobu-elektriny-tepla-a-chladu>
17. GROHMANN Jan. *Využití odpadního tepla pro výrobu elektřiny* [online] 2015 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:**  
<https://www.ekobydleni.eu/energie/vyuziti-odpadniho-tepla-pro-vyrobu-elektriny>
18. HOPEROVÁ Helena. *Spotřeba tepla v Česku byla v roce 2022 nejnižší za šest let. Klesla meziročně o 12 %* [online] 2023 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:**  
<https://www.cesko1.cz/2023/03/24/spotreba-tepla-v-cesku-byla-v-roce-2022-nejnizsi-za-sest-let-klesla-mezirocne-o-12/>
19. BUDÍN Jan. *Jak funguje soustava centrálního zásobování teplem v ČR?* Teplárenské sdružení České republiky. [online] 2015 [cit. 2024-06-24].  
**Dostupné z:**  
<https://oenergetice.cz/teplarenstvi/jak-funguje-soustava-centralniho-zasobovani-teplem-v-cr>
20. ODBOR KOMUNIKACE 81400. *Česká republika přechází na nové zdroje vytápění, 4 miliony obyvatel a firmy dostanou cenově dostupné teplo i nadále.* [online] 2015 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:**  
<https://www.mpo.gov.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/ceska->

- republika-prechazi-na-nove-zdroje-vytapeni--4-miliony-obyvatele-a-firmy-dostanou-cenove-dostupne-teplo-i-nadale--256716/
21. STUDIE ČVUT: *České teplotnosti nemusí být překážkou k naplnění klimatických cílů, potřebuje ale inovativní investice*. České Vysoké Učení Technické V Praze. [online] 2020 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://aktualne.cvut.cz/tiskove-zpravy/20210413-studie-cvut-ceske-teplarenstvi-nemusi-byt-prekazkou-k-naplneni-klimatickych>
  22. TEPLÁRENSKÉ SDRUŽENÍ ČESKÉ REPUBLIKY. [online] 2020 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://tscr.cz/o-nas/>
  23. ODDĚLENÍ REGULACE TEPLÁRENSTVÍ. *Přehled cen tepelné energie v členění podle cenových lokalit*. [online] 2022 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://eru.gov.cz/prehled-cen-tepelne-energie-v-cleneni-podle-cenovych-lokalit>
  24. VOBOŘIL David. *Paroplynová elektrárna – princip funkce* [online] 2015 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://oenergetice.cz/plyn/paroplynova-elektrarna-princip-funkce>
  25. VZDĚLÁVACÍ PORTÁL ČEZ. *Paroplynová elektrárna*. [online] 2020 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/plynove-a-paroplynove-elektrarny/paroplynova-elektrarna>
  26. TISKOVÉ ZPRÁVY. *Veolia postaví v Karviné první multipalivový kotel v ČR*. [online] 2018 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://www.veolia.cz/cs/tiskove-zpravy/veolia-postavi-v-karvine-prvni-multipalivovy-kotel-v-cr>
  27. ČTK. *Veolia postaví v Karviné první multipalivový kotel v ČR*. [online] 2018 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://oenergetice.cz/energetika-v-cr/konec-uhli-ovlivni-i-teplarenstvi-v-karlovarskem-kraji-suas-hleda-nove-zdroje>
  28. ČEZ ESCO. *Jak funguje kogenerační jednotka*. [online] 2024 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://www.cezenergo.cz/cs/o-kogeneraci/jak-funguje-kogeneracni-jednotka>
  29. GENTEC. *Popis produktu KE-MNG 200 eco-AE*. [online] 2024 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://gentec.cz/produkt/ke-mng-200-eco-ae/>
  30. TOMÁŠKOVÁ Hana. *Energetické využití komunálních odpadů v ČR a v zahraničí*. [online] 2022 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://www.komunalniekologie.cz/info/energeticke-vyuziti-komunalnich-odpadu-v-cr-a-v-zahranici>
  31. BĚLSKÝ Michal. *Na jihu Čech spálí odpad z Vysočiny, do šesti let mají stát tři zařízení*. [online] 2023 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:**

- [https://www.idnes.cz/ceske-budejovice/zpravy/spalovna-zevo-spalovani-odpad-energie-plana-c-energy.A230524\\_727169\\_budejovice-zpravy\\_mrl](https://www.idnes.cz/ceske-budejovice/zpravy/spalovna-zevo-spalovani-odpad-energie-plana-c-energy.A230524_727169_budejovice-zpravy_mrl)
32. SKUPINA ČEZ. *Co je ZEVO* [online] 2024 [cit. 2024-06-27]. **Dostupné z:** <https://www.cez.cz/cs/zevo/co-je-zevo>
33. SKUPINA ČEZ. *ZEVO Mělník* [online] 2020 [cit. 2024-06-27]. **Dostupné z:** <https://www.cez.cz/cs/zevo/zevo-melnik>
34. ZEVO VRÁTO. *Popis projektu* [online] 2021 [cit. 2024-06-27]. **Dostupné z:** <https://www.zevovrato.cz/zevo-vrato/>
35. TISKOVÉ ZPRÁVY. *Spalovna odpadů v Komořanech u Mostu* [online] 2012 [cit. 2024-06-27]. **Dostupné z:** <https://arnika.org/odpady/nase-temata/spalovani-odpadu/spalovny-v-ceske-republice/spalovna-v-komoranech-u-mostu>
36. TISKOVÉ ZPRÁVY. *Spalovny v Plané nad Lužnicí* [online] 2020 [cit. 2024-06-27]. **Dostupné z:** <https://arnika.org/odpady/nase-temata/spalovani-odpadu/spalovny-v-ceske-republice/spalovna-plana-nad-luznici>
37. TISKOVÉ ZPRÁVY. *Pravda o ZEVO?* [online] 2024 [cit. 2024-06-27]. **Dostupné z:** <https://zevo.zevopisek.cz/faq/>
38. SAKO BRNO A.S. *SPALOVNA - ZAŘÍZENÍ NA ENERGETICKÉ VYUŽÍVÁNÍ KOMUNÁLNÍHO ODPADU*. [online] 2018 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://www.sako.cz/pro-brnaky/cz/256/spalovna-zarizeni-na-energeticke-vyuzivani-komunalniho-odpadu/>
39. TOMLINSON, J.J. AND KANNBERG, L.D.. *Skladování tepelné energie. Strojírnoství* (1990) [cit. 2024-06-27] 112: 68–72.
40. TESO SPOL. S R.O. ČLEN SKUPINY TESO. *Dokumentace ZEVO Uherské Hradiště. s.5-41. E-6213-2022-A1-EIA ZEVO UH\_2023.08.08.pdf*. **Dostupné z:** [https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA\\_ZLK972?lang=cs](https://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_ZLK972?lang=cs)
41. TISKOVÉ ZPRÁVY. *Proběhla diskuse o vlivu ZEVO na životní prostředí* [online] 2023 [cit. 2024-06-24]. **Dostupné z:** <https://www.mesto-uh.cz/o-meste/tiskove-zpravy/2023/probehla-diskuze-o-vlivu-zevo-na-zivotni-prostredi>
42. Jesús LIZANA, Ricardo CHACARTEGUI, Angela BARRIOS-PADURA, José Manuel VALVERDE. *Advances in thermal energy storage materials and their applications towards zero energy buildings: A critical review* [online] 2017 [cit. 2024-06-24] **Dostupné z:** <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.008>
43. NOVÁK Petr. *Cena vody 2024: Vodné a stočné v 219 městech až 9 let zpětně* [online] 2024 [cit. 2024-06-24] **Dostupné z:** <https://www.skrblik.cz/energie/voda/cena-vody/>
44. Trend: *Cena zemního plynu* [online] 2024 [cit. 2024-06-27] **Dostupné z:** <https://oenergetice.cz/energostat/ceny-aktualne/zemni-plyn>

## Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka	Pojem
CZT	Centrální Zásobování Teplem
ERÚ	Energetického regulačního úřadu
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
MWh, kWh	Megawatt hodina, Kilowatt hodina
ZEVO	Zařízení pro energetické využití odpadů
TES	Termoenergetické systémy
Q	Množství tepla
TAE	Termická akumulace energie
kt/r	Kilotuny ročně
t	Tuna
m <sup>3</sup>	Metr krychlový
m <sub>N</sub> <sup>3</sup>	Metr normální krychlový
kJ, MJ, GJ	Kilojoule, Megajoule, Gigajoule
ΔT	Teplotní rozdíl
kg	Kilogram
°C	Stupeň Celsia
K	Stupeň Kelvinu
Kč	Koruna Česká