



D2.2

Portfólio technických riešení

Dátum 30.09.2024
Verzia dokumentu 04



Projekt je spolufinancovaný Európskou úniou. Vyjadrené názory a stanoviská sú výlučne názormi autora/autorky (autorov/autoriek) a nemusia nevyhnutne odrážať názory Európskej únie alebo CINEA. Európska únia ani orgán poskytujúci grant za ne nenesú zodpovednosť.

Názov pracovného balíka	WP2 – Trhové, technické a finančné hodnotenie
Číslo výstupu	D2.1
Opis	Správa opisuje hlavné prvky sústav centralizovaného zásobovania teplom (CZT) a stratégie/technológie na prispôsobenie/integráciu nízkopotenciálnych energetických zdrojov do vysokoteplotných distribučných sietí CZT.
Vedúci partner	UNIPARTHENOPE
Vedúci autor	Federico Scarpa (UNIGE), Luca Tagliafico (UNIGE), Vincenzo Bianco (UNIPARTHENOPE)
Spolupracovníci	Annalisa Marchitto (UNIGE), Mattia De Rosa (UNIGE)
Predkladateľ	CREARA
Verzia dokumentu (číslo revízie)	1
Citlivosť (zabezpečenie):	Verejné
Dátum:	12/09/2024

Schvaľovateľ(ia) a recenzent(i) dokumentu:

POZNÁMKA: Všetci schvaľovatelia sú povinní. O každom schvaľovateľovi sa musia viesť záznamy. Všetci recenzenti v zozname sa považujú za povinných, pokiaľ nie sú výslovne uvedení ako nepovinní.

Meno	Úloha	Činnosť	Dátum
Gabriel Garcia Hernandez	Člen projektovej rady	<i>Recenzované</i>	23/09/2024
Galina Ivanova	Člen projektovej rady	<i>Recenzované</i>	23/09/2024
David Pérez	Člen projektovej rady	<i>Schválené</i>	27/09/2024

História dokumentu:

Autor dokumentu je oprávnený vykonať nasledujúce typy zmien v dokumente bez toho, aby bolo potrebné opätovné schválenie dokumentu:

- Editácia, formátovanie a pravopis
- Vysvetľovanie

Strana | 3

Ak chcete požiadať o zmenu tohto dokumentu, kontaktujte autora alebo vlastníka dokumentu. Zmeny tohto dokumentu sú zhrnuté v nasledujúcej tabuľke.

Revízia	Dátum	Vytvorené	Krátky opis zmien
01	01.06.2024	UNIGE – Federico Scarpa	Vytvorený 1. návrh
02	20/07/2024	UNIGE – Luca Tagliafico	Zverejnený 2. návrh
03	06/09/2024	UNIGE – Luca Tagliafico	Zverejnený 3. návrh
04	16/09/2024	UNIPARTHENOPE – Vincenzo Bianco	Zverejnený 4. návrh
05	23/09/2024	CREARA – Gabriel García	Recenzované
06	23/09/2024	EUROPROJECT – Galina Ivanova	Recenzované
07	27/09/2024	CREARA – David Pérez	Recenzované a schválené

Riadenie konfigurácie: Umiestnenie dokumentov

Najnovšia verzia tohto kontrolovaného dokumentu je uložená v internom priečinku projektu:

[Deliverables](#)

Charakter výstupu		
R	Správa	x
DEC	Webové stránky, patenty, podania atď.	
DEM	Osoba prezentujúca výstupy	
O	Ostatné	

Úroveň šírenia		
PU	Verejná	x
CO	Dôverná, len pre členov konzorcia (vrátane útvarov Komisie)	

POĎAKOVANIE

Táto správa je súčasťou výstupov projektu LIFE Low2HighDH, ktorý bol financovaný z programu Európskej únie pre životné prostredie a klímu (LIFE) na základe grantovej dohody č. 101120865. Spoločenstvo nezodpovedá za akékoľvek použitie obsahu tejto publikácie.

Strana | 4

Viac informácií o projekte nájdete na: <https://www.low2highdh.eu/>

Autorské práva

© LIFE Low2HighDH Consortium. Kópie tejto publikácie - aj jej výpisky - sa môžu vyhotovovať len s odkazom na vydavateľa.

Vyhlásenie o odmietnutí zodpovednosti

Tu uvedené informácie boli dôkladne preskúmané a považujú sa za presné a správne. Autori však nenesú právnu zodpovednosť za prípadné chyby. V súvislosti s poskytnutými informáciami sa neposkytujú žiadne záruky, či už vyjadrené alebo implicitné. Autori nenesú zodpovednosť za žiadne priame, nepriame, osobitné, náhodné alebo následné škody vyplývajúce z používania alebo nemožnosti používať obsah tejto publikácie.

Obsah	
PodĎakovanie	4
Autorské práva	4
Vyhlásenie o odmietnutí zodpovednosti	4
Obsah	5
Zhrnutie	8
Zoznam obrázkov	11
Zoznam tabuliek	12
Zoznam akronymov a skratiek	13
Úvod	15
Hlavné koncepty integrácie nízkopotenciálnych obnoviteľných zdrojov energie do vysokoteplotných sústav centralizovaného zásobovania teplom (vt-czt)	18
Nízkopotenciálne Obnoviteľné Zdroje Energie	20
Úvod	20
Solárna Tepelná Energia	20
Geotermálna Energia	22
Biomasa	23
Využitie Odpadového tepla (priemyselného/mestského)	25
Iné Nízkotepelné Zdroje Tepla Pre Sústavy CZT	26
Technológie Na Zvýšenie Teploty Nízkopotenciálnych Zdrojov Energie	26
Úvod	26
Tepelné Čerpadlá	27
Mechanická Rekompresia Pary (Mechanical vapour recompression)	29
Tepelné Transformátory	31
Akumulácia Tepelnej Energie (ATE)	33
Nízko/Vysoko Tepelné Siete Centralizovaného Zásobovania Teplom	36
Úvod	36
NT CZT – Podlahové Vykurovanie, NT Vykurovanie Priestorov a Príprava Teplej Vody	36
VT CZT – Podlahové Vykurovanie, NT Vykurovanie Priestorov a Príprava Teplej Vody	38
Súčasná Technológia Výroby Tepla Pre VT CZT	39
Úvod	39
Kotly Na Uhlie a Plyn	39
Stratégie Modernizácie Existujúcich Vysokoteplotných Sústav CZT	41
Úvod	41

Integračné Stratégie Pre Podporu NPOZE v Systémoch KVET	41
Analýza Technológií/Stratégií Pre VT CZT v Kombinácii s NPOZE.....	44
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 01 (KVET + solárne systémy strednej/vysokej teploty na vratnej strane CZT)	46
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 02 (V rámci KVET: zemné TČ + ABS-TČ na Vratnej Strane CZT).....	48
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 03 (KVET zemné TČ + parné TČ na Prívodnej Strane CZT)..	50
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 04 (V rámci KVET: Solárne Kolektory Strednej Teploty Na Nízkotlakovom Ekonomizéri).....	52
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 05 (V Rámci KVET: Solárna Koncentrácia Vysokej Teploty Na Vysokotlakovom Ekonomizéri)	54
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 06 (ODPAD V KVET – VYSOKÁ TEPLOTA).....	56
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 07 (solárna energia v protitlakovom systéme KVET - vysoká teplota)	58
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 08 (Geotermálna energia v protitlakovom systéme KVET – stredná teplota MRP)	60
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 09 (Zdroj priemyselného odpadu v protitlakovom systéme KVET – stredné, vysoké TEPLoty)	62
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 10 (Protitlaková KVET + Integrácia NPOZE na Vratnej Strane CZT).....	64
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 11 (KVET: plochý solárny panel + parné TČ-PK na vratnej strane CZT).....	66
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 12 (KVET: plochý solárny panel + ABS-TČ-PK na vratnej strane CZT).....	68
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 13 (Predohrev kotla alebo náhrada s integráciou solárnych parabolických kolektorov)	70
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 14 (Predohrev prostredníctvom kotla na biomasu alebo bioplyn).....	72
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 15 (Predohrev kotla alebo jeho náhrada integráciou priemyselného odpadového tepla)	74
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 16 (Integrácia kotla alebo jeho náhrada plochými slnečnými kolektormi s tepelným čerpadlom s parnou kompresiou)	76
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 17 (Integrácia alebo náhrada kotla so slnečnými kolektormi (parabolické žľaby s vysokoteplotnou ATE)).....	78
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 18 (Kotol: zemné TČ + ABS-TČ na vratnej strane CZT))	80
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 19 (Integrácia kotla alebo jeho náhrada nízkoteplotným odpadovým teplom + tepelné čerpadlo s parnou kompresiou))	82

Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 20 (Náhrada kotla NPOZE so strednou teplotou a vodnoparným TČ)	84
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 21 (Náhrada kotla aeróbnym digestorom a vodnoparným TČ).....	86
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 22 (Náhrada kotla s geotermálnym tepelným čerpadlom + tepelné čerpadlo s parnou kompresiou (MRP uzavretý okruh))	88
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 23 (Kotol: náhrada fosílnych palív biomasou alebo bioplynom)	90
Technické Riešenie/Integračná Stratégia č. 24 (Náhrada kotla teplom z odpadových vôd + systémom TČ-PK + Tepelným čerpadlom s parnou kompresiou (MRP uzavretý okruh))	92
Kritéria analýzy a energetické a finančné ukazovatele KPI	94
Úvod	94
Základné Teplotné Modelovanie Siete CZT	94
Ukazovateľ Energetickej Výkonnosti	103
UKAZOVATEĽ EKONOMICKEJ VÝKONNOSTI	109
Spracovanie 10 podrobných modelov pre VT CZT s využitím NPOZE.....	113
Úvod	113
Detailná analýza č.1 (Technické Riešenie č. 05) – Extrakčná KVET : Solárna Koncentrácia Vysokéj Teploty čiastočná alebo úplná náhrada vysokotlakového ekonomizéra	114
Detailná analýza č. 2 (Technické riešenie č. 11) - Extrakčná KVET : plochý solárny panel + parné TČ-PK na vratnej strane CZT a vratny/prívodný obtok	117
Detailná analýza č. 3 (Technické riešenie č. 13) – Predohrev kotla alebo náhrada s integráciou solárnych parabolických kolektorov	120
Detailná analýza č.4 (Technické riešenie č. 17) – Integrácia alebo náhrada kotla vysokoteplotnými parabolickými slnečnými kolektormi s vysokoteplotnou ATE	123
Detailná analýza č. 5 (Technické riešenie č. 18) – Integrácia alebo náhrada kotla priemyselným odpadovým teplom + ABS-TČ na vratnej strane CZT.....	126
Detailná analýza č. 6 (Technické riešenie č. 19) – Integrácia alebo náhrada kotla nízkoteplotným odpadovým teplom + tepelné čerpadlo s parnou kompresiou))	129
Detailná analýza č. 7 (Technické riešenie č. 20) –Náhrada kotla NPOZE so strednou teplotou a vodnoparným TČ)	132
Detailed Analysis n.8 (Tech. Sol. n. 21) – Náhrada kotla aeróbnym digestorom a vodnoparným TČ)..	134
Detailná analýza č. 9 (Technické riešenie č. 22) – Náhrada kotla s geotermálnym tepelným čerpadlom + tepelné čerpadlo s parnou kompresiou (MRP uzavretý okruh))	136
Detailná analýza č. 10 (Technické riešenie č. 24) –CZT integrácia s teplom z odpadových vôd + systémom TČ-PK + Tepelným čerpadlom s parnou kompresiou (MRP uzavretý okruh)).....	138
Záver	141

Zhrnutie

Táto správa s názvom *Portfólio technických riešení (D2.2)* poskytuje komplexné hodnotenie nízkopotenciálnych zdrojov energie (NPOZE) a ich možnej integrácie do sústav centralizovaného zásobovania teplom (CZT). Zameriava sa na vývoj technológií a stratégií, ktoré umožňujú využívať nízko teplotné energetické zdroje, ako sú solárna termálna energia, geotermálna energia, biomasa a priemyselné odpadové teplo, a prispôbiť ich požiadavkám na vyššiu teplotu, aká je potrebná pre CZT siete. Správa venuje osobitnú pozornosť situácii v krajinách ako Litva, Poľsko a Slovensko, kde majú systavy CZT historicky významné postavenie v energetickom sektore, najmä pokiaľ ide o vysokoteplotné CZT siete (VT-CZT).

Sústavy centralizovaného zásobovania teplom (CZT) zohrávajú kľúčovú úlohu pri efektívnom zásobovaní teplom v mestských oblastiach, najmä v chladnejších klimatických podmienkach. Mnohé z týchto sústav – najmä vo východnej Európe – však boli vybudované v období, keď boli fosílna palivá ako uhlie a zemný plyn lacné a ľahko dostupné. S prechodom na udržateľné zdroje energie si tieto zastaralé systavy vyžadujú významné technologické modernizácie, aby mohli integrovať obnoviteľné zdroje energie. Táto správa predstavuje 24 inovatívnych technologických riešení, ktoré majú uľahčiť integráciu nízkopotenciálnych obnoviteľných zdrojov energie (NPOZE) do CZT sietí, s cieľom znížiť závislosť od fosílnych palív a obmedziť emisie skleníkových plynov.

Kľúčové technológie, ktoré sú v správe podrobne rozpracované, zahŕňajú:

- **Tepelné čerpadlá (TČ):** Tieto zariadenia sú nevyhnutné na zvýšenie teploty nízko teplotných obnoviteľných zdrojov na úroveň požadovanú sieťami centralizovaného zásobovania teplom. Môžu sa použiť na integráciu obnoviteľného tepla zo solárnych, geotermálnych alebo odpadových tepelných zdrojov.
- **Mechanická rekompresia pary (MRP):** MRP systémy zvyšujú tlak nízkotlakovej pary na paru s vyšším energetickým potenciálom, čo umožňuje efektívnu recykláciu a opätovné využitie odpadového tepla v sústavách CZT.
- **Akumulácia tepelnej energie (ATE):** Systémy ATE uchovávajú prebytočné teplo počas období nízkej potreby, ktoré je potom k dispozícii počas špičkových odberov tepla. Tým sa zvyšuje celková efektívnosť a spoľahlivosť sústav CZT.

Správa zdôrazňuje potrebu postupného prechodu, ktorý začína hybridnými systémami kombinujúcimi fosílna palivá a obnoviteľné zdroje energie, pred prechodom na systavy CZT založené výlučne na obnoviteľných zdrojoch. Tento postupný prístup umožňuje integráciu NPOZE do existujúcich sietí bez narušenia dodávky tepla, pričom zároveň využíva existujúcu infraštruktúru.

Správa kladie významný dôraz na finančnú a prevádzkovú realizovateľnosť navrhovaných riešení. Ako hlavné hodnotiace kritérium sa používa úroveň nákladov na teplo (LCOH – Levelized Cost of Heat), ktorá umožňuje posúdiť všeobecnú nákladovú efektívnosť rôznych technologických stratégií. Niektoré riešenia, ako napríklad využitie odpadového tepla, ponúkajú nižšie LCOH a okamžité ekonomické výhody, zatiaľ čo iné, ako je modernizácia existujúcich sústav pomocou geotermálnych alebo solárnych technológií, si môžu vyžadovať vyššie počiatočné investície, no v dlhodobom horizonte prinášajú ekologické aj finančné

prínosy. Správa konštatuje, že napriek možnému krátkodobému nárastu nákladov ostáva LCOH pri obnoviteľných riešeniach konkurencieschopný na európskom energetickom trhu, najmä ak sa zohľadní dlhodobé zníženie emisií uhlíka a závislosti od fosílnych palív. Okrem toho by sa mal brať do úvahy aj vplyv zníženia externých nákladov (napr. environmentálnych a zdravotných dopadov).

Podrobná analýza 10 konkrétnych prípadových štúdií v správe poskytuje hlbší pohľad na to, ako možno navrhované riešenia aplikovať v reálnych podmienkach. Každá prípadová štúdia skúma všeobecné energetické a finančné parametre danej technologickej integrácie a ponúka pohľad na praktické výzvy a prínosy spojené s prechodom sústav CZT na obnoviteľné zdroje energie. Týchto 10 prípadových štúdií zahŕňa:

1. **Integrácia vysokoteplotnej solárnej energie do systémov Kvet** (Tech. rieš. č. 05): Táto prípadová štúdia skúma integráciu solárnej tepelnej energie do systému kombinovanej výroby elektriny a tepla (Kvet). Pomocou solárnych koncentrátorov je možné dodávať vysokoteplotné teplo do sústavy CZT, čím sa znižuje závislosť od fosílnych palív. Analýza ukazuje, že toto riešenie prináša výrazné zníženie emisií uhlíka, avšak spojené s miernym nárastom kapitálových výdavkov (CAPEX).
2. **Integrácia plochých solárnych kolektorov a parného tepelného čerpadla** (Tech. rieš. č. 11): Toto riešenie kombinuje ploché solárne kolektory s tepelným čerpadlom s parnou kompresiou, ktoré zvyšuje teplotu nízopotenciálneho tepla na úroveň vhodnú pre siete CZT. Tento systém je mimoriadne účinný v oblastiach s vysokou intenzitou slnečného žiarenia a pri kombinácii s rekuperáciou odpadového tepla dosahuje výhodné hodnoty LCOH.
3. **Integrácia parabolických žlabových solárnych kolektorov** (Tech. rieš. č. 13): Táto prípadová štúdia sa zameriava na využitie parabolických žlabových solárnych kolektorov na predohrev vody pre sústavy CZT. Ukazuje, ako môže solárna tepelná technológia dopĺňať existujúce systémy založené na fosílnych palivách, čím sa znižuje spotreba paliva a emisie bez potreby zásadných zmien v infraštruktúre.
4. **Rekuperácia priemyselného odpadového tepla pomocou absorpčného tepelného čerpadla** (Tech. rieš. č. 18): Táto prípadová štúdia hodnotí potenciál využitia odpadového tepla z priemyselných procesov, ktoré je upravené absorpčným tepelným čerpadlom na dodávku tepla do sústavy CZT. Štúdia poukazuje na to, že ide o jedno z nákladovo najefektívnejších riešení, s nízkymi hodnotami LCOH a rýchlou návratnosťou investície.
5. **Kombinácia odpadového tepla a nízokoteplotného tepelného čerpadla** (Tech. rieš. č. 19): Táto prípadová štúdia sa zaoberá integráciou nízokoteplotného odpadového tepla z priemyselných zdrojov s parnými kompresnými tepelnými čerpadlami. Riešenie prináša výrazné zníženie nákladov na energiu a emisií, čo ho robí ideálnym pre modernizáciu starších sústav CZT s minimálnym zásahom do prevádzky.
6. **Integrácia geotermálneho tepelného čerpadla** (Tech. rieš. č. 22): V tomto riešení sa na nahradenie tradičných kotlov na fosílna palivá využíva geotermálna energia. Analýza ukazuje, že hoci je LCOH pre geotermálne systémy vyšší ako pri iných možnostiach, environmentálne prínosy a dlhodobá udržateľnosť robia z tohto riešenia sľubnú alternatívu pre sústavy CZT v oblastiach s dostatkom geotermálnych zdrojov.
7. **Odpadové teplo z odpadových vôd a tepelné čerpadlo s parnou kompresiou** (Tech. rieš. č. 24): Táto prípadová štúdia sa zameriava na získavanie tepla z mestských kanalizačných systémov pomocou parného kompresného tepelného čerpadla. Štúdia ukazuje, že toto riešenie môže

priniesť výrazné úspory, najmä v mestských oblastiach, kde je odpadové teplo z kanalizácie ľahko dostupné, a zároveň dosahuje dobré výsledky z hľadiska energetickej efektívnosti.

8. **Modernizácia Kvet systému pomocou solárnych koncentrátorov** (Tech. rieš. č. 05 – Podrobný model 1): Podrobná analýza integrácie vysokoteplotných solárnych koncentrátorov do existujúcich systémov Kvet. Táto prípadová štúdia poukazuje na výrazný environmentálny prínos, no zároveň zdôrazňuje potrebu vysokých kapitálových výdavkov (CAPEX), ktoré si vyžadujú štátne dotácie alebo stimuly na zabezpečenie ekonomickej životaschopnosti
9. **Náhrada kotlov biomasou** (Tech. rieš. č. 23): Táto prípadová štúdia sa zameriava na nahradenie tradičných kotlov alternatívami na biomasu. Výsledky poukazujú na výrazné zníženie emisií uhlíka, pričom finančná životaschopnosť závisí vo veľkej miere od miestnej dostupnosti biomasy.
10. **Náhrada kotlov odpadovým teplom a systémami MRP** (Tech. rieš. č. 24): Záverečná prípadová štúdia sa zaoberá využitím mechanickej rekompresie pary (MRP) v kombinácii s rekuperáciou odpadového tepla ako náhradou za existujúce kotly na fosílna palivá. Analýza ukazuje, že toto riešenie môže priniesť vysokú účinnosť aj úspory nákladov, najmä v priemyselných oblastiach s prebytkom odpadového tepla.

Tieto prípadové štúdie ako celok poskytujú plán prechodu sústav CZT z fosílnych palív na obnoviteľné zdroje energie a ponúkajú kvantitatívne údaje o energetickej výkonnosti aj finančnej realizovateľnosti.

Na záver správa zdôrazňuje obrovský potenciál NPOZE v sieťach CZT a predstavuje jasnú cestu k zníženiu emisií uhlíka a závislosti od fosílnych palív. Hoci existujú významné finančné a technické výzvy, najmä pri modernizácii starších systémov, dlhodobé prínosy z hľadiska udržateľnosti a energetickej bezpečnosti robia tieto investície nevyhnutnými. Prijatím fázovaného a na región prispôbeného prístupu môžu európske krajiny dosiahnuť plynulý prechod k udržateľnej a nízkouhlíkovej energetickej budúcnosti svojich sústav CZT.

Zoznam obrázkov

Obrázok 1. Rozšírenie centralizovaného zásobovania teplom a chladom v európskych krajinách (upravené podľa projektu EÚ W.E.DISTRICT).....	15
Obrázok 2. Technológia centralizovaného zásobovania teplom s viacerými zdrojmi energie (Unige)	17
Obrázok 3. Generácie sietí centralizovaného zásobovania teplom za posledných 150 rokov (zdroj: MDPI Open Access, Zeh et Al., 2021, 10.3390/su13116035)	18
Obrázok 4. Parabolické žľabové polia strednej teploty (zdroj: ArséniureDeGallium, Verejná doména, cez Wikimedia Commons)	21
Obrázok 5. Centralizované zásobovanie teplom pomocou poľa solárnych tepelných kolektorov o rozlohe 18 300 m ² . Dánsko, Marstal (zdroj: Erik Christensen, CC BY-SA 3.0 < https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/ >, cez Wikimedia Commons)	21
Obrázok 6. Klasifikácia geotermálneho potenciálu podľa hĺbky: veľmi plytký, plytký a hlboký. (zdroj: MDPI Open Access, (Zeh, et al., 2021))	22
Obrázok 7. Koncept dekarbonizácie sústavy centralizovaného zásobovania teplom (zdroj: MDPI Open Access, (Koch, et al., 2020), https://doi.org/10.3390/en13164134)	24
Obrázok 8. Bioreaktor typu CSTR (Continuous-flow Stirred Tank Reactor) na výrobu bioplynu (zdroj: geraldK (pixabay.com))	25
Obrázok 9. Koncept dekarbonizácie sústavy centralizovaného zásobovania teplom (Unige)	27
Obrázok 10. Schéma zapojenia sériovo zapojeného solárneho tepelného čerpadla (zdroj: KCVelaga, CC BY-SA 4.0 < https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/ >, cez Wikimedia Commons)	28
Obrázok 11. Procesy MRP. Odparovanie (evaporation) sa dosahuje pomocou nízopotenciálneho tepelného zdroja, odvlhčovanie (de-superheating) prehriatej pary prebieha vstrekaním vody (UNIGE)	29
Obrázok 12. Zjednodušená schéma dvojstupňovej MRP (UNIGE)	30
Obrázok 13. Porovnanie medzi absorpčným chladiacim (inverzným) cyklom a (priamym) cyklom absorpčného tepelného transformátora (UNIGE)	32
Obrázok 14. Bežné typy a metódy akumulácie tepla (Unige)	34
Obrázok 15. Znázornenie sústavy CZT a CZCH (zdroj: Jirka DI, CC BY-SA 4.0, cez Wikimedia Commons) ..	36
Obrázok 16. Dve konfigurácie KVET pre CZT. Vľavo klasický extrakčno-kondenzačný systém (A) s nízkym spätným tlakom v kondenzátore. Vpravo kombinovaný systém s vysokým spätným tlakom (B) (UNIGE)	40
Obrázok 17. Parný kotol Winsketel (zdroj: Diemareng, CC BY-SA 4.0 < https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/ >, cez Wikimedia Commons)	40
Obrázok 18. Alternatívne prechodové cesty od súčasného CZT založeného na fosílnych palivách (UNIGE)	41
Obrázok 19. Základné stratégie integrácie NPOZE do existujúcich systémov KVET CZT (UNIGE)	42
Obrázok 20. Prepojenie prevádzkových teplôt VT-CZT (stredná teplotná stupnica) s vybranými NPOZE (vľavo) a možnými technológiami na zvýšenie teploty (vpravo). Procesy priameho spaľovania biomasy a bioplynu nie sú zahrnuté (zdroj: UNIGE)	45
Obrázok 21 - Strana spotreby siete CZT. Znázornené tepelné výkony, teploty a hmotnostný prietok v sieti CZT (zdroj: Unige)	95
Obrázok 22 - Časť siete CZT so zvýrazneným zariadením na zvyšovanie teploty, v tomto prípade tepelným čerpadlom (zdroj: Unige)	95
Obrázok 23 - Časť siete CZT s integráciou NPOZE pred zvyšovaním teploty, aplikovaná na vratnej strane (zdroj: Unige)	96

Obrázok 24 – Schématické znázornenie tepelného čerpadla so stláčaním pary s dvoma teplotami (vľavo) a absorpčného tepelného čerpadla s tromi teplotami zloženého z dvoch zariadení (vpravo) (zdroj: Unige)	98
Obrázok 25- chémy modelov použité na overenie reprezentácie Carnot/ η_{II} zariadení. Dvojstupňové parné tepelné čerpadlo na vodnú paru (TČ-PK) vľavo (A). Jednoduché tepelné čerpadlo TČ-PK s chladivom R600a vpravo (zdroj: UNIGE)	99
Obrázok 26 – Závislosť celkovej účinnosti absorpčného tepelného čerpadla od η (účinnosť virtuálneho stroja) a COP_F (účinnosť spätného cyklu tepelného transformátora), teda od troch zapojených teplôt. Uvažované hodnoty teplôt zodpovedajú reálnemu prevádzkovému rozsahu nízkopotenciálnych energetických zdrojov.	101
Obrázok 27 – Zvýraznenie veličín zapojených do procesu. Vypočítané veličiny sú vyznačené červenou farbou (zdroj: UNIGE)	102
Obrázok 28 – Schéma siete CZT v prípade modernizácie existujúceho systému KVET. Možné zvýšenia teploty sú zobrazené len pre úplnosť (zdroj: UNIGE)	102
Obrázok 29 - Zjednodušená schéma siete CZT v prípade modernizácie systému KVET. Zvýšenie teploty sa aplikuje len na nízkopotenciálne zdroje (zdroj: UNIGE)	103

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 Podiel CZT a percentuálne využitie obnoviteľných zdrojov energie v CZT. Popredné krajiny. (*) (Rasmussen, 2024)	16
Tabuľka 2 - Overovací proces. Porovnanie medzi zjednodušeným modelom podľa rovnice 5 a úplným termodynamickým modelom. Tabuľka sa vzťahuje na vysokoteplotné parné tepelné čerpadlo znázornené na obrázku 25(A). $T_{supply}=120\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{return}=60\text{ }^{\circ}\text{C}$.	99
Tabuľka 3 – Overovací proces. To isté ako v tabuľke 1, tentoraz pre tepelné čerpadlo R600a z obrázku 25(B), použité ako prvý stupeň na zvýšenie teploty. $T_{source}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$	100
Tabuľka 4 – Podiel zdrojov na výrobe elektriny	108
Tabuľka 5 – Podiel palív na výrobe elektriny	108
Tabuľka 6 – Priemerný faktor emisií pre rôzne zdroje.	108
Tabuľka 7 – Priemerná účinnosť elektrární podľa uvažovaného primárneho energetického zdroja.	109
Tabuľka 8 – Kapitálové výdavky (CAPEX) pre jednotlivé analyzované technológie.	112
Tabuľka 9 – Náklady na energiu pre jednotlivé cieľové trhy.	112
Tabuľka 10 - Súhrn vypracovaných prípadových štúdií.	141
Tabuľka 11 – Súhrn predbežných odhadov podielu OZE a priemerných nákladov na výrobu tepla (LCOH), ktoré je možné dosiahnuť pri jednotlivých navrhovaných riešeniach s využitím NPOZE.	142

Zoznam akronymov a skratiek

Skratka	Definícia
ABS-TČ (ABS-HP)	Absorpčné tepelné čerpadlo (tepelný transformátor) (<i>Absorption Heat Pump (heat transformer)</i>)
CAPEX	Kapitálové výdavky (<i>CAPital EXpenditure</i>)
KVET (CHP)	Kombinovaná výroba elektriny a tepla (<i>Combined Heat and Power</i>)
UI (CI)	Uhlíková intenzita (<i>Carbon Intensity</i>)
COP	Výkonové číslo (<i>Coefficient Of Performance</i>)
CSP	Koncentrovaná solárna energia (<i>Concentrated Solar Power</i>)
CZCH (DC)	Centralizované zásobovanie chladom (<i>District Cooling</i>)
CZT (DH)	Centralizované zásobovanie teplom (<i>District Heating</i>)
CZTaCH (DHC)	Centralizované zásobovanie teplom a chladom (<i>District Heating and Cooling</i>)
TV (DHW)	Teplá voda (<i>Domestic Hot Water</i>)
AHP	Absorpčné tepelné čerpadlá (tepelné transformátory) <i>Absorption Heat Pumps (heat transformers)</i>
ETČ (EHP)	Elektrické tepelné čerpadlá (<i>Electrical Heat Pumps</i>)
EE_OZE/EE_NOZE (EI_RES/EI_NRES)	Vstup elektrickej energie (z obnoviteľných zdrojov / z neobnoviteľných zdrojov) (<i>Electric energy input (from res/nres)</i>)
EÚ (EU)	Európska únia (<i>European Union</i>)
ÚFP (FFS)	Úspory fosílnych palív (<i>Fossil Fuel Savings</i>)
FWH	Napájací ohrievač vody (<i>Feed Water Heater</i>)
SP (GHG)	Skleníkový plyn (<i>Greenhouse Gas</i>)
TČ (HP)	Tepelné čerpadlo (<i>Heat Pump</i>)
TT (HT)	Tepelný transformátor (<i>Heat Transformer</i>)
VT-CZT (HT-DH)	Vysokoteplotné centralizované zásobovanie teplom (<i>High Temperature District Heating</i>)
LCOH	Priemerné náklady na výrobu tepla (<i>Levelized Cost Of Heat</i>)
NT (LT)	Nízka teplota (<i>Low Temperature</i>)
NPOZE (LGERES)	Nízkopotenciálne obnoviteľné zdroje energie (<i>Low-Grade energy RESources</i>)
KTO (MSV)	Komunálny tuhý odpad (<i>Municipal Solid Waste</i>)
MRP (MVR)	Mechanická rekompresia pary (<i>Mechanical Vapour Recompression</i>)
NOZE (NRES)	Neobnoviteľné zdroje energie (<i>Non-Renewable Energy Sources</i>)
OPEX	Prevádzkové náklady (<i>OPerational EXpenditure</i>)
OZE (RES)	Obnoviteľné zdroje energie (<i>Renewable Energy</i>)

	<i>Sources)</i>
<i>RSH</i>	Podiel obnoviteľných zdrojov energie (<i>Renewable energy SHare</i>)
<i>SCZT (SDH)</i>	Solárne centralizované zásobovanie teplom (<i>Solar District Heating</i>)
<i>ATE (TES)</i>	Akumulácia tepelnej energie (<i>Thermal Energy Storage</i>)
<i>STP (TRL)</i>	Stupeň technologickej pripravenosti (<i>Technology Readiness Level</i>)
<i>TČ-PK (VC-HP)</i>	Tepelné čerpadlá s parnou kompresiou (<i>Vapour Compression Heat Pumps</i>)

Úvod

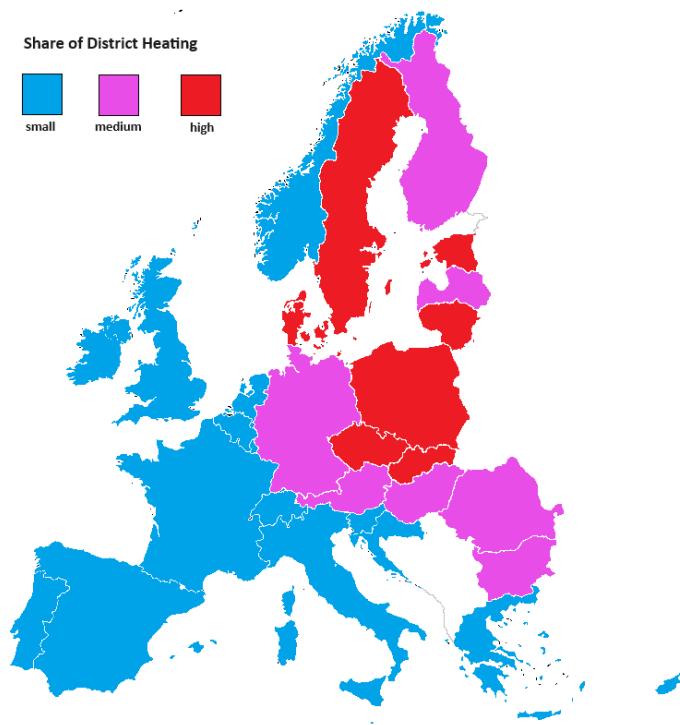
Centralizované zásobovanie teplom (CZT) sa vyvinulo na udržateľné riešenie poskytovania tepla mestským komunitám. Dôležitou črtou tohto systému je jeho schopnosť centralizovať výrobu tepla a poskytovať tepelnú energiu rozsiahlej sieti komerčných, priemyselných a obytných objektov. V súčasnosti je jeho ťažiskom efektívna distribúcia tepla z obnoviteľných zdrojov energie a predstavuje základný prvok prechodu na nízkouhlíkové hospodárstvo. Jeho princípy zahŕňajú minimalizáciu environmentálnych dopadov, maximalizáciu energetickej efektívnosti a využívanie úspor z rozsahu na zníženie celkových nákladov. Tento prístup nielenže podporuje environmentálnu udržateľnosť, ale zároveň umožňuje lepšiu kontrolu nad výrobou a distribúciou tepla, čím napomáha k inteligentnému a zodpovednému riadeniu energií. CZT zohráva kľúčovú úlohu pri budovaní efektívnejších a ekologickejších komunít.

Strana | 15

V rámci členských štátov Európskej únie existujú výrazné rozdiely v spôsobe implementácie sústav centralizovaného zásobovania teplom a chladom (CZTaCH). Napríklad v roku 2015 malo prístup k centralizovanému zásobovaniu teplom (CZT) menej než 5 % obyvateľov Holandska a Švajčiarska, zatiaľ čo v Dánsku a Estónsku to bolo viac ako 60 %. Rozdiely sa prejavujú aj v kapacitách centralizovaného zásobovania chladom (CZCH). Ďalším faktorom, ktorý ovplyvňuje emisie skleníkových plynov z týchto sústav, je rozmanitosť zdrojov tepla používaných pri výrobe CZTaCH.

Budúce potreby sústav a technológií CZTaCH sú výrazne ovplyvnené rozdielmi v infraštruktúre, dynamike trhu a národných obmedzeniach v jednotlivých krajinách. Preto je kľúčové zohľadniť aktuálne a predpokladané scenáre pri navrhovaní nových koncepcií a technológií.

Prehľad o rozšírení sústav centralizovaného zásobovania teplom a chladom v Európe je znázornený na mapke nižšie podľa projektu EÚ W.E.DISTRICT (Ramboll, 2020).



Obrázok 1. Rozšírenie centralizovaného zásobovania teplom a chladom v európskych krajinách (upravené podľa projektu EÚ W.E.DISTRICT).

	Dánsko	Litva	Slovensko	Estónsko	Švédsko	Poľsko	Česko	Fínsko	Lotyšsko
Podiel CZT (%)	65	56	53	52	50	42	40	38	30
Podiel OZE (%)	77 (*)	33	0	42	18	7	7	16	n.a.

Tabuľka 1 Podiel CZT a percentuálne využitie obnoviteľných zdrojov energie v CZT. Popredné krajiny. (*) (Rasmussen, 2024)

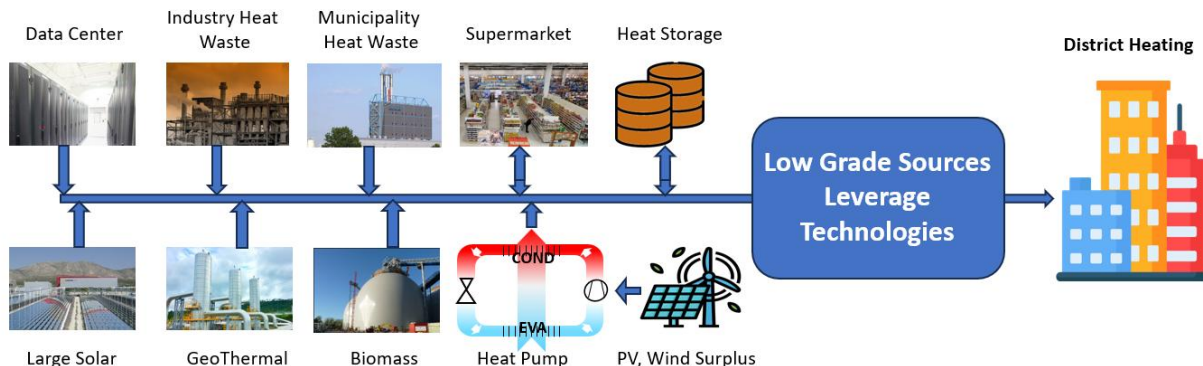
Historicky si krajiny východnej Európy vybudovali rozsiahle a prepracované siete CZT skôr ako zvyšok Európy. Zavedené technológie však patrili k raným aplikáciám, pri ktorých sa venovala malá pozornosť problémom udržateľnosti. To prináša výzvu, ale zároveň aj príležitosť modernizovať tieto sústavy tak, aby sa dali integrovať s modernými a ekologickejšími zdrojmi energie.

Rovnako ako všetky vyvíjajúce sa technológie, aj centralizované zásobovanie teplom má svoje výhody a nevýhody v porovnaní s nezávislým vykurovaním bytových domov alebo jednotlivých bytov. Medzi výhody patrí energetická efektívnosť, lepšia pripravenosť na využívanie obnoviteľných zdrojov, úspory z rozsahu a zníženie emisií.

Vyššia energetická efektívnosť, ktorá sa zvyčajne pozoruje pri sústavách CZT v porovnaní s tradičnými systémami, vyplýva aj z rozsahu výroby – či už ide o centralizovanú výrobu, alebo o sieť prepojenú viacerými zdrojmi. Okrem väčšej flexibility pri využívaní obnoviteľných zdrojov umožňuje veľkosť zariadení a centralizované riadenie výrobu tepla s vyššou energetickou efektívnosťou.

V centralizovaných aj decentralizovaných systémoch výroby tepla vykazuje CZT vysokú mieru flexibility z hľadiska možných zdrojov energie (Obrázok 2). V prípade obnoviteľných zdrojov môže ísť napríklad o solárne termálne systémy, hlbinné geotermálne zdroje alebo biomasu. Využitie vhodných technológií na prenos energie od zdroja ku konečnému užívateľovi – čo bude v tejto kapitole ďalej rozobraté – umožňuje ešte väčšiu flexibilitu pri zvyšovaní teploty nízkopotenciálneho alebo odpadového tepla na vysokoteplotnú úroveň bez potreby použitia fosílnych palív.

Pri CZT z obnoviteľných zdrojov je ďalšou výhodou celkové zníženie vplyvu na životné prostredie. Je totiž možné nielen vyberať a optimalizovať energetické zdroje, ale aj vyvíjať cielené systémy monitorovania a údržby. V neposlednom rade sústavy CZT nepochybne profitujú z úspor z rozsahu, čo vedie k zníženiu celkových nákladov na výrobu a spotrebu tepla v porovnaní s množstvom malých autonómnych jednotiek.



Obrázok 2. Technológia centralizovaného zásobovania teplom s viacerými zdrojmi energie (Unige)

Avšak, sústava CZT nie je bez nevýhod, výziev pri implementácii ani všeobecných slabín. Počiatočná inštalácia CZT si môže vyžadovať významné investície do infraštruktúry, ako sú distribučné siete a výmenníkové stanice. V prípade absencie stimulov môže táto prekážka byť pre miestnu samosprávu niekedy neprekonateľná. V prípade závislosti od jediného centralizovaného zdroja tepla môžu vzniknúť riziká pri poruchách alebo technických problémoch — tieto riziká sú však zmiernené, ak nie úplne odstránené, v prípade distribuovanej a modulárnej architektúry energetických zdrojov.

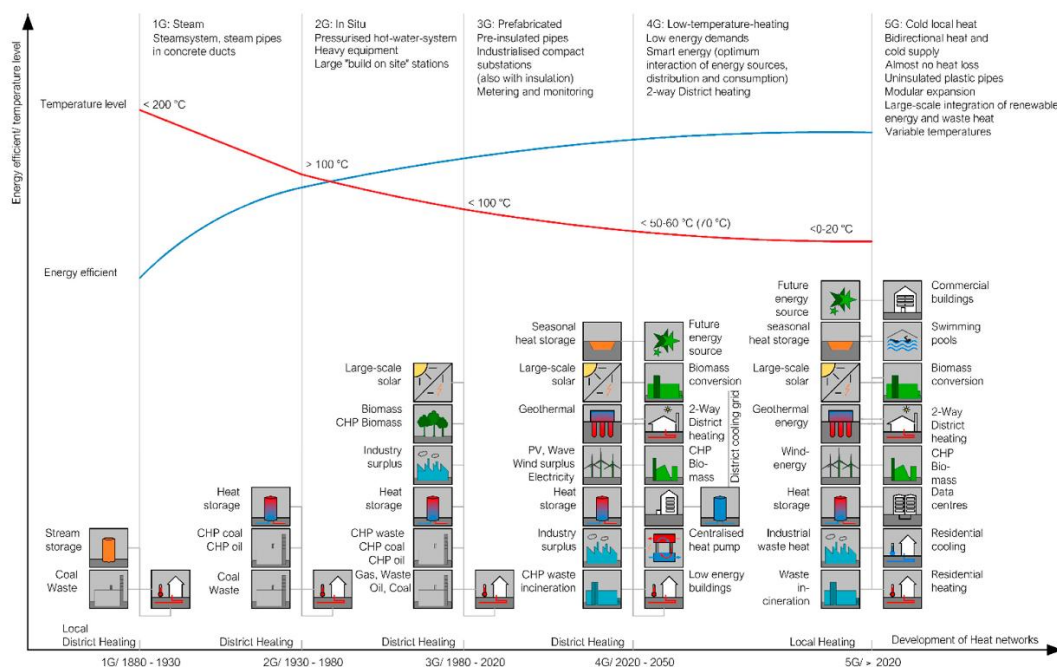
Z hľadiska energetickej účinnosti môžu dlhé distribučné siete spôsobovať tepelné straty počas prenosu, najmä ak nie sú dostatočne tepelne izolované, čo následne znižuje celkovú efektívnosť sústavy. Koneční užívatelia môžu mať zároveň obmedzené možnosti individuálneho nastavenia komfortu a nemusia mať prístup k personalizovaným riešeniam, ktoré by vyhovovali ich konkrétnym potrebám.

Je zrejmé, že aktuálny trend pri implementácii sústav CZT smeruje k decentralizovanej výrobe tepla, založenej na viacerých obnoviteľných zdrojoch energie. Takýto prístup prináša výhody najmä z hľadiska zníženia environmentálneho dopadu a efektívnejšieho riadenia rizík, aj keď možno za cenu straty niektorých benefitov spojených s centralizovanými zariadeniami.

Sústavy centralizovaného zásobovania teplom (CZT) prešli štyrmi rôznymi generáciami, ako to uvádzajú (Zeh, et al., 2021), pričom každá z nich sa vyznačuje odlišnými technológiami a prístupmi k výrobe a distribúcii tepla (Obrázok 3). Od 3. generácie (1980–2020) boli do sústav vo väčšej miere integrované rozsiahle solárne systémy ako zdroj energie. Táto fáza vývoja CZT sa vyznačuje rastúcim využívaním obnoviteľných zdrojov energie, ako sú geotermálna energia, slnečná energia a biomasa, a zároveň začlenením technológií inteligentných sietí s cieľom zvýšiť efektívnosť a prispôsobivosť sústavy.

Pri využívaní viacerých zdrojov tepla, ktoré sa líšia výkonom aj teplotou, vzniká potreba zaviesť viacero technológií schopných prispôbiť sa rôznym úrovniam teplôt požadovaným užívateľmi. V nasledujúcej časti bude poskytnutý prehľad obnoviteľných zdrojov energie a ich energetických charakteristík. Konkrétne sa budeme venovať slnečnej energii a jej derivátom, fotovoltike a veternej energii, hlbínnej geotermálnej energii a biomase. Budú predstavené vhodné technológie, ktoré zabezpečia efektívne využitie týchto zdrojov v kontexte centralizovaného zásobovania teplom z obnoviteľných zdrojov. Na tento účel sa – v závislosti od teplotného rozdielu medzi zdrojom a požadovanou teplotou na strane odberateľa – zvyčajne využívajú tepelné čerpadlá, zvýšenie teploty pomocou mechanickej rekompresie

pary (MRP) a tepelné transformátory (absorpčné tepelné čerpadlá), pričom ich hlavné technické charakteristiky budú analyzované.



Obrázok 3. Generácie sietí centralizovaného zásobovania teplom za posledných 150 rokov (zdroj: MDPI Open Access, Zeh et Al., 2021, 10.3390/su13116035)

HLAVNÉ KONCEPTY INTEGRÁCIE NÍZKOPOTENCIÁLNYCH OBNOVITEĽNÝCH ZDROJOV ENERGIE DO VYSOKOTEPLNOTNÝCH SÚSTAV CENTRALIZOVANÉHO ZÁSOBOVANIA TEPLOM (VT-CZT)

Pojem nízkopotenciálne obnoviteľné zdroje energie (NPOZE) nemá v literatúre jednotne ustálenú definíciu, aj keď sa často prirodzene spája s “nízko teplotnými zdrojmi tepla”. Pri širšom chápaní by však tento pojem mal zahŕňať aj rozlíšenie medzi obnoviteľnými zdrojmi energie (OZE) a tradičnými – teda fosílnymi – palivami, a to najmä z pohľadu rozsahu ich využívania na povrchu. Takéto rozlíšenie je možné kvantifikovať pomocou vhodných kľúčových výkonnostných ukazovateľov (KPI – Key Performance Indexes).

Možnú definíciu nízkopotenciálnych obnoviteľných zdrojov energie, ktorá bude v tomto dokumente používaná, možno formulovať nasledovne:

Nízkopotenciálne obnoviteľné zdroje energie označujú obnoviteľné alebo kaskádové zdroje energie (cascade energy sources), ktoré produkujú energiu pri relatívne nízkych teplotách alebo vo formách, ktoré si vyžadujú dodatočné spracovanie, aby mohli byť premenené na použiteľné teplo alebo elektrickú energiu.

Tieto zdroje sa často vyznačujú nižšou energetickou intenzitou v porovnaní s vysokopotenciálnymi obnoviteľnými zdrojmi, ako sú fotovoltické solárne systémy alebo veterná energia. Nízkopotenciálne obnoviteľné zdroje sa zvyčajne využívajú na účely, ako sú vykurovanie priestorov, ohrev vody alebo priemyselné procesy pracujúce pri nízkych až stredných teplotách. Medzi príklady patrí solárna tepelná

energia, geotermálna energia, biomasa, využívanie odpadového tepla a podobne. V tomto zmysle ich využívanie zvyčajne vyžaduje veľké množstvo pôdneho priestoru, keďže sú rozptýlené na rozsiahlych územiach.

Na zvýšenie teploty NPOZE na úroveň vhodnú pre aplikácie vysokoteplotného centralizovaného zásobovania teplom (VT-CZT) je potrebné použiť špecifické technológie, ako sú elektrické tepelné čerpadlá (EHP), absorpčné tepelné čerpadlá (AHP, známe aj ako tepelné transformátory) a v niektorých prípadoch systémy mechanickej rekompresie pary (MRP). V iných prípadoch, ako napríklad pri pevnej biomase, je potrebné počítať s nezanedbateľnou logistikou zberu a predspracovania. Vždy je tiež nevyhnutné uplatniť systémy akumulácie tepla (TES).

Strana | 19

Zásah je možné realizovať aj vložení OZE ako doplnku k v súčasnosti využívaným fosílnym systémom (napríklad kogeneračným jednotkám alebo kotlom – napríklad predohrev zo solárnych, geotermálnych alebo odpadových zdrojov). Hoci takýto zásah úplne nenahrádza fosílny zdroj, umožňuje znížiť jeho využívanie a predstavuje najmenej nákladnú a najrýchlejšiu úpravu. Možnú schému technologických riešení možno na úvod klasifikovať nasledovne:

- Zásahy zamerané na integráciu NPOZE priamo do sústav výroby tepla (celá sústava VT-CZT sa zachováva, od výroby až po sieť, pričom úpravy a technické zmeny sa týkajú len existujúceho systému výroby tepla).
- Zásahy zamerané na čiastočnú náhradu zdroja s následnou aplikáciou (alebo bez nej) technológií na zvýšenie teploty (zachováva sa vysokoteplotná distribučná sieť, avšak medzi NPOZE a koncovými používateľmi je potrebné zaradiť technológiu na zvýšenie teploty – či už v centrálnej výhrevni, lokálne v odovzdávacích staniciach, alebo priamo v jednotlivých budovách).

Možnosť aplikácie jednej alebo viacerých dostupných technológií závisí od aktuálneho stavu siete CZT.

Využitie akumulácie tepla je vždy súčasťou systému, pretože je preukázané, že použitie TES – či už v centrálnom zdroji tepla alebo v jednotlivých budovách – zvyšuje účinnosť sústavy CZT približne o 5 až 20 %. Zároveň zlepšuje možnosti regulácie a zvyšuje flexibilitu prevádzky, čo prispieva k efektívnejšiemu a stabilnejšiemu zásobovaniu teplom.

V tomto dokumente bude stručne preskúmaný súhrn všetkých doteraz spomenutých tém, vrátane:

- Hlavné NPOZE
- spomínané technológie na zvyšovanie teploty
- súčasné hlavné technológie VT-CZT, s osobitným zreteľom na možné miesta (teplotné úrovne) zásahu
- portfólio možných kombinácií vyššie uvedených riešení, ktoré dokážu efektívne integrovať NPOZE do VT-CZT
- niektoré kritériá na hodnotenie výkonnosti takejto integrácie, s použitím primeraných ukazovateľov výkonnosti (KPI), ako sú napríklad koeficient výkonu, analýza nákladov a podobne
- zoznam 10 podrobných modelov integrácie NPOZE/VT-CZT s predbežným hodnotením výkonnosti

Nízkopotenciálne Obnoviteľné Zdroje Energie

ÚVOD

Nízkopotenciálne obnoviteľné zdroje energie zahŕňajú širokú škálu zdrojov, ako sú zem, voda a okolité ovzdušie, ktoré samy o sebe nemajú dostatočne vysokú teplotu na priame využitie na vykurovacie účely. Tieto nízkotepelné zdroje však možno pomocou moderných technológií, ako sú systémy na rekuperáciu odpadového tepla, tepelné čerpadlá a tepelné transformátory, upraviť tak, aby spĺňali požiadavky na dodávku tepla vo vysokotepelných sústavách centralizovaného zásobovania teplom. Integrácia týchto zdrojov prináša množstvo výhod, ako je vyššia odolnosť voči výkyvom v dodávkach energie, zníženie negatívneho vplyvu na životné prostredie a zvýšenie energetickej efektívnosti.

SOLÁRNA TEPELNÁ ENERGIA

Slnecná energia je hlavným zdrojom energie pre našu planétu, keďže viac než 175 000 terawatov slnečného žiarenia dopadá na Zem, čo je približne 10 000-krát viac než celková svetová spotreba energie. Využívanie tohto obrovského a nekonečného zdroja energie pre naše potreby sa zdá byť logickou voľbou. Využitie solárnej tepelnej energie je charakterizované množstvom rôznych typov zariadení a realizácií. V závislosti od dosiahnutej teploty môže byť táto energia buď konvertovaná na elektrickú energiu, alebo priamo využívaná na dodávku tepla.

Tieto solárne zariadenia sú zvyčajne umiestnené na rozsiahlych otvorených plochách, často v púštnych oblastiach. Podobne ako fotovoltické panely, tieto veľkoplošné zariadenia sú budované mimo mestských oblastí, často na okrajoch miest. Obrázok 4 zobrazuje systém koncentrovanej solárnej energie (CSP) využívajúci technológiu strednej teploty v podobe parabolických polí, zatiaľ čo Obrázok 5 zobrazuje nízkotepelný zdroj zo zberného poľa plochých solárnych tepelných kolektorov v Marstale, Dánsko.

Pokiaľ ide o systavy solárneho centralizovaného zásobovania teplom (SCZT), prvé solárne tepelné (ST) elektrárne pre SCZT vznikli v Švédsku koncom 70. rokov 20. storočia. Následne bolo vybudovaných množstvo ďalších inštalácií, prevažne v Dánsku, Nemecku, Rakúsku a Švédsku. V rámci iniciatív EÚ ako SDHtakeoff, SDHplus a SDHp2m boli od roku 2009 vytvorené komplexné pokyny a špeciálna webová stránka. Európa sa môže pochváliť mnohými úspešnými príkladmi sústav solárneho centralizovaného zásobovania teplom v mestských oblastiach, medzi ktoré patria:



Obrázok 4. Parabolické žľabové polia strednej teploty (zdroj: ArséniureDeGallium, Verejná doména, cez Wikimedia Commons)

V Dánsku, sa mesto Silkeborg môže pochváliť jednou z najväčších solárnych sústav centralizovaného zásobovania teplom na svete. Táto sústava, ktorá bola dokončená podľa plánu v decembri 2016, má rozlohu 156 694 m² (110 MWth) a bola postavená približne za sedem mesiacov. Miestna energetická spoločnosť Silkeborg plánuje využiť zachytenú solárnu energiu na pokrytie 20 % ročných požiadaviek na vykurovanie pre 21 000 odberateľov pripojených k tejto inštalácii.

V Nemecku sa v meste Freiburg, ktoré sa nachádza v oblasti Čierneho lesa, nachádza rozsiahla sieť solárneho centralizovaného zásobovania teplom, ktorá zásobuje viac ako 9 000 budov. Mesto s populáciou 230 000 obyvateľov sa samo označuje za environmentálne hlavné mesto Nemecka.



Obrázok 5. Centralizované zásobovanie teplom pomocou poľa solárnych tepelných kolektorov o rozlohe 18 300 m². Dánsko, Marstal (zdroj: Erik Christensen, CC BY-SA 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, cez Wikimedia Commons)

Z technického hľadiska je integrovanie solárnych zdrojov do sústav centralizovaného zásobovania teplom realizovateľné v oblastiach s dostatočným slnečným žiarením a vhodným priestorom na inštaláciu solárnych panelov. Vo väčšine prípadov sú preferovanou voľbou pozemné solárne kolektory. Okrem toho

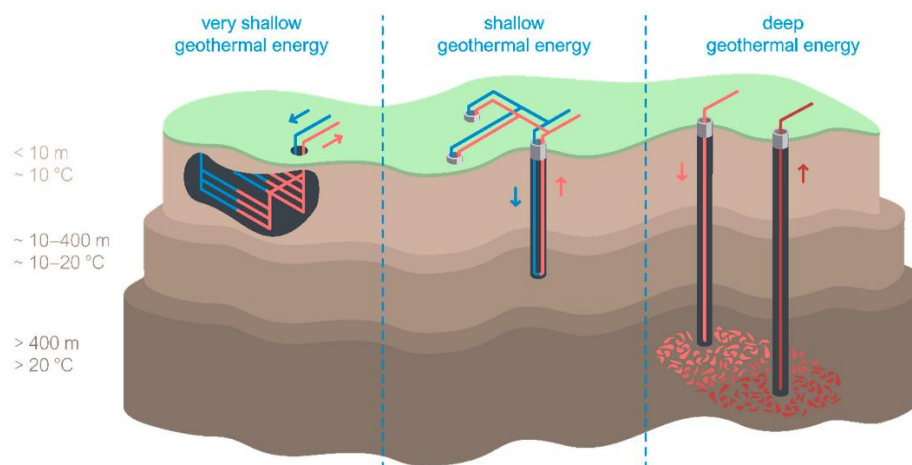
si solárne sústavy centralizovaného zásobovania teplom vyžadujú len minimálnu údržbu a vyznačujú sa dlhou životnosťou, čo z nich robí spoľahlivý zdroj tepla pre komunity.

GEOTERMÁLNA ENERGIA

Strana | 22

Geotermálna energia predstavuje významný a udržateľný zdroj pre centralizované zásobovanie teplom, ktorý ponúka možnosti využitia ako pri povrchu, tak aj v hlbších vrstvách zeme. Mäkká (plytká) geotermálna energia využíva tepelnú kapacitu pôdy a relatívne stabilnú teplotu nachádzajúcu sa v horných vrstvách zeme. Nemožno ju však považovať za plnohodnotný energetický zdroj, keďže pôda má v priemere nulovú exergiu. Z tohto dôvodu sa tento prístup zvyčajne spája s využitím geotermálnych tepelných čerpadiel, ktoré pracujú v relatívne plytkých hĺbkach a odoberajú teplo z okolitého prostredia. Využívanie plytkej geotermálnej energie má potenciál dlhodobo prispieť k transformácii energetických systémov, a to spomalením rastu spotreby energie, zmenou energetického mixu a prebudovaním miestnej energetickej infraštruktúry. Tomuto sa budeme podrobnejšie venovať v súvislosti s tepelnými čerpadlami.

Geotermálna energia z hlbších vrstiev pôdy, tzv. „hlboká geotermálna energia“, využíva teplo s vysokým exergickým potenciálom z podzemných vôd nachádzajúcich sa v hlbších vrstvách zemskej kôry, zvyčajne v hĺbkach nad 500 metrov. Ide o zdroj strednej až vysokej teploty, ktorý umožňuje využitie technológií vhodných pre veľkokapacitné sústavy CZT a priemyselné aplikácie. Hlboké geotermálne zdroje poskytujú nepretržitú výrobu tepla, vďaka čomu sú vhodné na pokrytie trvalej potreby po teple vo veľkých sústavách CZT. Výrazne prispievajú k environmentálnej udržateľnosti tým, že poskytujú nízkouhlíkový zdroj tepla a znižujú závislosť od fosílnych palív.



Obrázok 6. Klasifikácia geotermálneho potenciálu podľa hĺbky: veľmi plytký, plytký a hlboký. (zdroj: MDPI Open Access, (Zeh, et al., 2021))

Napriek významnému potenciálu musí tento typ zdroja čeliť viacerým výzvam, aby sa jeho využitie v kontexte centralizovaného zásobovania teplom (CZT) maximalizovalo. Realizácia hlbokých geotermálnych vrtov si vyžaduje vysoké počiatkové investície. Náklady na špecializované zariadenia a vŕtacie technológie môžu predstavovať prekážku, najmä pri veľkých projektoch. Zároveň je potrebná odborná expertíza a pokročilé inžinierske riešenia, keďže je nutné vysporiadať sa so zložitými geologickými podmienkami, čo

zvyšuje zložitosť projektov a riziko časových sklzov či dodatočných nákladov počas výstavby. Hlbinné vŕtanie môže taktiež prinášať geologické riziká, ako je prítomnosť nestabilných hornín alebo možnosť seizmických javov, ktorých manažment je kľúčový pre zabezpečenie prevádzkovej bezpečnosti.

Nie všetky regióny disponujú vhodnými hlbokými geotermálnymi zdrojmi. V niektorých oblastiach môžu byť teploty alebo tepelné toky nižšie, čo znižuje účinnosť tohto riešenia. Preto je nevyhnutné presné mapovanie geotermálnych zdrojov s cieľom identifikovať vhodné lokality.

Napokon, vnímanie geotermálnych aktivít komunitou, najmä tých, ktoré zahŕňajú hlboké vŕty, môže ovplyvniť schvaľovanie a realizáciu projektov. Preto je nevyhnutné zapojiť miestnu komunitu a poskytnúť jej jasné a transparentné informácie. Riešenie týchto výziev si vyžaduje kombináciu technologického pokroku, podporných politík, cielenej investičnej stratégie a spolupráce medzi verejným a súkromným sektorom. Tepelné panvy s vysokým energetickým potenciálom, ktoré sa v súčasnosti nachádzajú len v niekoľkých obmedzených oblastiach – ako sú Island, stredné Taliansko a Turecko – sú už ekonomicky životaschopné na výrobu elektrickej energie. Pri nižších teplotách je však pri posudzovaní ekonomickej výhodnosti konverzných systémov na výrobu elektriny nevyhnutné zohľadniť výkonnosť dostupných technológií. Tepelné panvy s vysokými a strednými teplotami sú na druhej strane vhodnejšie pre využitie v CZT a majú oveľa širšie geografické rozšírenie – pokrývajú takmer všetky členské štáty. Podľa European Geothermal Energy Council (EGEC) [25] približne 25 % Európanov žije v regiónoch, kde je možné využívať geotermálne CZT.

Tento geotermálny potenciál uznávajú niektoré členské štáty EÚ vo svojich Národných akčných plánoch pre obnoviteľné zdroje energie. Geotermálne CZT možno rozvíjať a inštalovať kdekoľvek, a to aj v existujúcich sústavách CZT počas ich rozširovania alebo renovácie, pričom výhodne nahrádzajú fosílnu palivá; nové geotermálne sústavy CZT je možné vybudovať v mnohých regiónoch Európy za konkurencieschopné náklady. Podľa Eurostatu približne tretina celkového dovozu ropy (34,5 %) a zemného plynu (31,5 %) do EÚ v roku 2010 pochádzala z Ruska. Z toho sa 75 % plynu využíva na vykurovanie (2/3 v domácnostiach a 1/3 v priemysle). Geotermálna CZT technológia má potenciál nahradiť významnú časť tohto paliva.

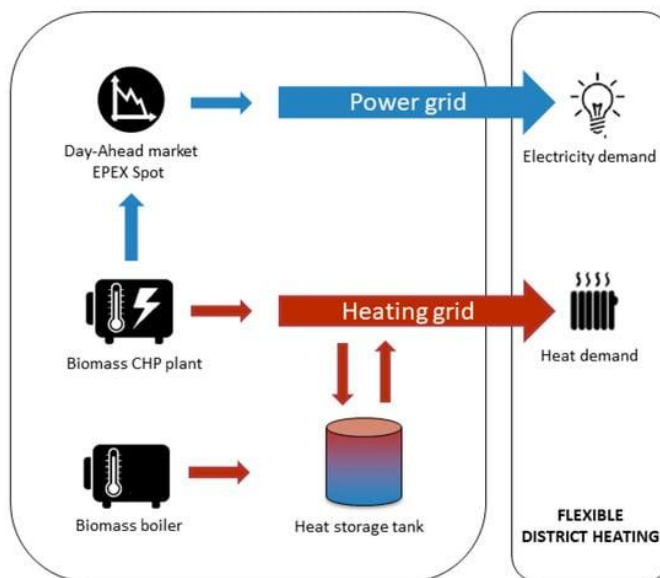
V dánskom Aarhuse sa začalo s vŕtaním prvých vrtov pre najrozsiahlejšiu geotermálnu sústavu centralizovaného zásobovania teplom v Európskej únii. Projekt Aarhus zahŕňa vybudovanie 17 vrtov na siedmich lokalitách s celkovou kapacitou 110 MW. Cieľom sústavy je do roku 2030 zabezpečiť 20 % dodávok tepla pre mestskú sústavu CZT.

BIOMASA

Biomasa, ktorá je hlavným obnoviteľným zdrojom energie v Európskej únii (EÚ), môže slúžiť na výrobu elektriny, tepla a palív pre dopravu. Spomedzi rôznych zdrojov biomasy je najrozšírenejšia drevná biomasa. Podľa predpisov EÚ sa biomasa klasifikuje za uhlíkovo neutrálnu, pretože sa predpokladá, že uhlík uvoľnený počas spaľovania pevnej biomasy bude približne vyvážený spätným pohltiením počas rastu rastlín. Tento cyklus robí z biomasy udržateľný a obnoviteľný zdroj energie. Súčasné politiky EÚ podporujú využívanie biomasy na výrobu elektriny a tepla. Hoci na úrovni EÚ neexistujú záväzné štandardy udržateľnosti pre biomasu, určité kritériá sú stanovené na národnej a priemyselnej úrovni.

Biomasa zahŕňa aj organické materiály, ako sú poľnohospodárske zvyšky a organický odpad, ktoré môžu slúžiť ako zdroj energie aj v kontexte centralizovaného zásobovania teplom, kde môže biomasa zohrávať kľúčovú úlohu pri zabezpečovaní udržateľného a ekologického tepla.

Existuje viacero spôsobov využitia biomasy, vrátane výroby tepla a elektriny (Obrázok 7), bioplynu, biopalív pre dopravu a plastov prostredníctvom zelenej chémie. Pojem „využitie bioenergie“ sa vzťahuje na prvé tri spôsoby využitia biomasy.



Obrázok 7. Koncept dekarbonizácie sústavy centralizovaného zásobovania teplom (zdroj: MDPI Open Access, (Koch, et al., 2020), <https://doi.org/10.3390/en13164134>)

Okrem tepla získaného spaľovaním biomasy treba pripomenúť, že úplná degradácia biomasy prostredníctvom aeróbných procesov, pri ktorých je prítomný kyslík, uvoľňuje ekvivalentné množstvo energie, aké bolo pôvodne uložené v bunkách biomasy prostredníctvom fotosyntézy alebo príjmu potravy. Toto teplo je zvyčajne dostupné pri teplotách približne 60 °C (Sokolovs, et al., 2015).

Podľa (EU_Parliament, 2018) Smernice o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov (EU_Parliament, 2018) možno udržateľne využiť iba časť biomasy, ktorá je dostupná na energetické účely. Pri implementácii Smernice o OZE na národnej úrovni by sa mali uplatňovať dve kritériá udržateľnosti: 1) Zakazuje sa využívanie biomasy pochádzajúcej z primárnych lesov, oblastí s vysokou zásobou uhlíka a oblastí s veľmi vysokou biodiverzitou; 2) Je potrebné dosiahnuť minimálne zníženie emisií skleníkových plynov použitím štandardizovanej metódy výpočtu. Jedným z cieľov je predísť negatívnym stimulom spojeným s neudržateľnými cestami bioenergetiky, ako sa uvádza v správe Spoločného výskumného centra Komisie z roku 2021 s názvom *"The use of woody biomass for energy production in the EU"* (Camia, et al., 2020).

Veľké množstvo organického komunálneho odpadu môže byť využité v rôznych procesoch na výrobu kompostu pre poľnohospodárske účely, ako aj na produkciu energie a biopalív. Využívanie organického odpadu a vedľajších produktov na výrobu energie, tepla a biopalív predstavuje významné riešenie v oblasti nakladania s odpadom. Napriek tomu pretrvávajú viaceré výzvy, vrátane dostupnosti surovín, využívania pôdy a zabezpečenia uplatňovania udržateľných výrobných postupov (Sipra, et al., 2018).



Obrázok 8. Bioreaktor typu CSTR (Continuous-flow Stirred Tank Reactor) na výrobu bioplynu (zdroj: geraldK (pixabay.com))

VYUŽITIE ODPADOVÉHO TEPLA (PRIEMYSELNÉHO/MESTSKÉHO)

Centralizované zásobovanie teplom z využitia odpadového tepla predstavuje energeticky efektívny a udržateľný spôsob využitia prebytočného tepla vznikajúceho počas priemyselných alebo komunálnych procesov. Na vykurovanie obytných, komerčných či priemyselných budov v danom regióne sa musí odpadové teplo zachytiť a následne využiť. Tento prístup nielenže prispieva k zníženiu celkovej spotreby energie, ale zároveň minimalizuje environmentálny dopad prostredníctvom využitia inak nevyužitej energie.

Priemyselné odpadové teplo pochádza najmä z rôznych výrobných a energetických procesov a vyznačuje sa širokým rozsahom teplôt. Na druhej strane, komunálne odpadové teplo pochádza zo zdrojov, ako sú čistiarne odpadových vôd a dátové centrá, a spravidla má nižšie teploty. Príklady priemyselného odpadového tepla zahŕňajú chladiacu vodu, spaliny a teplo z výrobných procesov, zatiaľ čo komunálne odpadové teplo zahŕňa teplo získané zo splaškových vôd, klimatizačných a vetracích systémov.

Podľa správy ECOHEATCOOL WP4 by EÚ27 získala ročne 1106 PJ, ak by všetky členské štáty dosahovali rovnakú účinnosť rekuperácie priemyselného odpadového tepla ako Švédsko, ktoré predstavuje najlepší príklad praxe v rámci EÚ (Werner, 2006). Viaceré štúdie identifikovali hlavné priemyselné odvetvia, ktoré typicky produkujú najviac odpadového tepla. Patria medzi ne: hutnícky priemysel, najmä výroba železa a ocele, chemický a petrochemický priemysel, potravinársky a nápojový sektor, výroba papiera, celulózy a tlačiarenský priemysel, ako aj spracovanie nerastných surovín ako sú cement, keramika a sklo.

Pokiaľ ide o komunálny odpad, jedným z najväčších problémov EÚ je jeho spracovanie – moderná spoločnosť totiž produkuje obrovské množstvá odpadu v dôsledku rastúcej spotreby produktov a služieb. Podľa usmernení rámcovej Smernice o odpade (EU_Parliament, 2009) musia byť jednotlivé možnosti spracovania odpadu zoradené podľa priority nasledovne: opätovné použitie, recyklácia, kompostovanie, spaľovanie (s rekuperáciou energie alebo bez nej) a ako posledná možnosť – skládkovanie. Napriek tomu bolo skládkovanie medzi rokmi 1995 a 2012 naďalej dominantným spôsobom nakladania s odpadom v EÚ, pričom jeho podiel lineárne klesol zo 40 % na 34 %, výraznejší pokles bol zaznamenaný v období 2008 až 2013 (Persson & Münster, 2016). Spaľovanie však predstavuje významný nevyužitý energetický potenciál aj v najvyspelejších krajinách (Švédsko, Dánsko, Nemecko, Holandsko, Rakúsko a Belgicko),

ktoré stále vo veľkej miere využívajú skládkovanie, a tým ignorujú odporúčania uvedenej európskej smernice. Keďže doteraz neexistujú dôkazy o tom, že by v EÚ dochádzalo k oddeleniu rastu životnej úrovne od produkcie odpadu, väčšina energetických scenárov pre budúce európske energetické systémy predpokladá lineárny nárast produkcie komunálneho odpadu minimálne do roku 2030.

INÉ NÍZKOTEPLTNÉ ZDROJE TEPLA PRE SÚSTAVY CZT

Strana | 26

Okrem už popísaných zdrojov tepla existuje aj možnosť využitia zdrojov s teplotami v rozmedzí 10 °C až 50 °C. Vzhľadom na rozdiel teplôt medzi zdrojom a odberom nie je možné, aby tieto zdroje priamo dodávali teplo do vysokoteplotných sietí CZT. Jedným z možných riešení je využitie veľkokapacitných centrálnych tepelných čerpadiel, samostatne alebo s podporou pomocných čerpadiel (HP boosters), prípadne v kombinácii s inými technológiami, ako sú tepelné transformátory. (Lund & Persson, 2016) skúmali potenciál siedmich rôznych nízkopotenciálnych zdrojov tepla v Dánsku: nízkoteplotné priemyselné prebytočné teplo (<100 °C), pitná a úžitková voda, supermarket, odpadová voda, podzemná voda, dátové centrá, rieky, jazerá a morská voda. Najväčší potenciál z hľadiska geografickej dostupnosti a kapacity tepelného výkonu vykazovala podzemná voda. Významný potenciál z hľadiska tepelnej kapacity preukázali aj morská voda a rieky. Hoci sú supermarket bežne rozšírené v mestských aj vidieckych oblastiach, ich tepelná kapacita je relatívne nízka – hoci nie zanedbateľná.

Nízkopotenciálne zdroje tepla možno rozdeliť do štyroch kategórií:

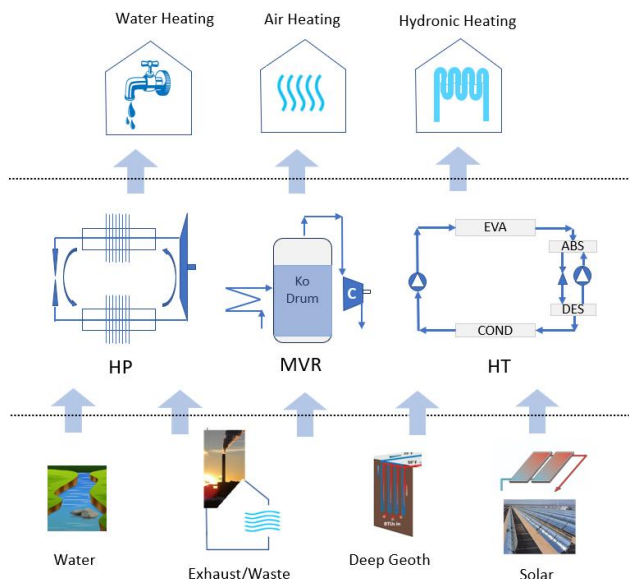
- Nízko-teplotné priemyselné odpadové teplo (pri $T < 100$ °C).
- Prírodné nízkoteplotné zásobníky tepla: more, rieky, jazerá, podzemná voda, zem (plytká geotermálna energia).
- Mestská infraštruktúra: tunely, kanalizácia a vodovodné potrubia.
- Kondenzátory chladiacich zariadení: dátové centrá, supermarket, obchodné centrá, kryté klziská.

V nasledujúcej časti sú predstavené rôzne koncepty integrácie týchto zdrojov do sústav centralizovaného zásobovania teplom.

TECHNOLÓGIE NA ZVÝŠENIE TEPLoty NÍZKOPOTENCIÁLNYCH ZDROJOV ENERGIE

ÚVOD

Táto časť opisuje praktické výzvy, ktoré môžu vzniknúť pri integrácii nízkoteplotných zdrojov tepla do sietí centralizovaného zásobovania teplom (CZT). Následne poskytuje prehľad hlavných technologických konceptov navrhnutých na riešenie týchto výziev, pričom zohľadňuje najmä to, že cieľové siete patria do kategórie relatívne vysokoteplotných sústav, ako sú siete 2. alebo 3. generácie.



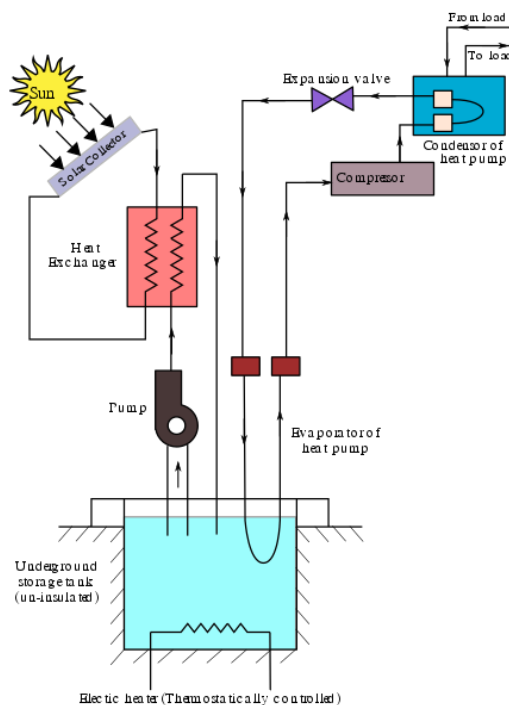
Obrázok 9. Koncept dekarbonizácie sústavy centralizovaného zásobovania teplom (Unige)

TEPELNÉ ČERPADLÁ

Tepelné čerpadlá priťahujú čoraz väčšiu pozornosť v oblasti centralizovaného zásobovania teplom (CZT) vďaka svojej schopnosti využívať prebytočnú elektrinu vyrobenú z neprogramovateľných obnoviteľných zdrojov, ako sú fotovoltika a veterné turbíny. Keďže na svoju prevádzku potrebujú externý zdroj energie okrem tepla (zvyčajne elektrickú alebo mechanickú energiu), považujú sa za „umožňujúcu technológiu“ na využitie nízkopotenciálnych zdrojov tepla a takisto na využitie odpadového tepla (Obrázok 10). Tepelné čerpadlá s kompresiou pár (VC-HP) pracujú na princípe štandardného obráteného chladiaceho cyklu, pričom na vykurovanie sa využíva teplo uvoľnené v kondenzátore.

Tepelné čerpadlá voda–voda sú preferované pre svoju schopnosť odoberať teplo z nízkotepelných zdrojov odpadovej energie (pod 45 °C) a vyrábať teplú vodu s vyššou teplotou, vhodnú pre sústavy centralizovaného zásobovania teplom (Zhu, et al., 2023). V prípadoch, keď existuje súčasná potreba po chladení aj vykurovaní, môže takýto kombinovaný systém výrazne zvýšiť účinnosť (COP) sústavy centralizovaného vykurovania a chladenia.

Môžu pracovať na oboch koncoch siete CZT, čo poskytuje flexibilitu pri využívaní rôznych nízkotepelných zdrojov tepla, vrátane solárnych termických kolektorov, geotermálnych vrtov alebo systémov rekuperácie odpadového tepla. Zároveň môžu byť využité aj v odovzdávacích staniciach u konečných spotrebiteľov na zvýšenie teploty podľa potrieb daného objektu. Okrem toho tepelné čerpadlá umožňujú sezónne uskladňovanie tepla. V obdobiach nadbytku výroby energie z obnoviteľných zdrojov alebo nízkej potreby po teple môžu tepelné čerpadlá premieňať zelenú elektrinu na teplo a uskladniť ho na neskoršie použitie. Tým prispievajú k vyrovnávaniu potreby a ponuky energie v sieťach CZT.



Obrázok 10. Schéma zapojenia sériovo zapojeného solárneho tepelného čerpadla (zdroj: KCVelaga, CC BY-SA 4.0
<<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, cez Wikimedia Commons)

Efektívna integrácia tepelných čerpadiel do sietí centralizovaného zásobovania teplom je kľúčovým prvkom pri dosahovaní udržateľného scenára dodávky energie. Jednou z možných aplikácií je využitie mikrozosilňovacích tepelných čerpadiel (micro booster heat pumps) v kombinácii s centrálnym tepelným čerpadlom. Analýza vykonaná v štúdií (Østergaard & Andersen, 2016) ukazuje, že využitie zosilňovacích tepelných čerpadiel (booster heat pumps) je prínosné, pretože umožňuje zlepšiť celkové výkonové číslo (COP) a znižuje straty v sieti. Sústavy je flexibilnejšia pri využívaní zdrojov rôznej kvality a pri dodávke tepla s nízkou až strednou teplotou je vo všeobecnosti menej náchylná na tepelné straty v potrubných sieťach. Sústava CZT s využitím zosilňujúcich tepelných čerpadiel (booster heat pumps) preukázala lepšiu výkonnosť v porovnaní so sústavou CZT založenou výhradne na centrálnom tepelnom čerpadle, a to z hľadiska prevádzkových nákladov aj spotreby primárnej energie. Využitie zosilňujúcich tepelných čerpadiel (booster heat pumps) zároveň umožňuje optimalizovať teploty na prívodnom aj vratnom potrubí už vo fáze návrhu sústavy, čím sa zvyšuje výkonové číslo (COP) prispôbené konkrétnemu technickému riešeniu (Ommen, et al., 2017) a (Lund, et al., 2014).

Zavádzanie tepelných čerpadiel do sústav CZT prináša aj viacero výziev. Okrem vysokých počiatočných investícií nemusí existujúca infraštruktúra CZT vyhovovať špecifickým technickým požiadavkám týchto sústav. V porovnaní s konvenčnými technológiami vykurovania môžu mať tepelné čerpadlá problém zabezpečiť dostatočne vysoké výstupné teploty. To môže byť nevýhodou najmä v aplikáciách CZT, ktoré si vyžadujú vysokoteplotné zdroje tepla, a môže predstavovať technickú prekážku v dôsledku potreby vhodného návrhu sústavy, údržby a dostupnosti kvalifikovaného personálu na jeho inštaláciu a prevádzku. Rozšírenie využívania tepelných čerpadiel v sústavách CZT si preto môže vyžadovať aj školenia technikov, aby získali potrebné vedomosti a zručnosti nad rámec tradičných vykurovacích systémov.

MECHANICKÁ REKOMPRESIA PARY (MECHANICAL VAPOUR RECOMPRESSION)

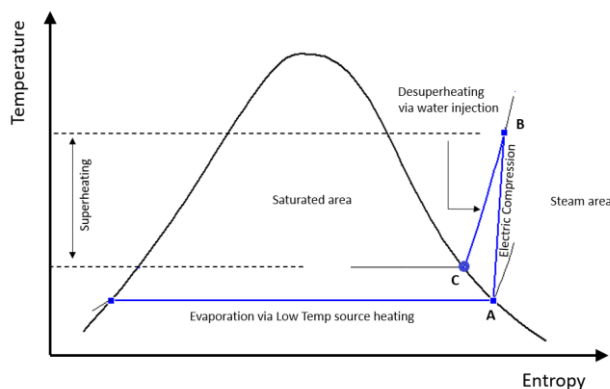
Technológia mechanickej rekompresie pary (MRP) bola pôvodne vyvinutá pre chemický priemysel, najmä pre procesy, kde je potrebné oddelenie alebo zahusťovanie roztokov. Táto technológia však nachádza uplatnenie aj v ďalších odvetviach, ktoré zahŕňajú odparovanie alebo koncentráciu, ako sú potravinárstvo, výroba celulózy a papiera či úprava odpadových vôd. Technológia MRP je mimoriadne univerzálna a možno ju prispôsobiť rôznym aplikáciám, pri ktorých má zmysel rekuperácia odpadového tepla. Pomáha zvyšovať energetickú efektívnosť technologických procesov a zároveň ponúka možnosti integrácie obnoviteľnej elektriny a obnoviteľného tepla do sietí CZT.

Strana | 29

Para zostáva kľúčovým nosičom energie v rôznych odvetviach chemického priemyslu, pretože ponúka flexibilitu pri rôznych parametroch tlaku a teploty. Zatiaľ čo para s vysokým tlakom sa používa na pohon turbín, para s nízkym tlakom slúži na technologické vykurovanie. Ak je však tlak pary príliš nízky na to, aby mala priamu energetickú hodnotu, efektívna rekompresia z nej môže opäť spraviť hodnotný nosič energie a premeniť tak odpadový produkt na užitočný zdroj.

Technológia MRP funguje ako otvorený systém tepelného čerpadla, v ktorom kompresia zvyšuje tlak aj teplotu, vrátane zodpovedajúcej teploty nasýtenia. Energia potrebná na kompresiu je pritom výrazne nižšia v porovnaní so skrytým teplom obsiahnutým v pare.

Para môže mať rôznu teplotu v závislosti od svojho pôvodu. Zvyčajne sa s vyššími teplotami stretneme pri parách z priemyselných procesov, zatiaľ čo nižšie teploty sú bežné pri solárnych alebo geotermálnych zdrojoch. V každom prípade sa stav pary najprv upraví na nasýtený suchý stav zahriatím, a až potom sa aplikuje rekompresia, ktorá zvýši jej tlak aj teplotu. Vysokotlaková para sa následne využíva buď priamo, alebo ako vysokoteplotný zdroj pre ďalšiu distribúciu tepelnej energie. V príklade znázornenom na Obrázok 11, je nasýtená suchá para (A) pri teplote 65 °C stlačená na tlak 1,25 bar (B) a následne sa odvlhčí (de-superheated) na 106 °C (C) vstrekaním vody so zvýšeným hmotnostným prietokom (Obrázok 10). Para sa môže použiť pri vysokej teplote, avšak často sa ochladzuje na nasýtený stav, aby sa dosiahla stabilná teplota tepelného nosiča.



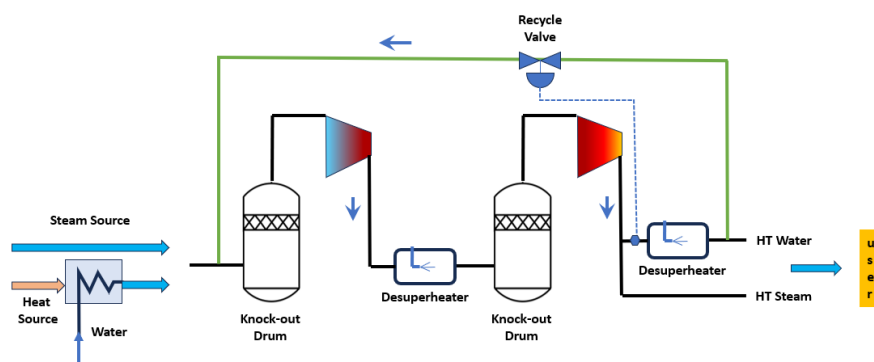
Obrázok 11. Procesy MRP. Odparovanie (evaporation) sa dosahuje pomocou nízkopotenciálneho tepelného zdroja, odvlhčovanie (de-superheating) prehriatej pary prebieha vstrekaním vody (UNIGE)

Prehriatie pary je do značnej miery spôsobené izentropickou účinnosťou kompresora, ktorá zvyčajne nedosahuje hodnotu 0,75. V závislosti od rozdielu tlakov sa kompresia zabezpečuje pomocou viacerých kompresorov, čím sa znižuje spotreba elektrickej energie.

Kompenzáciou prehriatia vstrekováním napájacej vody do kotla sa dosiahne požadovaná koncová teplota pary. Týmto spôsobom sa prehriatie pary premieňa na dodatočnú produkciu pary.

Obrázok 12 schematicky znázorňuje proces rekompresie pary a vstrekovania vody (dochladzovanie) s využitím dvojstupňovej kompresie. Odlučovače kvapaliny chránia lopatky kompresora pred erozívnym poškodením spôsobeným kvapôčkami vody. Vstrekovanie vody medzi jednotlivými stupňami znižuje prehriatie, čím sa zvyšuje účinnosť procesu. Počas spúšťania systému je nevyhnutný recirkulačný ventil (recycle valve): para sa recykluje, kým nie je dosiahnutý požadovaný stav nasýtenej suchej pary.

Energetická účinnosť MRP sa zvyčajne vyjadruje pomocou výkonového čísla (COP), podobne ako pri štandardných tepelných čerpadlách. COP predstavuje pomer medzi čistým získaným teplom a energiou spotrebovanou kompresorom. V tomto prípade čisté teplo zahŕňa produkciu pary vrátane dodatočnej pary vytvorenej vstreknutím vody.



Obrázok 12. Zjednodušená schéma dvojstupňovej MRP (UNIGE)

Pri štandardných ekonomicky a energeticky efektívnych aplikáciách sa dosahuje minimálny COP na úrovni 3,5. Niektoré aplikácie MRP však preukázali, že je možné dosiahnuť COP až 10 alebo aj viac.

Na dosiahnutie vysokých hodnôt COP je potrebný nízky pomer absolútnych tlakov pary – v praxi sa tento pomer zvyčajne pohybuje okolo hodnoty 3. Okrem toho je nevyhnutné použiť vstrekovanie vody po kompresii.

Technológia MRP je veľmi účinná v porovnaní s inými metódami. Jednoduché elektrické vykurovanie dosahuje COP len na úrovni 1, ak sa používa na dosiahnutie rovnakého výstupného stavu, t. j. pomocou obehového čerpadla a následného elektrického ohrevu na vysokotlakové odparenie. V prípade MRP je k dispozícii široká škála kompresorov. Typ kompresora závisí od pomeru tlaku a teploty, absolútneho tlaku a objemového prietoku. Celkový rozsah teplôt sa pohybuje od 10 °C do 80 °C (Zeng, et al., 2021).

Technické a finančné investičné riziká spojené s technológiou MRP sú nízke. MRP je obzvlášť zaujímavá pre procesy s prebytkom nízkotlakovej alebo expanznej pary, no systémy môžu byť založené aj na nízko- a strednotepelných zdrojoch, ako je odpadové alebo solárne teplo. Doba návratnosti sa pohybuje medzi jedným až tromi rokmi – vyššia účinnosť znamená menšiu potrebu fosílnych palív. MRP ponúka možnosť využívať obnoviteľnú elektrinu na proces kompresie. Keďže celý systém MRP je vždy navrhovaný na mieru, návratnosť investície závisí od rôznych faktorov, ako je kapacita inštalácie, hodnota vstupnej

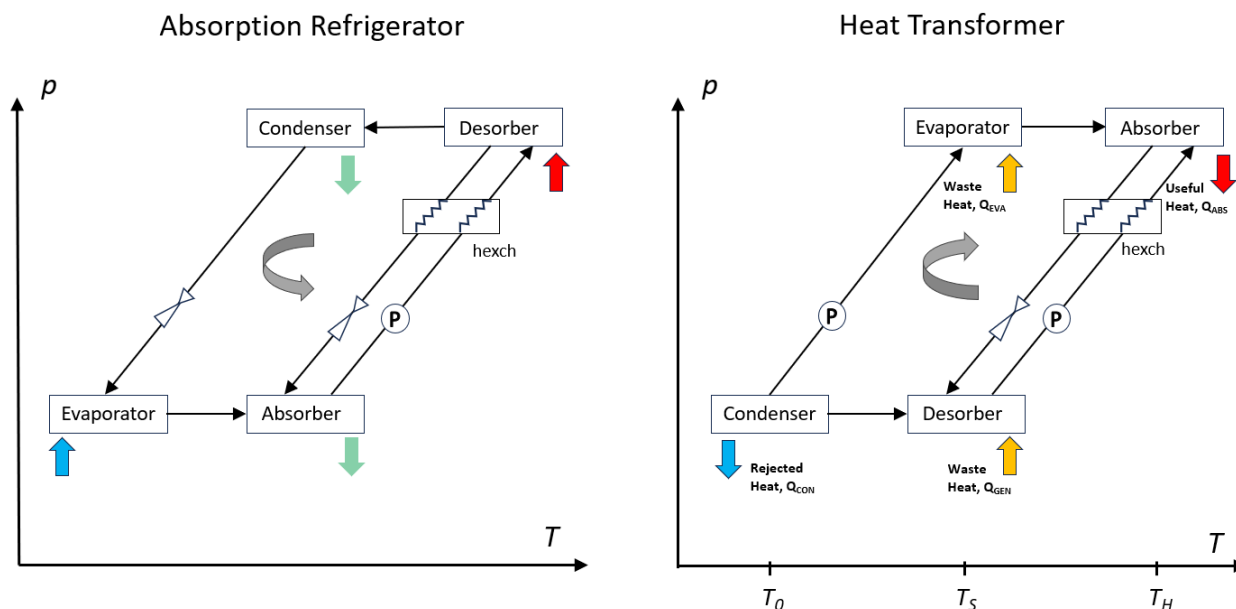
„odpadovej“ pary a výstupnej pary, ako aj cena elektriny. MRP vykazuje výraznú ekonomickú odolnosť, čo potvrdzujú dôkladné analýzy citlivosti zahŕňajúce výkyvy cien elektriny, hodnoty vstupnej a výstupnej pary a úrovne investícií. Aj pri trojnásobnom pomere cien elektriny a plynu na jednotku energie môže byť ziskovosť dosiahnuteľná, ak je COP priaznivé. Ekonomickú realizovateľnosť teda neurčujú len náklady na elektrinu, ale aj kapitálové výdavky na MRP a ceny zemného plynu. Navyše využívanie obnoviteľnej elektriny ešte viac znižuje uhlíkovú stopu.

Okrem priamych ekonomických výhod pre používateľov MRP sa objavujú aj viaceré synergické efekty. Schopnosť využívať obnoviteľnú elektrinu, najmä počas období jej nadprodukcie, je veľmi atraktívna. Politiky EÚ výrazne podporili nárast variabilnej výroby elektriny z obnoviteľných zdrojov, čo viedlo k zvýšenej volatilitě výroby, najmä v dôsledku dotačných schém pre OZE. MRP predstavuje efektívny nástroj riadenia potreby, ktorý napomáha udržiavať rovnováhu v systéme. Pri zavedení vo väčšom meradle zohráva MRP dôležitú úlohu ako kľúčový nástroj smerujúci k udržateľnému CZT.

Na záver stojí za zmienku, že osvedčená technológia MRP systémov (najmä v súvislosti s parnou kompresiou) sa dá efektívne využiť aj v uzavretých cykloch parnej kompresie, ktoré používajú vodu ako pracovnú látku. Takéto riešenie dosahuje veľmi dobré hodnoty COP pri zvyšovaní teploty NPOZE zo stredných teplôt (približne 50÷60°C) na teploty vhodné pre vysokoteplotné siete CZT (110÷130°C).

TEPELNÉ TRANSFORMÁTORY

Pri zvyšovaní teploty nízkopotenciálnych zdrojov energie sa ako prvá voľba, ako už bolo spomenuté, obvykle využíva parná kompresia tepelného čerpadla, ktoré umožňuje zvýšiť teplotu tepla na požadovanú úroveň. Účinnosť tohto riešenia je však obmedzená pri väčších teplotných rozdieloch, čo vedie k zvýšenej spotrebe elektrickej energie. Alternatívnou možnosťou je využitie tepelných transformátorov (TT) (Atienza-Márquez, et al., 2020), keďže ide o zariadenia navrhnuté na prenos tepla z nižšej teploty na vyššiu pomocou absorpčného termodynamického cyklu (Toppi T, et al., 2021). Nasledujúci obrázok zobrazuje štruktúru jednoduchého systému TT v porovnaní s absorpčnou chladiacou jednotkou, aby sa zdôraznilo, že TT pracuje v priamom cykle na rozdiel od obráteného cyklu v prípade chladiča.



Obrázok 13. Porovnanie medzi absorpčným chladiacim (inverzným) cyklom a (priamym) cyklom absorpčného tepelného transformátora (UNIGE)

Turbína je však nahradená jednotkou absorbéra a desorbéra a zo systému nevychádza mechanická energia, ale teplo s vysokou teplotou.

Tepelné transformátory sú mimoriadne vhodné na využívanie odpadového tepla z priemyselných procesov, výroby elektriny alebo iných zdrojov. Zohrávajú kľúčovú úlohu pri zvyšovaní energetickej účinnosti a zároveň ponúkajú možnosti integrácie obnoviteľných zdrojov energie, ako je geotermálne alebo solárne teplo, do sústav centralizovaného zásobovania teplom, čím posilujú ich udržateľnosť. Môžu byť nasadzované v decentralizovaných sústavách CZT (decentralized district heating systems), čo umožňuje flexibilitu a prispôbenie sa miestnym podmienkam. Tepelné transformátory však stále čelia obmedzeniam v rozsahu prevádzkových podmienok – konkrétne ich nárast teploty (thermal lift) nemôže prekročiť určitú hranicu a ich výkon je týmto nárastom výrazne ovplyvnený, preto je kľúčové nájsť optimálne prevádzkové podmienky. Na prekonanie týchto obmedzení sa zavádzajú dvojité cykly, čo môže viesť ku zložitým systémovým riešeniam a vyšším počiatočným nákladom, čo môže predstavovať výzvu pre ich širšie uplatnenie (Cudok, et al., 2021).

Teploty zapojené do technológie tepelných transformátorov sa líšia v závislosti od použitých pracovných látok (napr. amoniak alebo bromid lítny) a konfigurácie cyklu. Podľa (Cudok, et al., 2021), sa priemerné hodnoty pohybujú nasledovne: výstupná vysoká teplota T_H sa nachádza v rozmedzí 100 až 130 °C, stredná teplota T_S medzi 70 až 90 °C, pričom vstupná nízka teplota T_0 je približne 20–30 °C. Tieto systémy teda dokážu zvýšiť teplotu zo 70 °C na 110 °C, teda až o 60 °C. Cudok vo svojom prehľade zároveň uvádza, že rozšírenie tejto technológie zatiaľ nie je výrazné – medzi rokmi 1990 až 2010 bolo realizovaných len málo inštalácií. Následne však došlo k jej oživeniu, najmä v Číne, kde boli nasadené zariadenia s výkonom od 0,5 do 4 MW. Maximálny výkon približne 40 MW uvádza výrobca Ebara (2015).

Na ilustráciu niektorých technických detailov: absorpčné tepelné čerpadlá s amoniakom, ktoré využívajú amoniak (NH₃) ako chladivo a vodu ako absorbent, pracujú v špecifických teplotných rozsahoch v závislosti od aplikácie a konštrukcie systému. Hoci ich použitie prináša isté bezpečnostné riziká spojené s toxicitou amoniaku, nachádzajú široké uplatnenie v chladiarenských systémoch pre priemyselné aplikácie. Podľa nedávneho vývoja opísaného v štúdii od Ding, Lu (Zijian, Liu et al., 2023), sú hlavné teplotné rozsahy jednotlivých častí systému nasledovné:

Generátor (alebo desorber): Generátor je miesto, kde sa amoniak oddeľuje od vody zahrievaním roztoku. Typické pracovné teploty v generátore tepelných transformátorov sa pohybujú v rozmedzí od 60 °C do 80 °C, v závislosti od teploty dostupného nízkopotenciálneho zdroja. Vyššie teploty sa môžu využiť v priemyselných aplikáciách, kde je k dispozícii odpadové teplo alebo teplo zo strednoteplotných zdrojov.

Kondenzátor: V kondenzátore sa para amoniaku kondenzuje na kvapalinu odovzdávaním tepla do okolia. Prevádzkové teploty sa tu zvyčajne pohybujú v rozmedzí od 10 °C do 30 °C v závislosti od chladiaceho látky (vzduch alebo voda) a okolitých podmienok.

Výparník: Vo výparníku kvapalný amoniak absorbuje teplo a vyparuje sa, pričom – rovnako ako v desorberi – využíva dostupné NPOZE. Typické prevádzkové teploty vo výparníku sa pohybujú v rozmedzí od 50 °C do 70 °C, vďaka čomu je zapojený sériovo s výmenníkom tepla v desorberi.

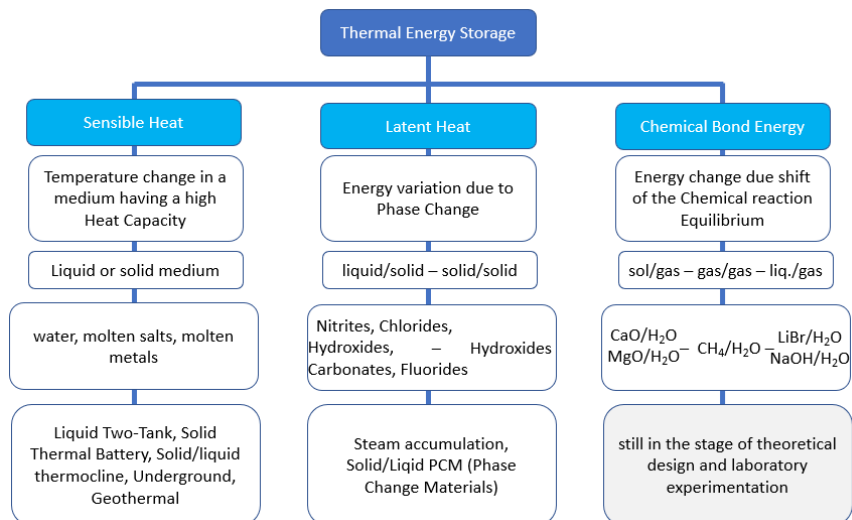
Absorbér: V absorbéri je amoniak vo forme pary opätovne absorbovaný do vody, pričom sa uvoľňuje využiteľné teplo. Prevádzkové teploty v absorbéri zvyčajne dosahujú hodnoty v rozsahu od 100 °C do 130 °C v závislosti od chladiaceho média a konštrukcie systému.

Možné sú aj aplikácie s roztokmi bromidu lítneho, avšak pracovné teploty sú nižšie z dôvodu rizika kryštalizácie bromidu lítneho vo vodnom roztoku.

AKUMULÁCIA TEPELNEJ ENERGIE (ATE)

Proces akumulácie tepelnej energie na neskoršie využitie v iných formách, ako je teplo alebo chlad, sa nazýva "akumulácia tepelnej energie.". Hoci nejde o technológiu na zvyšovanie teploty, je tu stručne uvedená, keďže často predstavuje nevyhnutnú súčasť všetkých sietí centralizovaného zásobovania teplom založených na kolísavých obnoviteľných zdrojoch energie. Systémy ATE ukladajú prebytočné teplo počas období nízkej potreby a uvoľňujú ho, keď je potreba vysoká, čím prispievajú k vyrovnávaniu zaťaženia a zabezpečeniu stabilného zásobovania pre sústavy CZT.

Zariadenia na akumuláciu tepla zabezpečujú tepelný rezervoár na efektívne riadenie dynamických vlastností Sústav centralizovaného zásobovania teplom, ako sú vývoj potreby po teple a elektrine, kolísanie cien energií, prerušovaná dostupnosť obnoviteľných zdrojov, extrémne počasie a poruchy systému. Odporúča sa, aby sa akumulácia tepelnej energie začlenila do sústav centralizovaného vykurovania a chladenia pre krátkodobé aj dlhodobé ukladanie. Vzhľadom na úroveň vedeckej vyspelosti jednotlivých typov technológií sa podporuje využívanie akumulácie pomocou senzibilného tepla, latentného tepla (materiály s fázovou premenou) a chemického tepla, aby sa uľahčil prechod súčasných energetických systémov na vykurovanie budúcej generácie (Alva, et al., 2018).



Obrázok 14. Bežné typy a metódy akumulácie tepla (Unige)

Ukladanie tepla zohrievaného počas leta na zimné vykurovanie a uchovávanie tepla generovaného počas dňa na nočné vykurovanie predstavujú dva príklady systémov akumulácie tepelnej energie (ATE). Ukladanie tepelnej energie vedie k zmenám vnútornej energie materiálu, ktoré sa môžu prejaviť ako senzibilné teplo, latentné teplo fázovej premeny, termochemická energia (thermochemical energy) alebo kombinácia týchto faktorov (Gil, et al., 2010) ako je znázornené na Obrázok 14.

Tu sú najčastejšie pracovné teplotné rozsahy pre rôzne typy systémov akumulácie tepelnej energie:

1. Akumulácia senzibilného tepla (Sensible Heat Storage (SHS)):

- Systémy na báze vody: 30°C až 95°C
- Systémy s roztavenou soľou: 150°C až 600°C
- Systémy s pevnou látkou (napr. betón, hornina): 100°C až 600°C

2. Akumulácia latentného tepla (Latent Heat Storage (LHS)):

- Parafínové vosky: 20°C až 70°C
- Soľné hydráty: 30°C až 120°C
- Eutektické soli (Eutectic salts): 10°C až 150°C

Vysokoteplotné materiály s fázovou zmenou: (PCMs - phase change materials): 150°C až 600°C

3. Termochemické akumulovanie energie (Thermochemical Energy Storage (TCES)):

- Nízko-teplotné systémy: 20°C až 150°C
- Stredno-teplotné systémy: 150°C až 400°C
- Vysoko-teplotné systémy: 400°C až 1000°C

Aplikácie a zodpovedajúce teploty

- Vykurovanie a chladenie budov: Zvyčajne využíva nižšie teplotné rozsahy (20 °C až 95 °C), ktoré sú vhodné pre zásobníky senzibilného tepla na báze vody a nízko teplotné fázovo premenlivé materiály.
- Priemyselné procesy: Často vyžadujú stredné až vysoké teplotné rozsahy (150 °C až 600 °C), ktoré môžu byť zabezpečené systémami s roztavenou soľou a vysokoteplotnými materiálmi s fázovou zmenou.
- Koncentrovaná solárna energia (Concentrated solar power (CSP)): Typicky využíva vysokoteplotné akumulčné systémy (150 °C až 600 °C), ako sú roztavené soli alebo vysokoteplotné PCMs.

Strana | 35

Sezónna akumulácia: Pri sezónnej akumulácii tepelnej energie sa teploty môžu pohybovať od 0 °C až do 600 °C, v závislosti od konkrétneho systému a lokality.

Výber systému ATE a jeho prevádzkového teplotného rozsahu závisí vo veľkej miere od konkrétnych požiadaviek danej aplikácie, dostupnosti materiálov a ekonomických aspektov.

NÍZKO/VYSOKO TEPLTNÉ SIETE CENTRALIZOVANÉHO ZÁSOBOVANIA TEPLOM

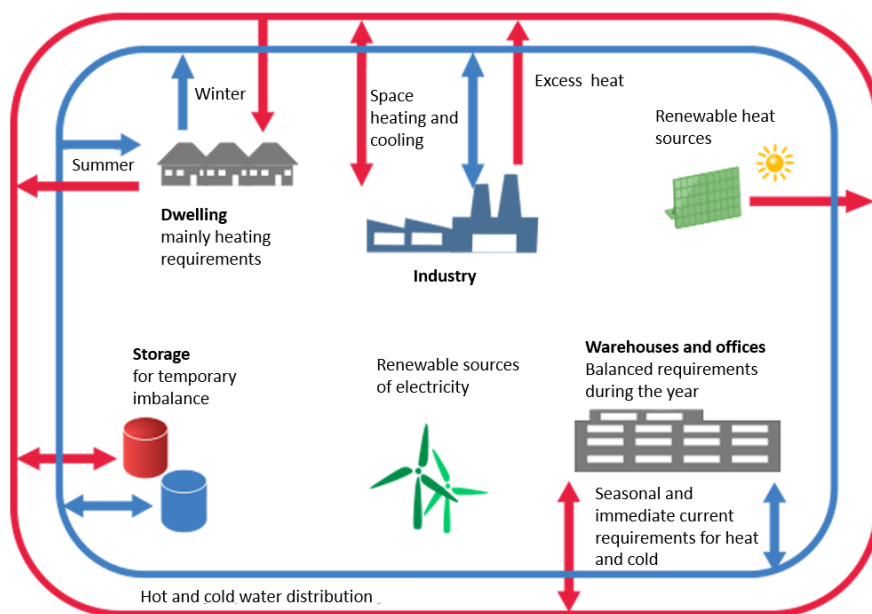
ÚVOD

Z pohľadu využitia centralizovaného zásobovania teplom, a teda so zreteľom na koncových používateľov, môžeme rozlíšiť rôzne teplotné rozsahy, pri ktorých je teplo dodávané – v závislosti od jeho použitia a vhodných teplotnosných nosičov.

Strana | 36

Pojem nízko-teplotné (NT) CZT označuje rozsah približne od 30 °C do 70 °C, ktorý je vhodný na vykurovanie vnútorných priestorov pomocou podlahového vykurovania (pri nižších teplotách rozsahu) a na prípravu teplej vody pre domácnosti (pri vyšších teplotách rozsahu). Do kategórie NT zároveň zaraďujeme aj sústavy s teplotami vyššími ako 60 °C, ale nižšími ako 90–100 °C, ktoré sa v literatúre často označujú ako centralizované zásobovanie teplom so strednou teplotou. V tomto prípade ide najmä o tradičné vykurovanie budov.

Pojem vysokoteplotné (VT) CZT sa používa v súvislosti s priemyselnými aplikáciami a centralizovanými systémami vykurovania, kde sa teplo vyrába alebo získava v rámci jednej veľkej infraštruktúry a následne sa využíva na vykurovanie viacerých budov alebo štvrtí. Tento typ centralizovaného zásobovania teplom, charakterizovaný teplotami od 90 °C do 130 °C a viac, bol typický pre technológie 20. storočia. V súčasnosti je už vo veľkej časti EÚ považovaný za zastaraný, no naďalej pretrváva vo východoeurópskych krajinách, kde je sústava CZT z historických dôvodov omnoho rozvinutejšia než v západnej Európe.



Obrázok 15. Znáznornenie sústavy CZT a CZCH (zdroj: Jirka DI, CC BY-SA 4.0, cez Wikimedia Commons)

NT CZT – PODLAHOVÉ VYKUROVANIE, NT VYKUROVANIE PRIESTOROV A PRÍPRAVA TEPLEJ VODY

Nízke teploty sú kľúčovým faktorom pre efektívnejšiu integráciu nízkouhlíkových technológií. Maximálna teplota prívodu 70 °C je potrebná na teplotnú dezinfekciu zásobovania teplou vodou, hoci na predchádzanie riziku výskytu baktérie legionely zvyčajne postačuje 50 °C. Označenie 4. generácia sietí

CZT sa vzťahuje na sústavy, ktoré pracujú s maximálnou teplotou prívodu 70 °C (Int_Energy_Agency, 2024).

Z pohľadu používateľa sa v budovách na vykurovanie využívajú teplotnosné látky s nižšou teplotou. Nízko-teplotné (NT) vykurovacie systémy zvyčajne neprekračujú teplotu 35–55 °C pre vykurovanie priestorov a môžu zahŕňať vykurovanie vnútorných priestorov pomocou nízko-teplotných vykurovacích plôch, podlahové vykurovanie alebo iné zariadenia na distribúciu tepla s nízkou teplotou.

Strana | 37

NT CZT prináša nové príležitosti na zvýšenie energetickej účinnosti a zníženie využívania fosílnych palív na úrovni komunít. Spotrebiteľská strana často profituje z dostupnosti tepla s nízkymi teplotami, ktoré slúži ako základ pre energeticky efektívne vykurovanie priestorov a prípravu teplej vody (TV). Integrácia nízko-teplotného tepla (low-temperature heat) do sústav CZT sa dá dosiahnuť prostredníctvom využitia účinných veľkých tepelných čerpadiel, solárnych termálnych kolektorov a kogeneračných jednotiek na biomasu, ako aj ďalšími technológiami.

Nižšie teploty sa vo všeobecnosti využívajú na minimalizáciu tepelných strát v rozvodných potrubíach a na zlepšenie celkovej efektívnosti energetických reťazcov využívaných v sústavách CZT. Na dosiahnutie optimálnej účinnosti musí byť spotrebiteľská strana navrhnutá tak, aby umožňovala využitie nízkych teplôt dodávaných sieťou (napr. prostredníctvom plošných vykurovacích systémov), pričom aj samotné siete centralizovaného vykurovania a chladenia a technológie na konverziu energie musia pracovať s vysokou účinnosťou. Z tohto dôvodu implementácia riešení s vysokým podielom obnoviteľných zdrojov energie vyžaduje úpravy architektonickej aj technologickej infraštruktúry. Tak nadbytočné, ako aj obnoviteľné zdroje energie môžu spoľahlivo pokrývať energetické potreby, najmä ak sú efektívne získavané pri nižších teplotách. Zohľadnením budov a ich zásobovacích systémov ako integrálnej súčasti energetickej siete sa maximalizujú synergie, predovšetkým na úrovni komunít. Na rozvoj pokročilého nízko-teplotného vykurovania je potrebné vyriešiť viacero výziev týkajúcich sa zosúladenia dostupnej energie na strane výroby s potrebou po vykurovaní priestorov a prípravou teplej vody na strane budov.

Na úrovni spotrebiteľa existujú tri spôsoby, ako zabezpečiť nízko-teplotné vykurovanie: väčšie vykurovacie telesá, dôkladnejšia tepelná izolácia a nízko-teplotná regulácia.

Ďalšie výhody využívania a zavádzania nízko-teplotných sietí centralizovaného zásobovania teplom zahŕňajú možnosť použiť plastové potrubia namiesto tradičných, drahších kovových potrubí, jednoduchšiu integráciu nízko-teplotných zdrojov tepla, ako sú solárne kolektory, hlbinné geotermálne vrty a nízko-teplotné odpadové teplo. Keďže nízko-teplotné CZT dosahuje nízke tepelné straty a vysoký celkový výkon systému, spotrebuje sa menej zdrojov. Medzi ďalšie praktické výhody patrí pomalšia korózia, menšie teplotné namáhanie systému, čistejší vzduch vďaka pomalšiemu prúdeniu vzduchu pri výmenníkoch a nižšia hlučnosť.

V rámci vyššieho teplotného rozsahu NTCZT, medzi 60 °C a 90–100 °C, sa nachádzajú tradičné spôsoby vykurovania na strane užívateľa, ako sú strednoteplotné vykurovacie telesá (mid-temperature emitters). Zdroje tepla pre vykurovanie budov môžu zahŕňať nízko-teplotné CZT, tepelné čerpadlá, geotermálne systémy alebo iné technológie, ktoré poskytujú teplo pri stredných teplotách, pričom je potrebné, aby teplota bola vhodne zvýšená pomocou zodpovedajúcej technológie tak, aby zodpovedala rôznorodým požiadavkám užívateľov.

Centralizované vykurovanie označuje sústavu, v ktorej sa teplo vyrába centrálné vo veľkej kotolni alebo tepelnej elektrárni a následne sa distribuuje viacerým budovám alebo užívateľom. Teploty pri takomto type vykurovania sa často pohybujú medzi 90 °C a 130 °C a viac. Distribúcia prebieha prostredníctvom siete potrubí, ktoré spájajú tepelný zdroj s napojenými budovami. Takáto sústava môže slúžiť na vykurovanie celých mestských oblastí alebo štvrtí. Priemyselné aplikácie môžu vyžadovať ešte vyššie teploty na zabezpečenie efektívneho chodu technologických procesov, pričom centralizované vykurovanie dokáže poskytovať teplo až do 150 °C. V rozsiahlych sieťach CZT môže byť potrebné udržiavať vyššiu teplotu teplotnosnej látky, aby sa kompenzovali tepelné straty počas distribúcie. V prípadoch, kde sa využívajú kogeneračné systémy – teda súčasná výroba tepla a elektrickej energie – sú vyššie teploty potrebné na maximalizáciu účinnosti. V takýchto prípadoch sa ako teplotnosná látka môže používať para alebo vysokotlaková voda.

Niektoré energetické sústavy integrujú rôzne zdroje tepla a technológie výroby. Kombinácia kogeneračných jednotiek, pokročilých výmenníkov tepla a iných technológií si môže vyžadovať vyššie teploty na zabezpečenie celkovej účinnosti sústavy. Vo všetkých týchto prípadoch výber teplotnosnej látky závisí od konkrétnych vlastností projektu a miestnych podmienok. Vo väčšine prípadov sa ako hlavná teplotnosná látka pre centralizované vykurovanie pri teplotách do 150 °C používa horúca voda (pressurized water) ($p < 5$ bar). Na dosiahnutie ešte vyšších teplôt bez varu sa však môžu použiť špeciálne teplotnosné kvapaliny, ako je teplotnosný olej alebo iné teplotnosná látka. Niektoré sústavy CZT používajú ako teplotnosnú látku paru namiesto vody. Cieľom je dosiahnuť vyššie teploty prívodu, ktoré sú často potrebné pre priemyselné procesy. Sústavy založené na pare sú už zavedené vo veľkom počte objektov. Vďaka svojej vysokej energetickej hustote je para mimoriadne vhodná pre priemyselné alebo rozsiahle budovy, kde dokáže efektívne zabezpečiť požadované množstvo tepla.

Aj keď sú novšie technológie účinnejšie, nemusia byť vhodné vo všetkých situáciách. Existujú prípady, keď je rozumnejšie ponechať existujúce parné sústavy, než ich úplne nahradiť za účelom zvýšenia účinnosti. To platí najmä pre sústavy CZT, ktoré v súčasnosti fungujú v krajinách východnej Európy (2. – 3. generácia), kde je potrebné presné technologické zmodernizovanie, aby sa vysokoteplotné vykurovanie mohlo prispôbiť udržateľnejším nízkoteplotným zdrojom.

ÚVOD

Niekoľko technológií sa bežne využíva vo vysokoteplotných sústavách centralizovaného zásobovania teplom, pričom každá má svoje špecifické výhody a oblasti použitia. Pri zameraní sa na technológie výroby tepla, ktoré nezávisia od obnoviteľných zdrojov energie, možno vyzdvihnúť nasledovné:

Strana | 39

- 1) Kotly na zemný plyn a uhlie
- 2) Kombinovaná výroba elektriny a tepla (KVET) založená na fosílnych palivách

Kotly na uhlie sa historicky využívali najmä v regiónoch, kde je uhlie dostupné a lacné. Kotly a kogeneračné jednotky spaľujú uhlie na výrobu tepla – a v prípade kogeneračných jednotiek aj elektrickej energie – ktorá sa potom distribuuje prostredníctvom siete centralizovaného zásobovania teplom na vykurovanie a prípravu teplej vody pre budovy. V dôsledku environmentálnych obáv, najmä v súvislosti so znečistením ovzdušia a emisiami skleníkových plynov, sa však na celosvetovej úrovni čoraz viac upúšťa od uhlia. Spaľovanie uhlia uvoľňuje znečisťujúce látky, ako sú oxid siričitý (SO_2), oxidy dusíka (NO_x), tuhé častice a oxid uhličitý (CO_2), ktoré prispievajú k zhoršovaniu kvality ovzdušia a ku klimatickým zmenám. Vlády a energetické spoločnosti preto prechádzajú na čistejšie a udržateľnejšie zdroje energie. V dôsledku toho používanie uhlia na účely centralizovaného zásobovania teplom v mnohých krajinách, vrátane Severnej Ameriky a Európy, výrazne kleslo. Vďaka nižším emisiám a schopnosti integrovať obnoviteľné zdroje energie sa čoraz viac presadzujú technológie využívajúce zemný plyn, biomasu a energetické zhodnocovanie odpadu.

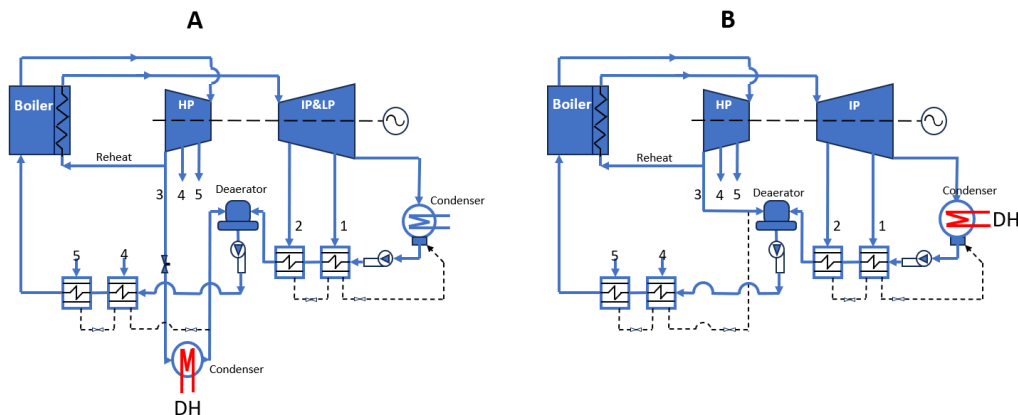
Kotly a kogeneračné jednotky na uhlie sa však stále využívajú v niektorých regiónoch, ako sú krajiny východnej Európy. Napriek tomu narastá povedomie o potrebe postupného vyradenia alebo aspoň obmedzenia využívania uhlia v prospech ekologickejších technológií výroby tepla. Tento prechod je poháňaný environmentálnymi predpismi a rastúcou dostupnosťou a cenovou konkurencieschopnosťou obnoviteľných zdrojov energie.

KOTLY NA UHLIE A PLYN

Napriek rozdielnemu typu paliva môžu byť vykurovacie kotlové systémy – vrátane tých, ktoré napájajú sústava CZT – schematicky znázornené rovnakým spôsobom. To isté platí aj pre kogeneračné jednotky. Na Obrázok 16 sú znázornené dva možné, zjednodušené varianty prispôbenia kogeneračných jednotiek pre CZT. Naľavo (A), čo je častejšia z dvoch možností, je štandardný Rankinov cyklus upravený o samostatný kondenzátor, ktorý je zvyčajne umiestnený v deaeračnej vetve (deaerator line) (3). Para je odoberaná pri tlaku v rozsahu od 2,0 do 2,7 bar (čo zodpovedá saturačným teplotám (saturation temperatures) 120 °C – 130 °C) alebo aj vyššom. Studená vetva kondenzátora je pretekaná hmotnostným prietokom vody, ktorá slúži ako teplonosné médium pre sieť CZT. Tento režim sa označuje ako „extrakčný kondenzačný systém“ (Zhao, et al., 2019). Druhý systém (B) sa zaobíde bez medzikondenzátora – výstupná para z turbíny priamo vstupuje do kondenzátora pri tlaku približne od 0,6 do 1,5 bar v závislosti od požadovanej teploty vody v CZT. Tento variant je známy ako „nízkovákuový systém“ alebo „systém s vysokým protitlakom“. Vďaka tomuto usporiadaniu sa eliminuje strata výfukového tepla, čo vedie k lepšej celkovej účinnosti. Na dosiahnutie tejto konfigurácie je potrebné zvýšiť protitlak posledného stupňa turbíny odstránením posledných radov lopatiek. V porovnaní s tradičným systémom KVET sa v

systéme s vysokým protitlakom výrazne znižujú teploty vykurovacej pary, vďaka čomu je vhodnejší pre nízko-teplotné CZT.

Oba systémy dokážu efektívne využívať energiu pochádzajúcu z nízko-potenciálnych zdrojov, ako sú slnečná energia, geotermálne zdroje, odpadové teplo a ďalšie.



Obrázok 16. Dve konfigurácie KVET pre CZT. Vľavo klasický extrakčno-kondenzačný systém (A) s nízkym spätným tlakom v kondenzátore. Vpravo kombinovaný systém s vysokým spätným tlakom (B) (UNIGE)

Zásobovanie teplom je často zabezpečované jednoduchým kotlom spaľujúcim fosílnu palivá. Bez ohľadu na konfiguráciu alebo úroveň dodávanej teploty môžu byť tieto systémy vždy výhodne doplnené o nízko-potenciálne zdroje tepla, čím sa znižuje spotreba fosílnych palív a tým aj znečistenie. Tieto systémy typicky produkujú viac alebo menej horúcu vodu (pressurized hot water), pričom v primárnom okruhu je voda v kvapalnom stave. Niektoré verzie však generujú paru pri rôznych teplotách (a tlakoch), ktorú možno použiť v rozvodoch vykurovania s rôznymi teplotnými úrovňami. Kombinované zdroje tepla a elektriny na báze metánu aj jednoduché kotly môžu byť po príslušných úpravách poháňané bioplynom. Treba zdôrazniť, že nahradenie fosílnych palív biopalivami (ak sú vyrábané udržateľným spôsobom) je najjednoduchšou cestou k zníženiu uhlíkovej stopy.

Ako príklad je na Obrázok 17 zobrazený parný kotol (taktiež pre výrobu elektriny a kogeneračné jednotky), ktorý je prispôsobiteľný pre široký rozsah palív, ako sú zemný plyn, LPG, bioplyn, metán, nafta, ťažký olej a pod. Výkon kotla sa pohybuje v rozsahu od 500 kg/h do 20 t/h pary.



Obrázok 17. Parný kotol Winketel (zdroj: Diemareng, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, cez Wikimedia Commons)

STRATÉGIE MODERNIZÁCIE EXISTUJÚCICH VYSOKOTEPLOTNÝCH SÚSTAV CZT

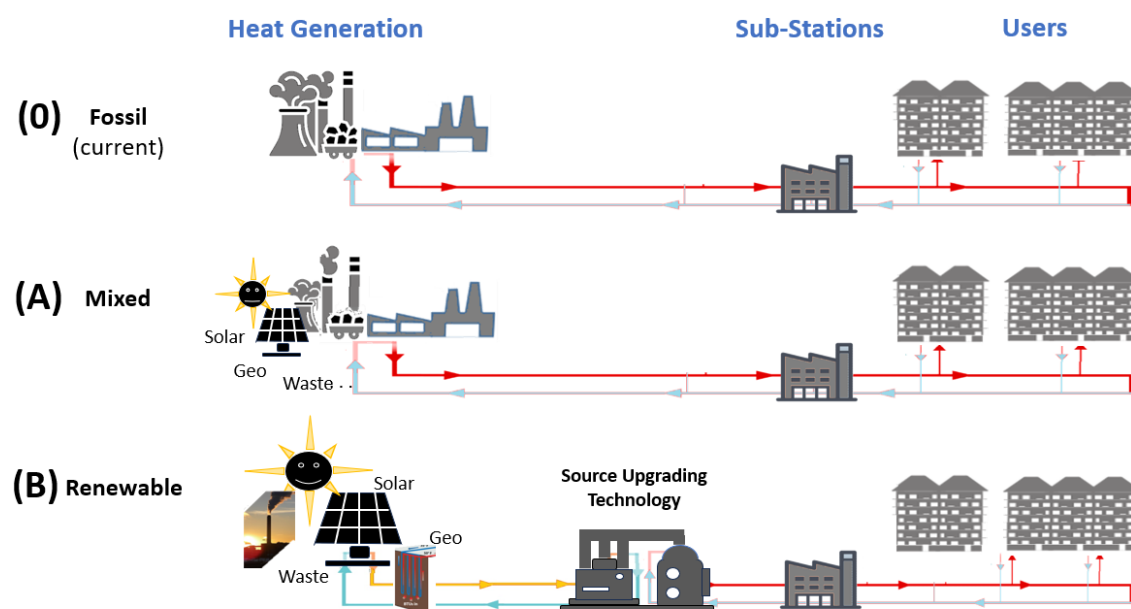
ÚVOD

Obnoviteľné zdroje, ako sú solárna a geotermálna energia, môžu byť výhodne integrované aj do starých uhoľných systémov s cieľom čiastočne nahradiť uhlie, alebo môžu byť súčasťou modernizačných technológií schopných úplne nahradiť fosílné palivá.

Strana | 41

Najprv bude potrebné rozlíšiť typ zásahu vychádzajúceho zo situácie úplnej závislosti od fosílnych zdrojov (Obrázok 18). Tento typ zásahu, aplikovateľný na aktuálne existujúce sústavy centralizovaného zásobovania teplom (0), bude spočívať buď v integrácii obnoviteľných zdrojov do existujúcich zariadení na výrobu tepla (A), ktoré boli predtým poháňané výlučne fosílnymi palivami, napríklad kogeneračnými jednotkami alebo jednoduchými kotlami, alebo v úplnej náhrade dostupných zdrojov tepla obnoviteľnými zdrojmi (B). Táto posledná možnosť si pravdepodobne vyžiada – aby bolo možné korektne sa pripojiť k VT CZT – použitie jednej alebo viacerých technológií zvyšujúcich teplotu na požadovanú úroveň.

Current and expected HT District Heating Technology



Obrázok 18. Alternatívne prechodové cesty od súčasného CZT založeného na fosílnych palivách (UNIGE)

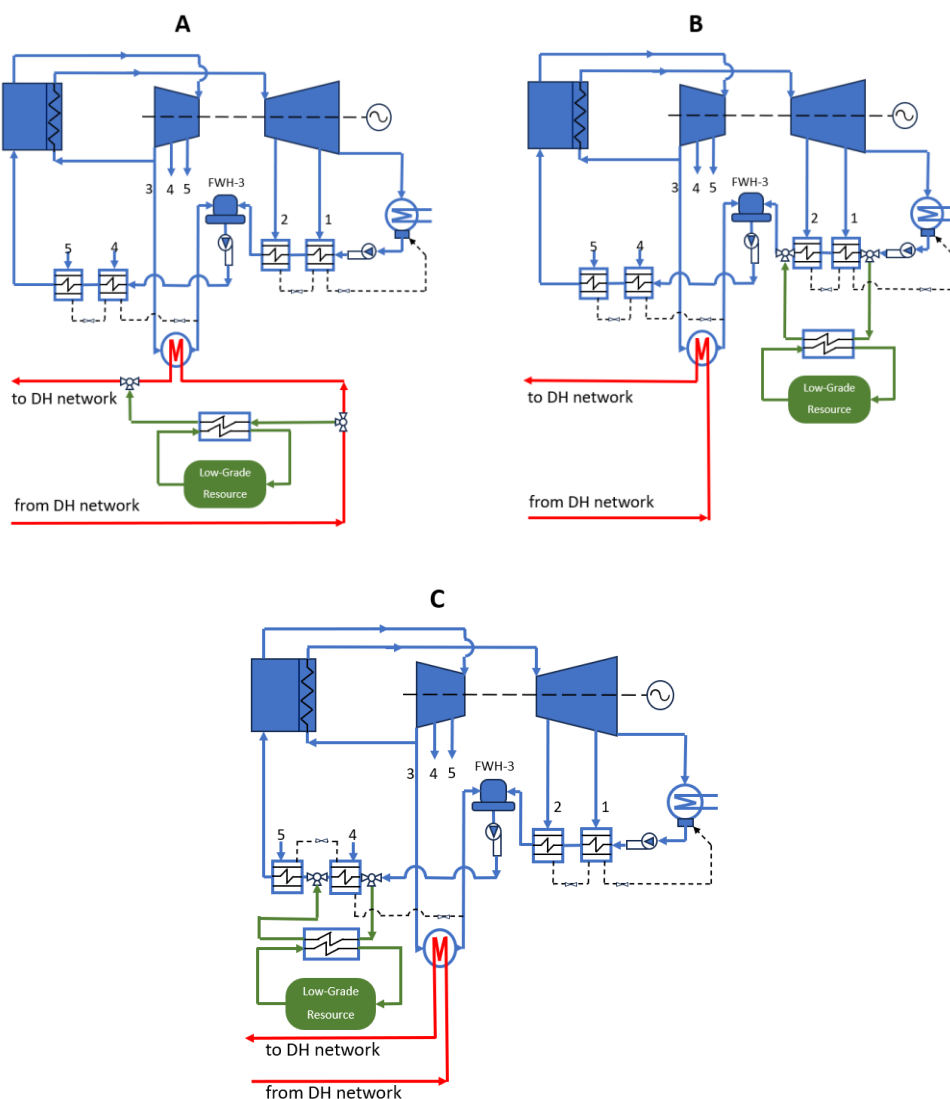
INTEGRAČNÉ STRATÉGIE PRE PODPORU NPOZE V SYSTÉMOCH KVET

V predchádzajúcich častiach tohto dokumentu bol kladený dôraz na nízkopotenciálne obnoviteľné zdroje energie (LGERES) a technológie na ich zhodnocovanie. V tejto časti rozoberáme riešenie (A), ktoré umožňuje ponechať existujúcu sieť prakticky nezmenenú. Zmeny sa budú týkať iba tepelného zdroja. Pri zohľadnení schémy zariadenia z predchádzajúcej časti sa uvažuje jednoduchý kogeneračný systém na

báze uhlia, ktorý zabezpečuje CZT, ako je znázornené na Obrázok 16 (A). Navrhujú sa rôzne spôsoby integrácie nízopotenciálnych zdrojov energie (Wu & Han, 2023).

Prvou stratégiou integrácie je priame zapojenie NPOZE do siete CZT, ako je znázornené na Obrázok 19 A. Nízko potenciálny zdroj je umiestnený paralelne s kondenzátorom CZT a slúži na predohrev časti vody v primárnom okruhu CZT. Táto jednoduchá schéma sa dá ľahko implementovať, no vyžaduje, aby teplota NPOZE bola v súlade s teplotou siete CZT. Ventilový systém umožňuje určitú reguláciu siete CZT a výstupná teplota bude niekde medzi teplotou NPOZE a teplotou zabezpečovanou kondenzátorom CZT.

V druhej stratégii integrácie, znázornenej na Obrázok 19 (B), je solárne pole umiestnené paralelne s ohrievačmi napájacej vody (feedwater heaters (FWH)) 1 a 2. Solárna energia sa využíva na predohrev napájacej vody (preheat feedwater) a na nahradenie prvých dvoch odberových stupňov pary, ktoré pracujú pri najnižšom tlaku. Táto stratégia integrácie sa zameriava na dodanie tepla s nízkou teplotou pred vstupom kondenzovanej pary do FWH-3.



Obrázok 19. Základné stratégie integrácie NPOZE do existujúcich systémov KVET CZT (UNIGE)

V tretej integračnej stratégii, znázornenej na Obrázok 19 (C), je solárne pole umiestnené paralelne s FWH-4. Solárna energia sa využíva na predohrev napájacej vody (preheat feedwater) prostredníctvom olejovo-vodného výmenníka tepla a nahrádza paru odoberanú zo štvrtej extrakčnej fázy. Táto integračná stratégia zdôrazňuje zapojenie tepla z NPOZE za vstupom kondenzovanej pary do FWH-3.

Vyššie uvedené stratégie slúžia len ako príklady integrácie NPOZE. Bežné parné kogeneračné jednotky majú viac ohrevov napájacej vody a integrácia dodatočného tepla môže byť realizovaná na rôznych teplotných úrovniach v závislosti od dostupného zdroja, a to paralelne s jedným, dvoma alebo viacerými ohrevmi napájacej vody. Integrácia tepla s vysokou teplotou (High temperature integration) môže byť taktiež realizovaná v medziahrevnej vetve (reheat line).

Pri vhodných úpravách je možné tieto stratégie uplatniť aj v prípade priamych kotlových sústavách CZT. Koncept spočíva v použití tepla z NPOZE na predohrev vody, čím sa znižuje závislosť od fosílnych palív.

ANALÝZA TECHNOLOGIÍ/STRATÉGIÍ PRE VT CZT V KOMBINÁCII S NPOZE

Niekoľko potenciálnych riešení na integráciu alebo modernizáciu existujúcich VT CZT môže byť prijatých na základe kombinácie nasledujúcich prvkov:

- referenčný systém:
 - o Kogeneračná jednotka alebo kotol
 - o Prevádzková teplota siete VT CZT (ktorá sa tu predpokladá vždy v rozsahu 110–130 °C na výstupe a 60–80 °C na vratnej strane)
- hlavné dostupné nízkopotenciálne energetické zdroje (NPOZE) alebo obnoviteľné energetické zdroje (OZE):
 - o solárna energia (riešenia so strednou a vysokou teplotou)
 - o odpadové teplo (s nízkou, strednou a vysokou teplotou)
 - o geotermálna energia (s osobitným dôrazom na teplo zeme; horúca voda alebo para z geotermálnych zdrojov sa môže využívať rovnakým spôsobom ako odpadové teplo)
 - o biomasa (tuhá biomasa, bioplyn, ...)
 - o iné (špecifické zdroje, ktoré by mohli byť zvažované, v tomto dokumente sa nenachádzajú)
- špecifické technológie potrebné na využitie NPOZE:
 - o ATE – Akumulácia tepelnej energie, vždy potrebná pri využívaní prerušovaných zdrojov energie (napr. slnečné žiarenie, prerušované odpadové alebo splaškové teplo a pod.)
 - o Tepelné čerpadlá s parnou kompresiou (TČ-PK)
 - o Absorpčné tepelné čerpadlá (ABS-TČ) známe aj ako „tepelné transformátory“
 - o Systémy mechanickej rekompresie pary (MRP), či už v otvorenej konfigurácii (na dodávku vodnej pary), alebo ako uzavretý parný kompresorový okruh (parné TČ-PK)
- Ďalšie technológie (špecifikované v technickom liste)
- Samostatné OZE: ide o prípady, keď je teplota OZE dostatočne vysoká na pokrytie požiadaviek na vykurovaciu teplotu (napr. vysokoteplotné kolektory typu „solar trough“).

Strana | 44

V každom technickom liste je uvedený stručný popis systému, porovnávajúci pôvodný systém s novým systémom s integrovaným NPOZE.

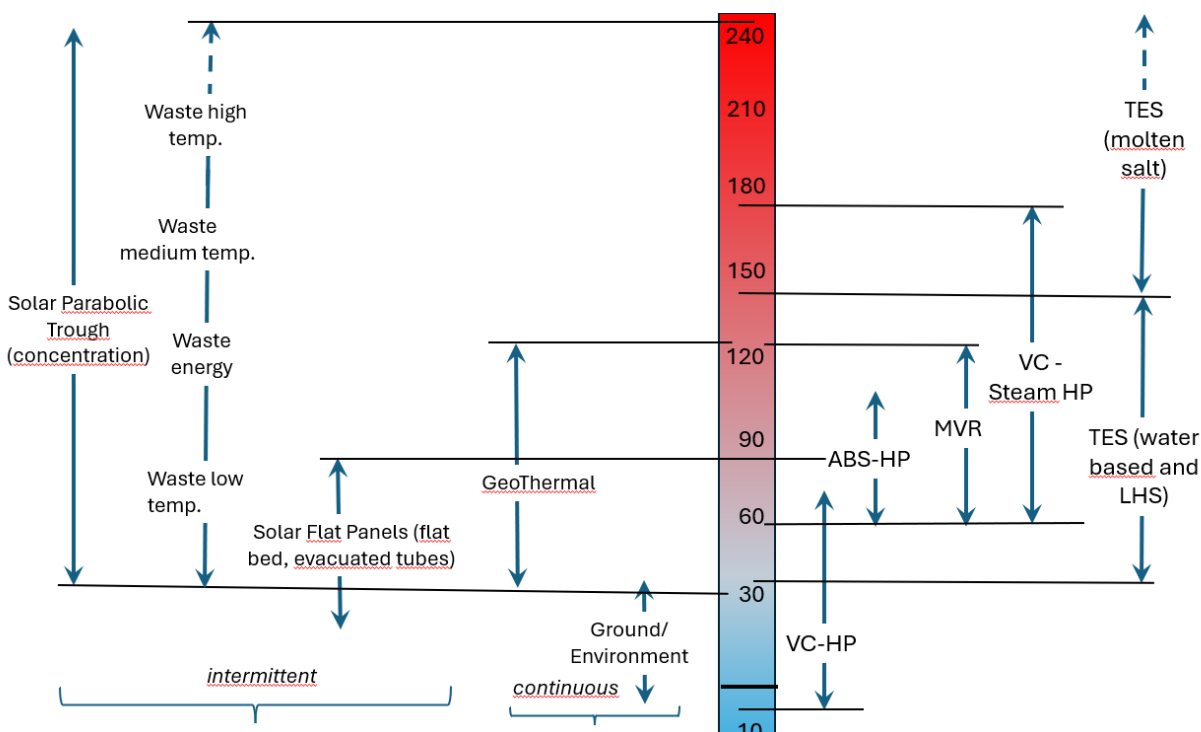
Bola predstavená aj druhá praktická alternatíva medzi centralizovaným a necentralizovaným využívaním NPOZE.

Centralizované riešenie je úplne realizované v rámci centrálnej distribúcie CZT a jeho výhodou je, že ho môžu zaviesť samotní prevádzkovatelia teplární pri vysokých výkonoch bez priameho zapojenia obce alebo iných relevantných zainteresovaných strán.

Decentralizované riešenie predstavuje distribuované využívanie energie, ktoré má výhodu v nižšom dopade na prostredie a v zapájaní obyvateľstva do otázok environmentálnej udržateľnosti. Nevýhodou je potreba dohôd na úrovni obcí alebo vládnych inštitúcií a skutočnosť, že na jednotku pripadá relatívne malý inštalovaný výkon (čo znamená vyššie náklady na inštaláciu a údržbu). V tomto poslednom prípade môže podrobná technická a finančná analýza pomôcť obci vyhodnotiť poskytovanie stimulov pre viaceré súkromné, malé a zdieľané iniciatívy (distributed initiatives).

Pre úplnosť treba uviesť, že uvedené centralizované riešenia nezahŕňajú len systémy na zvyšovanie teploty pomocou NPOZE, ale aj modernizáciu existujúcich centrálnych inštalácií prostredníctvom NPOZE, ktoré nie sú nevyhnutne priamo napojené na sieť CZT.

Pre lepšie pochopenie tepelného prepojenia medzi užívateľmi, nízkopotenciálnymi obnoviteľnými zdrojmi energie (LGERES) a technológiami na zvyšovanie teploty sa možno odvolať na Obrázok 20 kde centrálna teplotná os predstavuje aplikačnú (tzv. „užívateľskú“) teplotu, ktorá závisí od bodu zapojenia NPOZE do siete VT-CZT a od zvolenej technologickej schémy. Naľavo od tejto teplotnej osi sú znázornené hlavné možné riešenia založené na NPOZE, spolu s ich dostupnými teplotnými rozsahmi, pričom sú rozdelené na zdroje s kontinuálnou a nekontinuálnou dostupnosťou. V prípade nekontinuálnych zdrojov je vždy nevyhnutné použiť akumuláciu tepelnej energie (ATE) na primeranej teplote, zatiaľ čo pri kontinuálnych zdrojoch môže ATE síce zlepšiť reguláciu a riadenie systému, ale jej použitie nie je povinné. Na pravej strane Obrázka 20 sú uvedené hlavné technológie na zvyšovanie teploty, ktoré boli doteraz opísané, spolu s bežnými teplotnými rozsahmi ich aplikácie. Aj keď ide o kvalitatívne znázornenie, je veľmi užitočné pre pochopenie toho, ktoré nízkopotenciálne zdroje energie možno využiť pre danú pracovnú teplotu aplikácie a ktorá technológia je vhodná na dosiahnutie požadovanej výstupnej teploty. Napríklad, ak požadovaná pracovná teplota je okolo 120 °C, z náčrtu Obrázka 20 jasne vyplýva, že jedinou solárnou technológiou schopnou dosiahnuť takúto vysokú teplotu je parabolický solárny žľab. Naopak, ak chceme využiť len energiu z pôdy alebo vonkajšieho prostredia (napr. vzduch, rieky či jazerá s teplotou okolo 5–10 °C), nestačí len tepelné čerpadlo s parnou kompresiou (TČ-PK), ale musí byť zapojená aj druhá technológia na zvýšenie teploty, napríklad absorpčné tepelné čerpadlo (ABS-TČ), ktoré však veľmi často nepostačuje, alebo parné TČ-PK či technológia MRP.

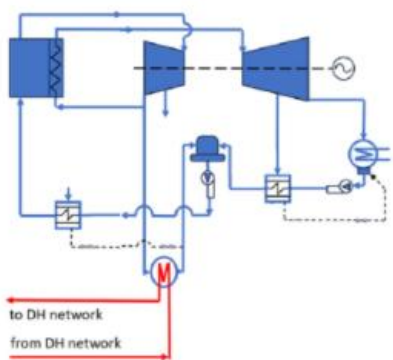
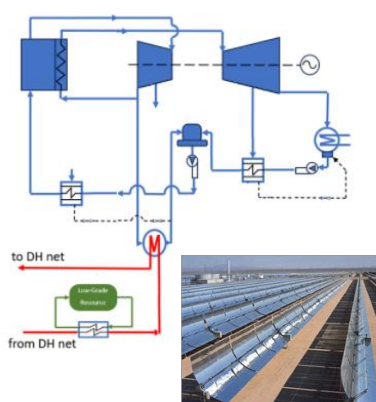


Obrázok 20. Prepojenie prevádzkových teplôt VT-CZT (stredná teplotná stupnica) s vybranými NPOZE (vľavo) a možnými technológiami na zvýšenie teploty (vpravo). Procesy priameho spaľovania biomasy a bioplynu nie sú zahrnuté (zdroj: UNIGE)

V nasledujúcej časti sú zhrnuté viaceré príklady technických riešení/integračných stratégií vo forme zjednodušených technických listov.

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 01 (KVET + SOLÁRNE SYSTÉMY STREDNEJ/VYSOKEJ TEPLoty NA VRATNEJ STRANE CZT)

Strana | 46

01	Technické riešenie/Integračná stratégia č. 01		Integrácia solárnych systémov
	strednej/vysokej teploty (parabolické solárne kolektory) s ATE v systémoch KVET		
Základná referenčná technológia ☐ Kotel ☒ KVET ☐ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☐ Prívod/ 120°C ☒ Vratne/ 60°C ☐ Žiadne (v ekonomizéri KVET)		Hlavné využívané NPOZE ☒ Solár ☐ Geotermál ☐ Odpad ☐ Biomasa ☐ Iné	Zlepšujúca technológia ☒ ATE ☐ TČ-PK ☐ MRP ☐ ABS-TČ ☐ Iná ☐ Žiadna
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT network			
Popis celkového systému			
Konceptia existujúcej inštalácie – extrakčná/kondenzačná KVET (zjednodušená)		Nová konceptia s priamou solárnou integráciou	
			
Uvažovaný NPOZE nevyžaduje špecifickú technológiu na vylepšenie tepelnej energie, keďže pracovná teplota je zvyčajne dostatočne vysoká vďaka solárnej koncentrácii. Použitie akumulácie tepelnej energie (ATE) je nevyhnutné na správne prispôsobenie potrieb VT-CZT solárnemu zdroju. Zohľadnená zjednodušená konfigurácia KVET (tradičný parný cyklus na uhlie, naľavo) využíva extrakciu pary pred turbínou s nízkym tlakom na podporu požiadavky na teplo v sústave CZT. Je možné nainštalovať tepelnú oblasť NPOZE, znázornenú zelenou farbou na schéme vpravo, na predohrev na vratnej strane sústavy CZT, čím sa pokryje požadovaný % podiel tepelných potrieb CZT. Môže fungovať ako integrácia, preberajúca časť pridelených požiadaviek na teplo v CZT, alebo ako čistý prídavok tepelného výkonu. Skutočné množstvo (podiel) závisí od dostupnosti teploty nového zdroja a % úspory na inštalovanom zdroji obnoviteľnej energie (solárna plocha, náklady na pole a podobne). Riadiaca stratégia určuje skutočné úspory emisií a fosílnych palív (ÚFS), v závislosti od možnosti prevádzky zariadenia pri zníženom elektrickom výkone, alebo ak musí byť výkon turbíny pevne			

stanovený. Správna akumulácia tepelnej energie (ATE) je vždy nevyhnutná.

ÚFS základného systému môže byť zvýšená o 10–15 %. Pri použití referenčnej „bežnej“ spotreby fosílnych palív môžu úspory v porovnaní so základným systémom dosiahnuť 15–20 %, keď sa implementujú ako integrácia. Pri prevádzke s čistým prídavkom výkonu, a teda poskytovaní tepelných výkonov pre CZT vyšších než pôvodné, už tieto ukazovatele nie sú veľmi užitočné.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: Solárne parabolické kolektory

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia

Prevádzková teplota NPOZE: až 220°C

Prevádzková teplota integrácie: ž na úroveň strednej teploty KVET (ekonomizér)

Očakávané výsledky: ÚFP (Úspory fosílnych palív) v rozsahu 15 až 20 %

Náklady na inštaláciu: 3500 ÷ 6000 €/kW_{tšpička} (referenčné špičkové oslnenie 1000W/m²)

Náklady na energiu: Náklady na tepelnú energiu z parabolických solárnych kolektorov sa môžu líšiť v závislosti od niekoľkých faktorov, vrátane počiatkových investičných nákladov, účinnosti systému, nákladov na údržbu a miestnych solárnych podmienok. Typicky sa náklady na tepelnú energiu z parabolických solárnych kolektorov merajú v rámci priemerných nákladov na výrobu tepla (LCOH), čo predstavuje priemerné náklady na výrobu jednej jednotky tepla počas životnosti systému, vyjadrené v nákladoch na jednotku energie (napr. eurá za megawatthodinu, €/MWh).

Silné stránky

- Jednoduchosť integrácie s existujúcou sústavou CZT
- Možnosť zvýšiť tepelný výkon dodávaný užívateľom
- Významná ÚFP

Slabé stránky

- V režime „integrácie“ neumožňuje dosiahnuť vysoké úspory fosílnych palív
- Neumožňuje efektívne využívanie vysokoteplotných zdrojov

Hlavné odporúčania

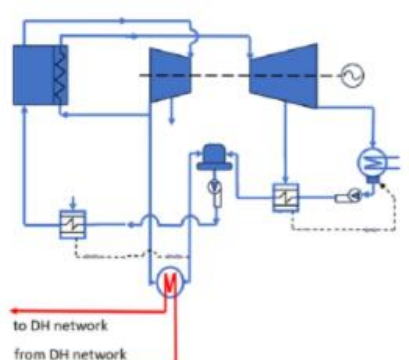
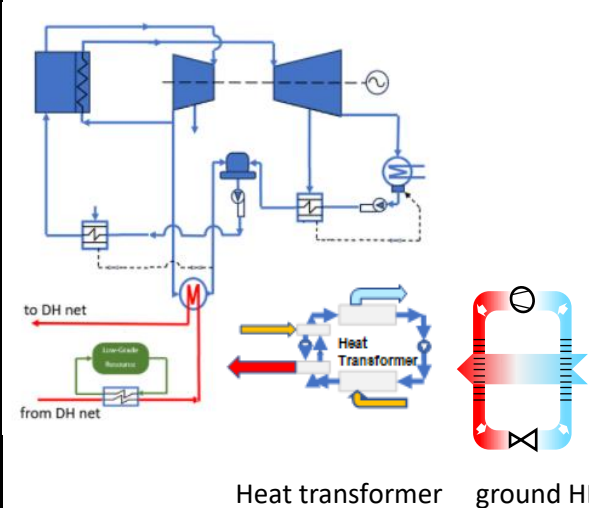
- **Odporúča sa používať aj pri stredných teplotách NPOZE (<110 °C).**

- **Odporúča sa, keď je potrebné zvýšiť tepelný výkon v sústave CZT**

- **Neodporúča sa na použitie s vysokoteplotnými NPOZE**

V prípade vysokých teplôt (dostupnosť NPOZE nad 140°C) sa odporúča priamy vstup na dodávaciu líniu VT-CZT, čo vedie až k 100% ÚFP pre CZT a veľkému zvýšeniu elektrického výkonu a účinnosti KVET (prostredníctvom vhodného modernizačného zásahu).

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 02 (V RÁMCI KVET: ZEMNÉ TČ + ABS-TČ NA VRATNEJ STRANE CZT)

02	Technické riešenie/Integračná stratégia č. 02 Zemné TČ strednej/vysokej teploty spojené s absorpčným TČ a systémom ATE v systémoch KVET		
	Základná referenčná technológia ☐ Kotel ☒ KVET ☐ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☐ Prívod/ 120°C ☐ Vratne/ 60°C ☐ Žiadne (v ekonomizéri KVET)	Hlavné využívané NPOZE ☐ Solár ☒ Geotermál ☐ Odpad ☐ Biomasa ☐ Iné	Zlepšujúca technológia ☐ ATE + ☒ TČ-PK ☐ MRP ☒ ABS-TČ ☐ Iná ☐ Žiadna
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT			
Popis celkového systému			
Koncepcia existujúcej inštalácie – extrakčná/kondenzačná KVET (zjednodušená) 		Nová koncepcia s integráciou zemného TČ 	
Uvažované riešenie je podobné riešeniu č. 1 (tradičný parný cyklus, na uhlie, naľavo), ale využíva kaskádu technológií na vylepšenie tepla, počnúc geotermálnym zdrojom tepla (teplota približne 5 až 10°C počas celého roka) s TČ-PK na získanie zdroja s teplotou 60 až 70°C, ktorý môže byť následne vylepšený pomocou tepelného transformátora až na pracovnú teplotu približne 100 až 110°C. Použitie ATE (akumulácie tepelnej energie) je vždy nevyhnutné na správne prepojenie VT-CZT a NPOZE s prevádzkou KVET. Použitie NPOZE prijíma rovnakú koncepciu ako v technickom liste č. 1, s výmenníkom tepla zobrazeným zelenou farbou, ktorý sa používa na predohrev vratnej strany v CZT, čím pokrýva požadovaný podiel tepelných potrieb CZT. Vzhľadom na teplotné obmedzenia ho možno využiť ako integráciu, preberajúcu časť pridelených požiadaviek na teplo v CZT. Skutočný podiel závisí od dostupnosti teploty nového zdroja (zemné tepelné čerpadlo + absorpčné tepelné čerpadlo) a relatívnej úspory na inštalovanom systéme kaskádového tepelného čerpadla.			

Pri predpoklade referenčnej „bežnej“ spotreby fosílnych palív môžu úspory v porovnaní so základným systémom dosiahnuť 15 až 20 %, keď sa implementujú ako integrácia. Pri prevádzke s čistým prídavkom výkonu, a teda poskytovaní tepelných výkonov pre CZT vyšších než pôvodné, je potrebné v podrobných analýzach definovať vhodné ukazovatele.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: zemné tepelné čerpadlo (zemné TČ-PK) + absorpčné tepelné čerpadlo (ABS-TČ).

STP: 9÷10 – Dobré zavedená a dostupná technológia, avšak s určitými ťažkosťami pri jej aplikácii v skutočných podmienkach. Malo by sa počítať s pilotnými zariadeniami ABS-TČ, ktoré by mali dobre fungovať.

Prevádzková teplota NPOZE: spodný stupeň zemného TČ-PK až do 70°C (COP v rozsahu 3,8 s exergickou účinnosťou približne 0,5). Horný stupeň tepelného transformátora až do 110°C (exergická účinnosť približne 0,35). Špecifické výkonnostné parametre musia byť definované v podrobných analýzach.

Prevádzková teplota integrácie: až do 110°C, pri strednom tlaku ekonomizéra (intermediate pressure economizer)KVET.

Očakávané výsledky: ÚFP (úspory fosílnych palív) v rozsahu 15 až 20 % (obmedzené vzhľadom na režim prevádzky systému KVET).

Náklady na inštaláciu: 500 ÷ 900€/kW_t (tepelný výkon dodávaný pri vyššej teplote) + zemný výmenník tepla (pomerne variabilný v závislosti od usporiadania, veľkosti a charakteru pôdy).

Náklady na energiu: Náklady na tepelnú energiu zo zemného tepelného čerpadla sú v dlhodobom horizonte pomerne nízke, avšak je potrebné pripočítať ďalšie náklady na relatívne vysoké náklady na údržbu kombinovaného systému. Typicky sa náklady na tepelnú energiu merajú v rámci priemerných nákladov na výrobu tepla (LCOH), čo predstavuje priemerné náklady na výrobu jednej jednotky tepla počas životnosti systému, vyjadrené v nákladoch na jednotku energie (napr. eurá za megawatthodinu, €/MWh).

Silné stránky

- Jednoduchá integrácia s existujúcim zariadením CZT.
- Možnosť zvýšiť tepelný výkon dodávaný užívateľom.
- Dobré ukazovatele úspor.

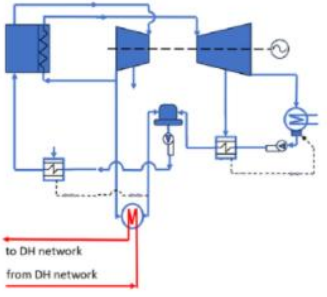
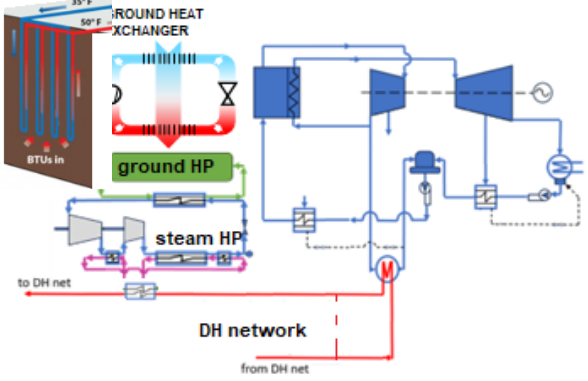
Slabé stránky

- V režime „integrácie“ neumožňuje vysoké úspory fosílnych palív.
- Používanie tepelných transformátorov nie je zatiaľ rozšírené.
- Jeho cena je výrazne ovplyvnená konfiguráciou zemného výmenníka tepla.

Hlavné odporúčania

- **Odporúča sa používať aj pri stredných teplotách NPOZE (<110 °C).**
- **Odporúča sa, keď je potrebné zvýšiť tepelný výkon v sústave CZT**
- **Nie je možné dosiahnuť najvyššie prevádzkové teploty VT-CZT**
- **Môžu byť potrebné určité úpravy zariadenia KVET. Možno zvážiť zriadenie pilotnej inštalácie.**

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 03 (KVET ZEMNÉ TČ + PARNÉ TČ NA PRÍVODNEJ STRANE CZT)

03	Technické riešenie/Integračná stratégia č. 03 Integrácia geotermálneho TČ + vysokoteplotného parného TČ pre systémy KVET		
Základná referenčná technológia ☐ Kotel ☒ KVET ☐ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☒ Prívod/ 120°C ☐ Vrátno/ 60°C ☐ Žiadne (v ekonomizéri KVET)	Hlavné využívané NPOZE ☐ Solár ☒ Geotermál ☐ Odpad ☐ Biomasa ☐ Iné	Zlepšujúca technológia ☒ ATE + ☒ TČ-PK ☒ MRP ☐ ABS-TČ ☐ Iná ☐ Žiadna	
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT			
Popis celkového systému			
Konceptia existujúcej inštalácie – extrakčná/kondenzačná KVET (zjednodušená)	Nová koncepcia s integráciou zemnej energie		
			
Kedže pracovná teplota zemných tepelných čerpadiel je <70°C, spojenie technológie MRP v uzavretom cykle (parné tepelné čerpadlo) umožňuje dosiahnuť teploty až do 160°C, čo je dostatočné na použitie na prívodnej strane siete CZT. ATE (akumulácia tepelnej energie) by mohla byť užitočná na zlepšenie riadenia systému pri prepojení prevádzky systému KVET s požiadavkami na teplo v CZT.			
Uvažovaná zjednodušená konfigurácia systému KVET (tradičný parný cyklus na uhlie, naľavo) využíva extrakciu pary pred turbínou s nízkym tlakom na podporu požiadavky na teplo v CZT. NPOZE, znázornené zelenou farbou na schéme vpravo, podporujú dodávaciu líniu CZT prostredníctvom technológie integrácie a pokrývajú požadovaný podiel tepelných potrieb CZT. Jemné doladenie prevádzky systému KVET je zaručené. Môže fungovať ako integrácia, preberajúca časť pridelených požiadaviek na teplo v CZT, alebo ako čistý prídavok tepelného výkonu, pričom vratna strana CZT slúži len na chladenie systému KVET. Skutočný podiel závisí od dostupnosti teploty nového zdroja a percentuálnej úspory na inštalovanom systéme OZE (geotermálne pole, náklady na výmenník tepla v geotermálnom poli a pod.). Je tiež možné obísť systém KVET (čiarkovaná červená čiara), čím sa zvýši účinnosť systému KVET a priamo využije elektrický výkon na prevádzku kaskády TČ pre 100 % služby			

CZT.

Pri predpoklade referenčnej „bežnej“ spotreby fosílnych palív môžu úspory v porovnaní so základným systémom dosiahnuť 15 až 20 %, keď sa implementujú ako integrácia.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: Geotermálne tepelné čerpadlo + parné kompresné tepelné čerpadlo

STP: 10 – Dobré zavedená a dostupná technológia, avšak vyžaduje podrobný inžiniersky návrh.

Prevádzková teplota NPOZE pri integrácii: Až do 150÷170°C.

Prevádzková teplota integrácie: Až do teploty dodávky CZT. Vratna strana CZT môže byť stále využívaná na chladenie ekonomizéra strednej teploty KVET (nie sú potrebné žiadne zmeny v KVET). V konfigurácii obchádzania sú zmeny v KVET nevyhnutné.

Očakávané výsledky: ÚFP (úspory fosílnych palív) v rozsahu 15 až 20 %, alebo aj viac, s výnimkou elektrickej spotreby systémov TČ, ktorá musí byť starostlivo vyhodnotená na základe skutočných pracovných teplôt (veľkosť celkového COP_{TČ} môže dosiahnuť až 2,4).

Náklady na inštaláciu: 350 ÷ 400 €/kW (TČ) + 400 ÷ 500€/kW (parné TČ) + zemný výmenník tepla (výrazne variabilný v závislosti od konfigurácie) pre parné tepelné čerpadlá¹.

Náklady na energiu: Štandardne sa náklady na tepelnú energiu vyjadrujú ako úroveň priemerných nákladov na výrobu tepla (LCOH), čo je priemerná cena výroby jednej jednotky tepla počas celého životného cyklu systému, vyjadrená ako náklady na jednotku energie (napr. eur za megawatthodinu, €/MWh).

Silné stránky	Slabé stránky
- Jednoduchá integrácia s existujúcim zariadením CZT a dobré prepojenie aj pri vysokých teplotách. - Možnosť zvýšenia dodávaného tepelného výkonu pre odberateľov. - Dobré ukazovatele úspor.	- V „integračnom“ režime neumožňuje výrazné úspory fosílnych palív.

Hlavné odporúčania

- **Odporúča sa používať aj pri stredných teplotách NPOZE (<110 °C).**
- **Odporúča sa, keď je potrebné zvýšiť tepelný výkon v sústave CZT.**
- **Použiteľné aj pri dodávke tepla vo vysokoteplotných sústavách CZT.**

¹ <https://oilon.com/en-gb/products/oilon-chillheat-s-600-s-2000/>

04

Technické riešenie/Integračná stratégia č. 04. Integrácia strednoteplotnej solárnej energie (ploché kolektory, vákuové trubice) s ATE v systémoch KVET

Základná referenčná technológia

☐ Kotel ☒ KVET ☐ Nové
Bod integrácie/ Teploty CZT
☐ Prívod/ 120°C ☐ Vrátno/ 60°C
☒ Žiadne (v rámci KVET)

Hlavné využívané NPOZE

☒ Solár ☐ Geotermál
☐ Odpad ☐ Biomasa
☐ Iné

Zlepšujúca technológia

☒ ATE + ☐ TČ-PK
☐ MRP ☐ ABS-TČ
☐ Iná ☒ Žiadna

Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – extrakčná/kondenzačná KVET (zjednodušená)

Nová koncepcia s priamou integráciou solárnej energie do systému KVET

Zvažovaný zdroj NPOZE nevyžaduje špecifickú technológiu na teplotné zvýšenie, pokiaľ je teplota kondenzátora KVET nízka. Prevádzková teplota solárnych panelov je zvyčajne dostatočne vysoká a bod vloženia má relatívne nízku teplotu. Na správne prepojenie potrieb KVET so solárnym zdrojom je vždy potrebné použiť ATE (akumuláciu tepelnej energie).

Základná konfigurácia uvažovaného systému KVET (rovnaká ako v technických listoch 1, 2 a 3 – tradičný systém s využitím uhlia, vľavo) využíva odber pary z nízkotlakovej parnej turbíny na predohrev kvapalného výstupu z kondenzátora. Je možné nainštalovať tepelné pole NPOZE, znázornené zelenou farbou na schéme vpravo, na strednotlakovej vetve, paralelne k prvej sade ohrievačov napájanej vody, pokrývajúce požadované (malé) percento tepelných potrieb KVET. Skutočný rozsah integrácie je malý z dôvodu polohy miesta vloženia a zdroj NPOZE musí poskytovať nízko teplotnú energiu, pod 60–80 °C. Skutočné množstvo (podiel) závisí od dostupnej teploty nového zdroja a percentuálnej úspory v inštalovanom výkone OZE (povrch solárneho poľa, náklady na pole a pod.).

Stratégia riadenia určuje skutočné emisie a úspory fosílnych palív (ÚFP), ktoré sú však vo všeobecnosti skôr nízke: pri porovnaní s referenčnou spotrebou fosílnych palív v režime „bežnej

činnosti“ môžu úspory v porovnaní so základným systémom dosiahnuť 2–3 %.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: Ploché solárne kolektory / vákuové trubicové solárne kolektory

STP: 10 – Lacná, dobre zavedená a dostupná technológia

Prevádzková teplota NPOZE: do 60 °C (ploché kolektory) až 100 °C (vákuové trubice).

Prevádzková teplota integrácie: zvyčajne do teploty kondenzátora KVET a prvej sady ohrievačov napájacej vody

Očakávané výsledky: ÚFP (úspora fosílnych palív) na úrovni 2÷3%

Náklady na inštaláciu: 350 ÷ 700€/kW_t (dodaná tepelná energia pri vyššej teplote) + ATE

Náklady na energiu: Náklady na tepelnú energiu z plochých solárnych kolektorov nie sú vysoké, aj keď je potrebné pripočítať dodatočné náklady súvisiace s relatívne vysokými nákladmi na údržbu pri konfigurácii s vákuovými trubicami. Typicky sa náklady na tepelnú energiu vyjadrujú ako úroveň priemerných nákladov na výrobu tepla (LCOH), čo je priemerný náklad na výrobu jednej jednotky tepla počas životnosti systému, vyjadrený v jednotkách nákladov na jednotku energie (napr. eurá za megawatthodinu, €/MWh).

Silné stránky	Slabé stránky
- Možno ju priamo realizovať aj pri veľmi nízkoteplotných zdrojoch, až do 35 °C.	- Obmedzené úspory fosílnych palív. - Obmedzený rozsah integrovateľného výkonu. - Neumožňuje efektívnu integráciu.
Hlavné odporúčania	
- Bez odporúčaní	

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 05 (V RÁMCI KVET: SOLÁRNA KONCENTRÁCIA VYSOKEJ TEPLoty NA VYSOKOTLAKOVOM EKONOMIZÉRI)

05

Technické riešenie/Integračná stratégia č. 05. vysokoteplotná solárna integrácia (parabolické slnečné žľaby) s ATE v systémoch KVET

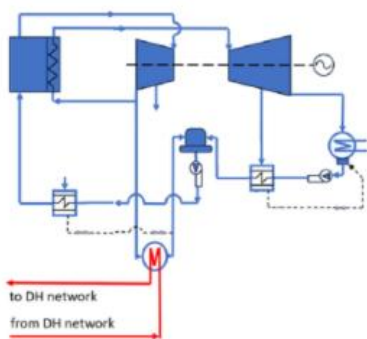
Základná referenčná technológia ☐ Kotel ☒ KVET ☐ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☐ Prívod/ 120°C ☐ Vrátno/ 60°C ☒ Žiadne (v rámci KVET)	Hlavné využívané NPOZE ☒ Solár ☐ Geotermál ☐ Odpad ☐ Biomasa ☐ Iné	Zlepšujúca technológia ☒ ATE + ☐ TČ-PK ☐ MRP ☐ ABS-TČ ☐ Iná ☒ Žiadna
--	---	---

Strana | 54

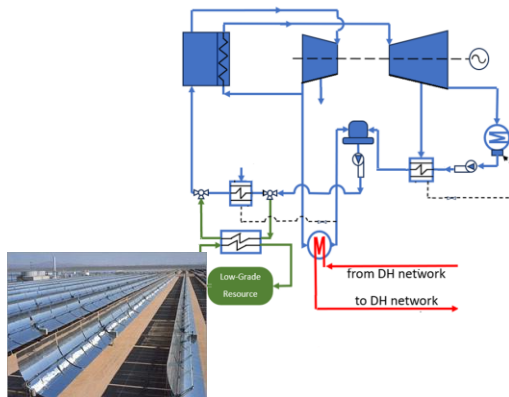
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – extrakčná/kondenzačná KVET (zjednodušená)



Nová koncepcia s priamou solárnou integráciou



Uvažovaný zdroj NPOZE nevyžaduje špeciálnu technológiu na zvýšenie teploty, pretože pracovná teplota je zvyčajne dostatočne vysoká vďaka solárnej koncentrácii. Vždy je však potrebné použiť ATE (akumuláciu tepelnej energie), aby sa správne zosúladiť tepelné potreby zariadenia so solárnym zdrojom.

Uvažovaná konfigurácia KVET (tradičná spaľovňa uhlia, vľavo) využíva odber pary z parnej turbíny ešte pred vstupom do nízkotlakovej turbíny na pokrytie potreby po teple z CZT. Je možné nainštalovať tepelné pole NPOZE (zelenou v schéme vpravo) na vysokotlakovom potrubí, paralelne s vysokoteplotnou skupinou ohrievačov prívodnej vody (feedwater heaters), ktoré pokrýva požadované percento tepelnej potreby kotla. Príspevok ohrievačov prívodnej vody (feedwater heaters) môže byť úplne vyradený.

Táto konfigurácia môže fungovať ako predohrev kotla, ak je realizovaná pomocou zdrojov NPOZE schopných dodávať teploty od 130 °C do 250 °C, no môže čiastočne alebo úplne nahradiť kotel, ak pridaný zdroj poskytuje teploty až do maximálnej prevádzkovej teploty zariadenia (napr. 500 °C až

600 °C). Miera integrácie teda môže byť veľmi vysoká.

Reálna úspora emisií a fosílnych palív (ÚFP), ktorá je vo všeobecnosti vysoká, bude závisieť od vyššie uvedeného spôsobu prevádzky: predhrievanie alebo úplná náhrada kotla. V prípade predhrievania môže ÚFP základného systému vzrásť až na približne 20 %.

Samozrejme, pri úplnej náhrade kotla pomocou NPOZE zdroja dosiahne úspora až 100 %.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: Parabolický solárny žľab

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia

Prevádzková teplota NPOZE: až do 260°C.

Prevádzková teplota imisie: až do 250°C (predohrev)/500 °C (náhrada kotla).

Očakávané výsledky: ÚFP (úspora fosílnych palív) na úrovni približne 20 % v závislosti od úrovne integrácie (100 % pri nožnej úplnej náhrade kotla).

Náklady na inštaláciu: 3500 ÷ 6000 €/kW_{t,špička} (referenčná maximálna intenzita slnečného žiarenia 1000W/m²) + náklady na náhradu KVET

Náklady na energiu: Náklady na tepelnú energiu zo systému s parabolickým solárnym žľabom sa môžu líšiť v závislosti od viacerých faktorov, vrátane počiatočných investičných nákladov, účinnosti systému, nákladov na údržbu a miestnych slnečných podmienok. Zvyčajne sa tieto náklady vyjadrujú ako úroveň priemerných nákladov na výrobu tepla (LCOH), čo je priemerná cena za výrobu jednej jednotky tepla počas životnosti systému, udávaná v eurách za megawatthodinu (€/MWh).

Silné stránky

- Môže úplne nahradiť využívanie fosílnych palív.
- Výborné ukazovatele úspor.

Slabé stránky

- Ťažko realizovateľné ako integrácia na vratnej strane CZT (vyžaduje výrazné úpravy v KVET zariadení).
- Neposkytuje možnosť využitia nízkoteplotných zdrojov.

Hlavné odporúčania

- **Odporúčané tak na úplné, ako aj čiastočné nahradenie fosílnych palív.**

- **Vyžaduje stredne až vysokoteplotné zdroje (neaplikovateľné pre zdroje so strednou teplotou pod 140 °C).**

06

Technické riešenie/Integračná stratégia č. 06. Integrácia odpadového tepla so strednou až vysokou teplotou s technológiou ATE v systémoch KVET.

Základná referenčná technológia

- ☐ Kotel ☒ KVET ☐ Nové
 Bod integrácie/ Teploty CZT
☐ Prívod/ 120°C ☐ Vratne/ 60°C
☒ Žiadne

Hlavné využívané NPOZE

- ☐ Solár ☐
 Geotermál
☒ Odpad ☐ Biomasa
☐ Iné

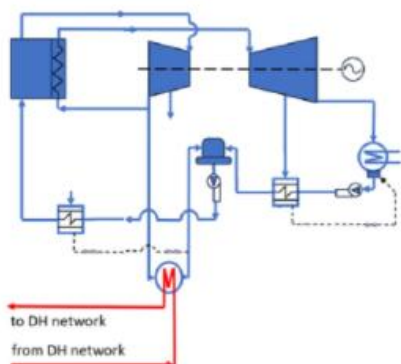
Zlepšujúca technológia

- ☒ ATE + ☐ TČ-PK
☐ MRP ☐ ABS-TČ
☐ Iná ☒ Žiadna

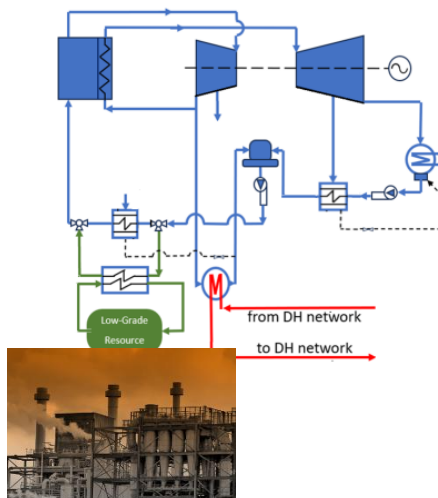
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Konceptia existujúcej inštalácie – kondenzačnej KVET (zjednodušená)



Nová koncepcia s priamou integráciou odpadového tepla



Použitie ATE (akumulácie tepelnej energie) je vždy nevyhnutné na správne prispôsobenie tepelných potrieb zariadenia KVET teplu z odpadového zdroja.

Uvažovaná konfigurácia KVET (tradičný uhoľný zdroj, vľavo) využíva odber pary z parnej turbíny pred vstupom do nízkotlakovej turbíny na pokrytie tepelných potrieb KVET. Je možné nainštalovať priemyselné tepelné napojenie z odpadu (na schéme vpravo vyznačené zelenou), na vysokotlakovej vetve, paralelne s vysokoteplotnou sadou regenerátorov napájacej vody (feedwater heaters), čím sa pokryje požadované percento tepelných potrieb kotla. Príspevok regenerátorov napájacej vody môže byť úplne vylúčený (zvýšením výroby elektrickej energie).

Táto konfigurácia môže slúžiť ako predohrev kotla, ak je implementovaná s odpadovým teplom s teplotami od 130 °C do 250 °C (napr. spaliny z motorov a turbín, teplo zo sušiacich pecí, chemických reaktorov), ale môže tiež čiastočne alebo úplne nahradiť kotel, ak dodávaný zdroj poskytuje teploty až po maximálnu teplotu zariadenia (napr. 500 °C až 600 °C – spaliny z

priemyselných pecí, spaľovní). Miera integrácie tak môže byť veľmi vysoká.

Skutočné zníženie emisií a úspora fosílnych palív (ÚFP) – spravidla vysoké – závisí od vyššie uvedeného spôsobu prevádzky: predohrev alebo náhrada kotla. V prípade predohrevu môže ÚFP základného systému dosiahnuť približne 10 %.

Samozrejme, ak dôjde k úplnej náhrade kotla NPOZE, úspora dosiahne 100 %.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: priemyselné odpadové teplo

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia

Prevádzková teplota NPOZE: do 400 °C a viac (závisí od konkrétneho priemyselného odvetvia)

Prevádzková teplota imisie: do 250 °C (predohrev) / 500 °C (náhrada kotla)

Očakávané výsledky: ÚFP (úspora fosílnych palív) približne 20 % (100 %, ak je možná úplná náhrada kotla)

Náklady na inštaláciu: môžu byť nízke (niektoré úpravy v závode a zopár výmenníkov tepla), závisia od konkrétnej situácie.

Náklady na energiu: určujú sa individuálne podľa konkrétneho prípadu, keďže súvisia s nákladmi na inštaláciu.

Silné stránky

- Môže úplne nahradiť využívanie fosílnych palív.
- Veľmi dobré ukazovatele úspor.

Slabé stránky

- Ťažšie realizovateľné ako integrácia na vratnej strane CZT.
- Neumožňuje využívanie nízkoteplotných zdrojov.

Hlavné odporúčania

- **Odporúčané tak pre úplnú, ako aj čiastočnú náhradu fosílnych palív.**

- **Vyžaduje stredne až vysoko teplotné zdroje (neaplikovateľné pre zdroje so strednou teplotou <140 °C).**

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 07 (SOLÁRNA ENERGIA V PROTITLAKOVOM SYSTÉME KVET - VYSOKÁ TEPLOTA)

Strana | 58

07

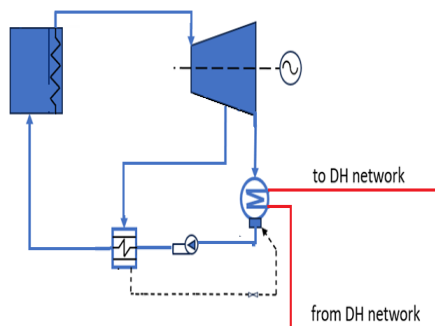
Technické riešenie/Integračná stratégia č. 07. Integrácia slnečnej energie (parabolický solárny žľab) so strednou až vysokou teplotou s ATE do protitlakových systémov KVET

Základná referenčná technológia ☐ Kotel ☒ KVET ☐ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☐ Prívod/ 120°C ☐ Vrátno/ 60°C ☒ Žiadne	Hlavné využívané NPOZE ☒ Solár ☐ Geotermál ☐ Odpad ☐ Biomasa ☐ Iné	Zlepšujúca technológia ☒ ATE + ☐ TČ-PK ☐ MRP ☐ ABS-TČ ☐ Iná ☒ Žiadna
---	---	---

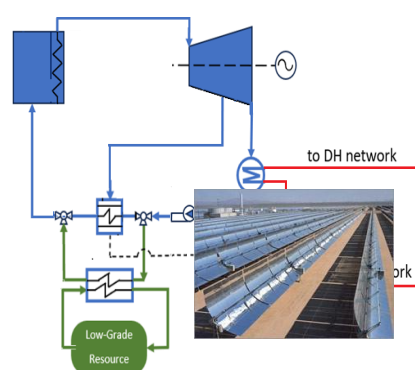
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Pôvodná koncepcia zariadenia –
protitlaková KVET (zjednodušená)



Nová koncepcia KVET so zabudovanou
priamou integráciou solárnej energie do
ohrievača napájajúcej vody v KVET



Uvažovaná konfigurácia KVET (tradičná uhoľná, vľavo) je protitlakový systém s jednou turbínou, ktorý využíva kondenzáciu pary pri relatívne vysokom tlaku na zabezpečenie tepelnej potreby CZT. V porovnaní s predchádzajúcimi konfiguráciami s odberom/kondenzáciou protitlakový systém neodvádza teplo do prostredia, a preto vykazuje globálnu energetickú účinnosť rovnú jednej. Na druhej strane má zvyčajne nízku až veľmi nízku elektrickú účinnosť konverzie energie v dôsledku vysokej kondenzačnej teploty a nízkej izoentropickej účinnosti turbíny, ktorá je často upravená odstránením posledných rotorov lopatiek (bez optimalizácie prúdenia pracovného média).

Je možné inštalovať tepelné pole NPOZE, znázornené zelenou farbou v schéme vpravo, na vysokotlakovom potrubí, paralelne k sústave ohrievačov napájajúcej vody, pričom môže pokrývať požadované percento tepelných potrieb CZT. Príspevok ohrievačov napájajúcej vody môže byť úplne vylúčený. Môže fungovať ako predohrev kotla, ak je realizovaný pomocou zdrojov NPOZE schopných dodávať teploty od 130 °C do 250 °C, no môže čiastočne alebo úplne nahradiť kotel, ak

doplňujúci zdroj dokáže poskytnúť teplotu až do maximálnej teploty zariadenia (napr. 500 °C – 600 °C). Miera integrácie teda môže byť veľmi vysoká.

Skutočné zníženie emisií a úspora fosílnych palív (ÚFP) – spravidla vysoké – bude závisieť od uvedeného režimu prevádzky: predohrev alebo náhrada kotla. V prípade predohrevu môžu ÚFP oproti základnému systému dosiahnuť približne 18 %, čo je viac než pri KVET s odberom/kondenzáciou.

Samozrejme, keď je kotol úplne nahradený zdrojom NPOZE, úspora dosiahne 100 %.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: Parabolické solárne žľaby

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia

Prevádzková teplota NPOZE: až do 220°C

Prevádzková teplota integrácie: do strednej teploty KVET (ekonomizér) (približne 200 °C).

Očakávané výsledky: ÚFP (Úspory fosílnych palív) na úrovni 15÷20%

Náklady na inštaláciu: 3500 ÷ 6000 €/kW_{t,špička} (pri referenčnej špičkovej intenzite slnečného žiarenia 1000W/m²)

Náklady na energiu: Náklady na tepelnú energiu zo systému parabolických solárnych žľabov sa môžu líšiť v závislosti od viacerých faktorov, vrátane počiatočných investičných nákladov, účinnosti systému, nákladov na údržbu a miestnych slnečných podmienok. Zvyčajne sa vyjadrujú ako úroveň priemerných nákladov na výrobu tepla (LCOH), čo je priemerná cena za jednotku tepla vyrobeného počas životnosti systému, vyjadrená v €/MWh.

Silné stránky

- Môže úplne nahradiť využitie fosílnych palív.
- Veľmi dobré ukazovatele úspor.

Slabé stránky

- Pomerne nízka účinnosť cyklu, ale systém je už existujúci.
- Zvyčajne poskytuje nižšiu teplotu CZT (<100 °C) ako extrakčná KVET.

Hlavné odporúčania

- **Odporúčané na čiastočné nahradenie fosílnych palív (úplné nahradenie len pri vysokých teplotách, napríklad pri použití koncentračnej solárnej technológie).**

- **Vyžaduje strednoteplotné až vysokoteplotné zdroje (neaplikovateľné pri použití so strednoteplotnými zdrojmi (<130 °C)).**

08

Technické riešenie/Integračná stratégia č. 08. Integrácia zemného tepelného čerpadla + parného tepelného čerpadla s ATE v protitlakových systémoch KVET

Základná referenčná technológia

- ☐ Kotel ☒ protitlak - KVET
☐ Nové
 Bod integrácie/ Teploty CZT
☐ Prívod/ 120°C ☒ Vrátno/ 60°C
☒ Žiadne

Hlavné využívané NPOZE

- ☐ Solár ☒
 Geotermál
☐ Odpad ☐ Biomasa
☐ Iné

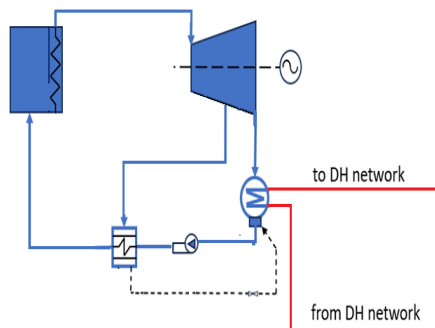
Zlepšujúca technológia

- ☒ ATE + ☒ TČ-PK
☒ MRP ☐ ABS-TČ
☐ Iná ☐ Žiadna

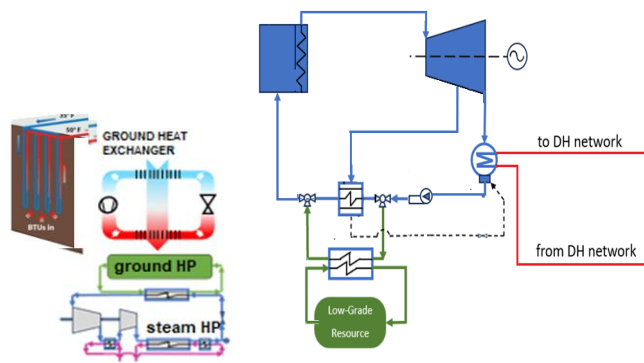
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Pôvodná koncepcia zariadenia – **protitlaková KVET** (zjednodušená)



Nová koncepcia KVET so zapojením geotermálneho (zemného) zdroja tepla



Uvažovaná konfigurácia KVET systému (tradičný uhoľný systém, naľavo) je protitlakový systém s jednou turbínou a využíva kondenzáciu pary pri relatívne vysokom tlaku na zabezpečenie tepelnej potreby CZT. V porovnaní s predchádzajúcimi konfiguráciami s odberom/kondenzáciou tento protitlakový systém nevyžaruje teplo do okolia, a preto dosahuje celkovú energetickú účinnosť rovnú jednej. Na druhej strane má zvyčajne nízku až veľmi nízku účinnosť premeny energie na elektrickú, čo je dôsledkom vysokej kondenzačnej teploty a nízkej izoentropickej účinnosti turbíny, ktorá je často upravená odstránením posledných rotorov lopatiek (bez optimalizácie prúdenia teplonosnej látky).

Je možné nainštalovať geotermálne pole, znázornené zelenou farbou v schéme napravo, na vysokotlakovej vetve, paralelne s radom ohrievačov napájacej vody, pokrývajúc požadované % tepelných potrieb KVET. Príspevok ohrievačov napájacej vody môže byť úplne vylúčený. Takáto konfigurácia môže fungovať ako predohrev kotla, pričom parné TČ v spojení s tradičným geotermálnym (zemným) TČ je schopné zabezpečiť teploty od 130 °C do 180 °C.

Skutočné zníženie emisií a úspora fosílnych palív (ÚFP) budú závisieť od účinnosti zvyšovania teploty a účinnosti predohrevu. ÚFP v porovnaní so základným systémom môžu dosiahnuť až približne 20 %, no je potrebné zohľadniť elektrickú spotrebu oboch tepelných čerpadiel. Finálne výpočty je potrebné vykonať v rámci podrobnej analýzy.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: zemné tepelné čerpadlo (TČ-PK) + parné tepelné čerpadlo (MRP).

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia, no vyžaduje podrobný inžiniersky návrh.

Prevádzková teplota NPOZE pri integrácii: do 150÷170°C.

Prevádzková teplota integrácie: do prevádzkových teplôt predohrevov v KVET (vyžaduje zmeny v zariadení KVET).

Očakávané výsledky: ÚFP (úspory fosílnych palív) na úrovni 15–20 % alebo viac, bez započítania elektrickej spotreby tepelných čerpadiel, ktorej hodnotenie musí byť starostlivo zvážené v závislosti od reálnych prevádzkových teplôt (rádová hodnota celkového COP_{TČ} je 2,5).

Náklady na inštaláciu: 350 ÷ 400 €/kW_t (TČ-PK) + 400 ÷ 500 €/kW_t (parné TČ-PK) + výmenník tepla zemného poľa (silne variabilné podľa konfigurácie)².

Náklady na energiu: Náklady na tepelnú energiu sa zvyčajne vyjadrujú priemerné náklady na výrobu tepla (LCOH), čo predstavuje priemerné náklady na výrobu jednej jednotky tepla počas životnosti systému, vyjadrené ako náklady na jednotku energie (napr. eur za megawatthodinu, €/MWh).

Silné stránky

- Môže úplne nahradiť potrebu predohrevu.
- Veľmi dobré ukazovatele úspor.

Slabé stránky

- Relatívne nízka účinnosť cyklu, ale ide o existujúci systém (typická protitlaková KVET).
- Dodatočná významná spotreba elektrickej energie.

Hlavné odporúčania

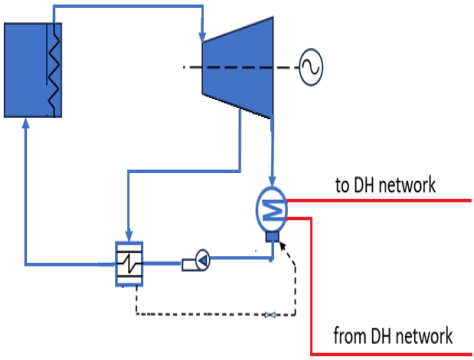
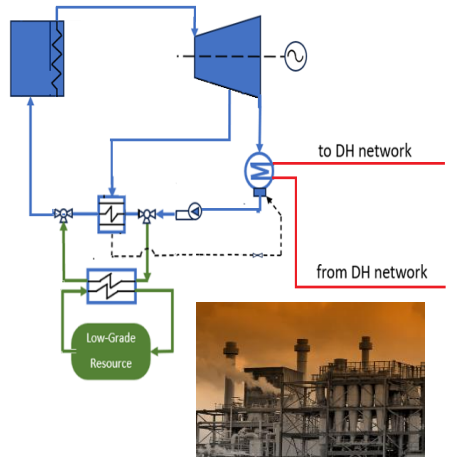
- **Odporúčané na čiastočnú náhradu fosílnych palív (úspory 20 %), ak je COP tepelných čerpadiel vysoké.**

- **Vyžaduje významnú spotrebu elektrickej energie.**

- **Vyžaduje strednoteplotné až vysokoteplotné zdroje (neaplikovateľné pre zdroje s miernou teplotou (<130 °C)).**

² <https://oilon.com/en-gb/products/oilon-chillheat-s-600-s-2000/>

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 09 (ZDROJ PRIEMYSELNÉHO ODPADU V PROTITLAKOVOM SYSTÉME KVET – STREDNÉ, VYSOKÉ TEPLoty)

09	Technické riešenie/Integračná stratégia č. 09. Integrácia priemyselného odpadu + s ATE v protitlakových systémoch KVET		
	Základná referenčná technológia ☐ Kotel ☒ protitlak - KVET ☐ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☐ Prívod/ 120°C ☐ Vrátno/ 60°C ☒ Žiadne (v rámci KVET)	Hlavné využívané NPOZE ☐ Solár ☐ Geotermál ☒ Odpad ☐ Biomasa ☐ Iné	Zlepšujúca technológia ☒ ATE + ☒ TČ-PK ☐ MRP ☐ ABS-TČ ☐ Iná ☒ Žiadna
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT			
Popis celkového systému			
Pôvodná koncepcia zariadenia – protitlaková KVET (zjednodušená) 		Nová koncepcia protitlakovej KVET s priamym využitím odpadového tepla v tlakovom ohrievači vody KVET 	
Uvažovaná konfigurácia protitlakovej KVET (tradičná spaľovňa uhlia, vľavo) je systém so spätným tlakom s jednou turbínou, ktorý využíva kondenzáciu pary pri relatívne vysokom tlaku na zabezpečenie požiadaviek CZT. V porovnaní s inými extrakčnými/kondenzačnými konfiguráciami systém spätného tlakuneodvádza teplo do okolia a preto vykazuje celkovú energetickú účinnosť rovnú jednej. Na druhej strane má zvyčajne nízku až veľmi nízku účinnosť premeny energie na elektrinu v dôsledku vysokej kondenzačnej teploty a nízkej izoentropickej účinnosti turbíny, ktorá je často upravená odstránením posledných stupňov lopatiek (bez optimalizácie prúdenia). Je možné inštalovať tepelné pole NPOZE, znázornené zelenou farbou na schéme vpravo, na vysokotlakovom potrubí, paralelne so sústavou ohrievačov vody, pričom sa pokryje požadované % tepelných potrieb BP-KVET. Príspevok ohrievačov vody môže byť úplne vylúčený. Môže fungovať			

ako predohrev kotla, ak je implementovaný so zdrojmi odpadového tepla schopnými poskytovať teploty od 130 °C do 250 °C, alebo môže kotol čiastočne alebo úplne nahradiť, ak dodatočný zdroj dokáže poskytnúť teploty až do maximálnej prevádzkovej teploty zariadenia (napr. 500 °C – 600 °C).

Miera integrácie teda môže byť veľmi vysoká. Skutočné zníženie emisií a úspora fosílnych palív (ÚFP) bude vo všeobecnosti vysoká a bude závisieť od zvoleného režimu prevádzky: predohrievanie alebo náhrada kotla. V prípade predohrievania (čo je najčastejší scenár využitia odpadového tepla) môže ÚFP základného systému dosiahnuť až približne 18 %, čo je viac než v prípade extrakčných/kondenzačných KVET systémov. Samozrejme, pri úplnej náhrade kotla technológiou NPOZE dosiahnu úspory 100 %. Použitie ATE (akumulácie tepelnej energie) je vždy potrebné na správne prepojenie tepelných potrieb zariadenia KVET so zdrojom odpadového tepla.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: Priemyselné odpadové teplo

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia

Prevádzková teplota NPOZE: až do 400°C a viac (v závislosti od konkrétneho priemyselného odvetvia). Väčšina aktuálne dostupných teplôt je nižšia ako 205 °C.

Prevádzková teplota imisie: až do 250 °C (predohrev) / 500 °C (náhrada kotla).

Očakávané výsledky: ÚFP (Úspory fosílnych palív) v rozsahu 15-20% (100 %, ak je možná úplná náhrada kotla)

Náklady na inštaláciu: veľmi nízke (potrebné len niektoré úpravy zariadenia a inštalácia niekoľkých výmenníkov tepla).

Silné stránky

- Môže úplne nahradiť používanie fosílnych palív
- Veľmi dobré ukazovatele úspor

Slabé stránky

- Pomerne nízka účinnosť cyklu (vlastná charakteristika existujúcich protitlakových KVET systémov)
- Zvyčajne poskytuje nižšiu teplotu CZT (<100 °C) ako extrakčné KVET systémy

Hlavné odporúčania

- **Odporúčané ako na úplnú, tak aj na čiastočnú náhradu fosílnych palív.**

- **Vyžaduje strednoteplotné až vysokoteplotné zdroje (nie je vhodný na využitie so strednoteplotnými zdrojmi (<130 °C)).**

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 10 (PROTITLAKOVÁ KVET + INTEGRÁCIA NPOZE NA VRATNEJ STRANE CZT)

10	Technické riešenie/Integračná stratégia č. 10. NPOZE na vratnej strane strednotlakových systémov KVET		
	Základná referenčná technológia ☐ Kotel ☒ protitlak - KVET ☐ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☐ Prívod/ 120°C ☒ Vratne/ 60°C ☐ Žiadne	Hlavné využívané NPOZE ☐ Solár ☐ Geotermál ☐ Odpad ☐ Biomasa ☒ Iné	Zlepšujúca technológia ☒ ATE + ☐ TČ-PK ☐ MRP ☐ ABS-TČ ☐ Iná ☒ Žiadna
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT			
Popis celkového systému			
Pôvodná koncepcia zariadenia – protitlaková KVET (zjednodušená)		Nová koncepcia protitlakovej KVET s priamym využitím NPOZE na vratnej strane CZT	
Uvažovaná konfigurácia KVET systému (tradičný spaľovací systém na uhlie, vľavo) je protitlakový systém s jedným turbogenerátorom, ktorý využíva kondenzáciu pary pri relatívne vysokom tlaku na zabezpečenie potreby CZT pri 120 °C. V porovnaní s inými extrakčno-kondenzačnými konfiguráciami pretlakový systém nevypúšťa teplo do okolia, a preto vykazuje celkovú energetickú účinnosť rovnú jednej (všetka energia zo spaľovania je využitá). Na druhej strane však zvyčajne dosahuje nízku až veľmi nízku elektrickú účinnosť, čo je dôsledok vysokej kondenzačnej teploty a nízkej izoentropickej účinnosti turbíny, ktorá je často upravená odstránením posledných radov lopatiek (bez optimalizácie prúdenia pracovného média). Je možné nainštalovať tepelné pole z NPOZE (v zelenom na schéme vpravo) na predohrev vratnej strany CZT. Protitlakový systém je však zo svojej podstaty menej flexibilný ako extrakčno-kondenzačné systémy. Kondenzátor je navrhnutý na dodanie určitého množstva tepla, a ak sa zníži v dôsledku toho, že NPOZE zvýši teplotu vratnej strany v systéme KVET, kondenzátor už nedokáže správne kondenzovať paru a len veľmi malý rozsah regulácie je možný prostredníctvom zmeny prietoku pary z turbíny. Okrem toho nie je možné znížiť množstvo odvedeného tepla v			

kondenzátore, pokiaľ nie je súčasne akceptované zníženie elektrického výkonu závodu, pričom aj v tomto prípade pretrvávajú závažné regulačné problémy.

V dôsledku toho môže NPOZE dodať len veľmi malé množstvo integrovateľného tepla. Ukazovatele úspory paliva sú ovplyvnené len okrajovo.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: akýkoľvek dostupný zdroj s teplotami do 130 °C

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia

Prevádzková teplota NPOZE: až do 130°C

Prevádzková teplota integrácie: do teploty kondenzátora KVET (približne 130 °C).

Očakávané výsledky: ÚFP (úspory fosílnych palív) na úrovni približne 2÷3% (bez alebo s minimálnym znížením výroby elektrickej energie)

Náklady na inštaláciu: závisia od použitého zdroja NPOZE

Náklady na energiu: Náklady na tepelnú energiu z NPOZE systémov sa môžu líšiť v závislosti od viacerých faktorov, vrátane počiatočných investičných nákladov, účinnosti systému, nákladov na údržbu a miestnych zdrojov. Zvyčajne sa tieto náklady vyjadrujú ako priemerné náklady na výrobu tepla (LCOH), čo predstavuje priemerné náklady na výrobu jednej jednotky tepla počas životnosti systému, vyjadrené v eurách za megawatthodinu (€/MWh).

Silné stránky

- žiadne

Slabé stránky

- Veľmi nízky prínos a úspory

Hlavné odporúčania

- Neodporúča sa, pokiaľ nie je akceptované výrazné zníženie výroby elektrickej energie.

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 11 (KVET: PLOCHÝ SOLÁRNY PANEL + PARNÉ TČ-PK NA VRATNEJ STRANE CZT)

11

Technické riešenie/Integračná stratégia č. 11 Strednoteplotný plochý solárny panel
s parným TČ s ATE na vratnej strane CZT k systému KVET

Základná referenčná technológia ☐ Kotel ☒ KVET ☐ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☐ Prívod/ 120°C ☒ Vratne/ 60°C ☐ Žiadne	Hlavné využívané NPOZE ☒ Solár ☐ Geotermál ☐ Odpad ☐ Biomasa ☐ Iné	Zlepšujúca technológia ☒ ATE + ☒ TČ-PK ☒ MRP ☐ ABS-TČ ☐ Iná ☐ Žiadna
--	--	---

Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie –
extrakčná/kondenzačná KVET (zjednodušená)

Nová koncepcia so solárnym poľom + parné TČ

Uvažovaná konfigurácia KVET (tradičný systém na uhlie, naľavo) využíva extrakciu pary z parnej turbíny predtým, než prejde do turbíny s nízkym tlakom, aby podporila požiadavku na teplo v centralizovanom zásobovaní teplom (CZT). Je možné nainštalovať tepelnú oblasť NPOZE, napríklad ploché solárne pole s nízkou teplotou (50 °C), zobrazené zelenou farbou na schéme vpravo, ktoré bude slúžiť na predohrev vratnej strany CZT a pokryje požadovaný podiel tepelných potrieb CZT.

Vzhľadom na nízku teplotu prívodu tohto NPOZE, ktorá je nižšia ako teplota vratnej strany, je implementovaná technológia na vylepšenie tepla vo forme parného tepelného čerpadla, ktoré zvyšuje teplotu vody na rozmedzie 80 °C až 100 °C alebo viac. Týmto spôsobom je časť tepelnej energie pre CZT dodávaná zo solárneho zdroja, časť z kompresorového výkonu a zvyšok z extrakčného kondenzátora KVET. Zníženie tepelného výkonu extrahovaného z KVET vedie k zvýšeniu očakávaného elektrického výkonu, čím sa čiastočne kompenzuje elektrická spotreba kompresora.

Axiálny prúdový parný kompresor používaný v tomto type tepelného čerpadla má typicky účinnosť okolo 0,8, čo vedie k hodnotám COP od 3,5 do 4. Systém na vylepšenie tepla môže tiež zabezpečiť plnú potrebu CZT s významnou úsporou paliva. V tomto prípade sú ÚFP systému vysoké, ale pri zohľadnení len

požiadaviek na vykurovanie je 80 % pokryté zelenými zdrojmi, zvyšok pochádza z kompresora. Vďaka schopnosti vylepšiť teplo parným tepelným čerpadlom môže byť sústava CZT implementovaný aj ako samostatné riešenie bez potreby existujúcej KVET.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: ploché solárne kolektory alebo kolektory s vákuovými trubicami + parné tepelné čerpadlo (uzavretý cyklus MRP) + akumulácia tepelnej energie (ATE)

STP: 10 – Dobré zavedená a dostupná technológia. Vyžaduje presný inžiniersky návrh.

Prevádzková teplota NPOZE: spodný stupeň solárneho poľa až do 60 až 70°C, parné TČ až do 120 až 140°C (COP v rozsahu 4,5 s bežným strojom - exergická účinnosť 0,5). Špecifické výkonnostné parametre musia byť definované v podrobných analýzach.

Prevádzková teplota integrácie: až do 120°C (môže byť využitá v podobe integrácie ekonomizéra KVET, alebo ako samostatné riešenie).

Očakávané výsledky: ÚFP (úspory fosílnych palív) v rozsahu 50 až 60 % (obmedzené vzhľadom na režim prevádzky KVET). Až 75 % v prípade samostatného riešenia.

Náklady na inštaláciu: 1500 ÷ 3000€/kW_t (tepelné výkony dodávané pri vyššej teplote). Tieto náklady zahŕňajú náklady na tepelné pole + parné TČ.

Náklady na energiu: Náklady na tepelnú energiu z tepelných čerpadiel sú v dlhodobom horizonte pomerne nízke, avšak je potrebné pripočítať ďalšie náklady na relatívne vysoké náklady na údržbu kombinovaného systému. Typicky sa náklady na tepelnú energiu merajú v rámci priemerných nákladov na výrobu tepla (LCOH), čo predstavuje priemerné náklady na výrobu jednej jednotky tepla počas životnosti systému, vyjadrené v nákladoch na jednotku energie (napr. eurá za megawatthodinu, €/MWh).

Silné stránky

- Jednoduchá integrácia s existujúcim systémom CZT a možnosť inštalácie ako samostatné riešenie v sieti CZT
- Možnosť zvýšiť tepelný výkon dodávaný užívateľom
- Dobré ukazovatele úspor (najmä pre samostatné riešenie)

Slabé stránky

- Vyžaduje dodatočný elektrický zdroj pre kompresor.
- Musí sa spájať s nízkymi teplotami

Hlavné odporúčania

- **Odporúča sa na použitie pri nízkych teplotách (<60°C).**
- **Odporúča sa aj v prípade, že je potrebné zvýšiť tepelný výkon v CZT.**

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 12 (KVET: PLOCHÝ SOLÁRNY PANEL + ABS-TČ-PK NA VRATNEJ STRANE CZT)

12

Technické riešenie/Integračná stratégia č. 12 Strednoteplotné ploché solárne panely s absorpčným tepelným čerpadlom s ATE na vratnej strane CZT k systému KVET

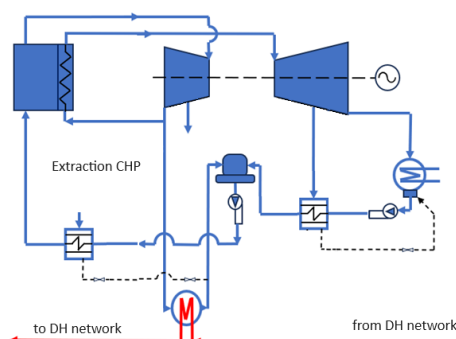
Základná referenčná technológia ☐ Kotel ☒ KVET ☐ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☐ Prívod/ 120°C ☒ Vratne/ 60°C ☐ Žiadne	Hlavné využívané NPOZE ☒ Solár ☐ Geotermál ☐ Odpad ☐ Biomasa ☐ Iné	Zlepšujúca technológia ☒ ATE + ☐ TČ-PK ☐ MRP ☒ ABS-TČ ☐ Iná ☐ Žiadna
--	--	--

Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

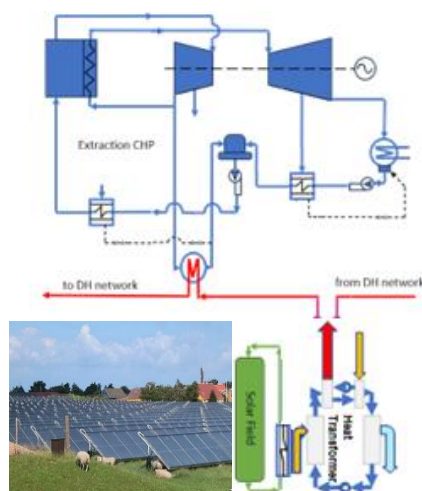
Strana | 68

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – extrakčná/kondenzačná KVET (zjednodušená)



Nová koncepcia so solárnym poľom + parné TČ



Uvažovaná konfigurácia KVET (tradičný systém na uhlie, naľavo) využíva extrakciu pary z parnej turbíny predtým, než prejde do turbíny s nízkym tlakom, na podporu požiadavky na teplo v CZT. Je možné nainštalovať NPOZE tepelnú oblasť, napríklad ploché solárne pole s nízkou teplotou (60 °C), zobrazené zelenou farbou na schéme vpravo, ktoré bude slúžiť na predohrev vratnej strany CZT a pokryje požadovaný podiel tepelných potrieb CZT.

Vzhľadom na nízku teplotu prívodu tohto NPOZE, ktorá je nižšia než teplota vratnej strany, je implementovaná technológia na vylepšenie tepla vo forme tepelného transformátora (absorpčné tepelné čerpadlo), ktorá zvyšuje teplotu vody na rozsah 80 °C až 100 °C. Týmto spôsobom je tepelná energia dodávaná zo solárneho zdroja využitá nielen na vykurovanie siete CZT, ale aj na prevádzku ABS-TČ (v procese desorpcie), bez významnej elektrickej spotreby. Zníženie tepelného výkonu extrahovaného z ekonomizéra KVET vedie k čistému nárastu elektrického výkonu, čím sa zároveň zvyšuje účinnosť KVET a ÚFP.

Nevýhodou je, že je potrebné veľké množstvo tepelnej energie pri 60°C, čo výrazne zvyšuje plochu solárneho poľa. V tomto prípade ÚFP systému presahuje 45 %. Samostatná konfigurácia nie je tak

jednoduchá na implementáciu, pretože maximálna teplota ABS-TČ nemusí byť dostatočná na vysokoteplotné (120°C) CZT.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: ploché solárne pole + absorpčné tepelné čerpadlo (ABS-TČ) + ATE

STP: 9÷10 – Dobre etablovaná a dostupná solárna technológia, avšak s niektorými ťažkosťami pri jej aplikácii v kombinácii s ABS-TČ. Bolo by vhodné zvážiť a podporiť pilotné zariadenia pre ABS-TČ.

Prevádzková teplota NPOZE: spodný stupeň solárneho panela až do 60°C. Horný stupeň tepelného transformátora až do 110°C (exergická účinnosť približne 0,35). Špecifické výkonnostné parametre musia byť definované v podrobných analýzach.

Prevádzková teplota integrácie: až do 110°C, pri strednom tlaku ekonomizéra KVET.

Očakávané výsledky: ÚFP (úspory fosílnych palív) v rozsahu 35÷45% (obmedzené vzhľadom na režim prevádzky KVET).

Náklady na inštaláciu: 2500 ÷ 4000€/kW_t (tepelné výkony dodávané pri vyššej teplote) + (dosť variabilné v závislosti od usporiadania, veľkosti a charakteru solárneho poľa).

Náklady na energiu: Náklady na tepelnú energiu z absorpčných tepelných čerpadiel by mali byť v dlhodobom horizonte pomerne nízke, avšak je potrebné pripočítať ďalšie náklady na pomerne vysoké náklady na údržbu kombinovaného systému a veľké plochy potrebné na solárne pole. Typicky sa náklady na tepelnú energiu merajú v rámci priemerných nákladov na výrobu tepla (LCOH), čo predstavuje priemerné náklady na výrobu jednej jednotky tepla počas životnosti systému, vyjadrené v nákladoch na jednotku energie (napr. eurá za megawatthodinu, €/MWh).

Silné stránky

- Jednoduchá integrácia s existujúcim systémom CZT.
- Možnosť zvýšiť tepelný výkon dodávaný užívateľom.
- Dobré ukazovatele úspor a veľmi nízka spotreba elektrickej energie.

Slabé stránky

- Vyžaduje sa veľké množstvo tepelnej energie pri 60°C (veľká plocha solárnych kolektorov).
- Používanie tepelných transformátorov nie je ešte široko rozšírené.
- Cena je výrazne ovplyvnená nákladmi na solárne kolektory.

Hlavné odporúčania

- **Odporúča sa na použitie s miernymi teplotnými zdrojmi (<60°C).**

- **Odporúča sa, keď je potrebné zvýšiť tepelný výkon CZT**

- **Nie je možné dosiahnuť najvyššie pracovné teploty v sieti VT-CZT**

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 13 (PREDOHREV KOTLA ALEBO NÁHRADA S INTEGRÁCIOU SOLÁRNYCH PARABOLICKÝCH KOLEKTOROV)

13

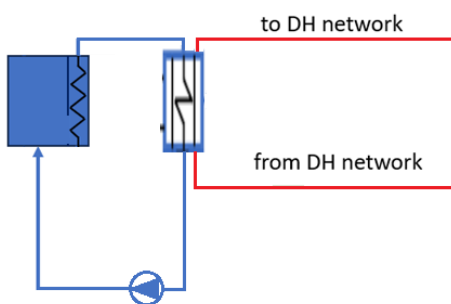
Technické riešenie/Integračná stratégia č. 13 Vysokoteplotné solárne parabolické kolektory umiestnené v rámci kotlového okruhu, spojené s ATE

Základná referenčná technológia ☒ Kotel ☐ KVET ☐ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☐ Prívod/ 120°C ☐ Vrátné/ 60°C ☒ Žiadne (v rámci kotlového systému)	Hlavné využívané NPOZE ☒ Solár ☐ Geotermál ☐ Odpad ☐ Biomasa ☐ Iné	Zlepšujúca technológia ☒ ATE + ☐ TČ-PK ☐ MRP ☐ ABS-TČ ☐ Iná ☐ Žiadna
---	---	--

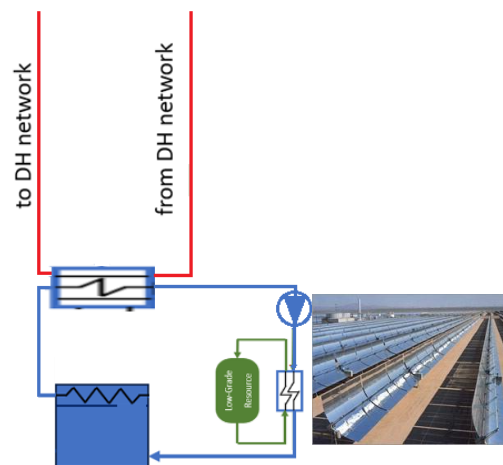
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – jednoduchý kotel (zjednodušená)



Kotel s vysokoteplotným solárnym poľom (parabolické kolektory)



Uvažovaná konfigurácia kotla (tradičný plynový alebo uhlím poháňaný, naľavo) je systém s tlakovanou vodou, ktorý dodáva vodu s teplotou približne 130 °C do hlavného výmenníka tepla (napr. rúrkový výmenník typu plášť-rúrka), zatiaľ čo sekundárny okruh zabezpečuje potrebu tepla z CZT pri teplote približne 110 °C až 120 °C. Na rozdiel od konfigurácií KVET nedochádza k výrobe elektrickej energie, vďaka čomu je vykurovací systém jednoduchší na riadenie. Zároveň sú zapojené teploty a tlaky nižšie.

Je možné inštalovať pole NPOZE (v schéme vpravo zelenou farbou) ako predohrev (ekonomizér), ktorý pokryje požadované % tepelnej potreby CZT. Aby to takto fungovalo, zdroj NPOZE musí byť schopný dodávať teploty v rozsahu 90 °C až 110 °C, napr. typický plochý solárny kolektor. V prípade, že dodávaná teplota dosiahne približne 130 °C, je možné úplne nahradiť kotel. Miera nahradenia fosílny energie tak môže byť veľmi vysoká.

Veľkosť zdroja NPOZE nemôže presiahnuť výkon pôvodného systému – nesmie presýtiť kapacitu výmenníka tepla. Úspory fosílnych palív (ÚFP) pôvodného kotla môžu vzrásť až na 100 % v závislosti od

vyššie uvedeného spôsobu prevádzky: predohrev alebo úplná náhrada kotla. Samozrejme, ak je kotol úplne nahradený (čo nie je ľahko dosiahnuteľné v prípade solárnej energie, ale niektoré riešenia s priemyselným odpadovým teplom by mohli byť možné), úspory aj zníženie emisií dosiahnu 100 %.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: koncentrované parabolické solárne kolektory + vysokoteplotná ATE

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná solárna technológia

Prevádzková teplota NPOZE: do 220÷240°C

Prevádzková teplota integrácie: do 200°C, v závislosti od konfigurácie hlavného výmenníka tepla.

Očakávané výsledky: ÚFP (úspory fosílnych palív) v rozsahu 40÷50% (limitované veľkosťou ATE a potrebami integrácie s kotlom).

Náklady na inštaláciu: 2000 ÷ 4000€/kW_t (dodaná tepelná energia pri vyššej teplote) + (výrazne variabilné v závislosti od rozloženia, veľkosti a typu solárneho poľa). Je potrebné pripočítať aj vedľajšie náklady (rozvody, výmenníky tepla atď.).

Náklady na energiu: Náklady na tepelnú energiu zo solárnych systémov s parabolickými zrkadlami sa môžu líšiť v závislosti od viacerých faktorov, ako sú počiatkové investičné náklady, účinnosť systému, náklady na údržbu a miestne solárne podmienky. Typicky sa udávajú ako priemerné náklady na výrobu jednej jednotky tepla počas životnosti systému (LCOH), vyjadrené v eurách na megawatthodinu (€/MWh).

Strana | 71

Silné stránky

- Jednoduchá integrácia s existujúcim CZT zariadením
- Môže nahradiť viac než 50 % spotreby fosílnych palív
- Veľmi dobré ukazovatele úspor

Slabé stránky

- Má úzke rozpätie prevádzkových teplôt
- Integrácia ATE a kotla (aspoň menšieho) je kľúčová
- Je potrebná kvalitná údržba

Hlavné odporúčania

- **Odporúčané najmä na čiastočnú náhradu fosílnych palív..**
- **Vyžaduje zdroje so strednou teplotou (nie je vhodné na využitie so zdrojmi s miernou teplotou (<80 °C)).**

14

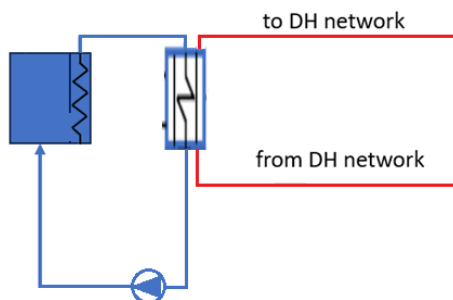
Technické riešenie/Integračná stratégia č. 14 Predohrev kotla alebo jeho náhrada spaľovaním biomasy

Základná referenčná technológia ☒ Kotel ☐ KVET ☐ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☐ Prívod/ 120°C ☐ Vrátné/ 60°C ☒ Žiadne (v rámci kotlového systému)	Hlavné využívané NPOZE ☐ Solár ☐ Geotermál ☐ Odpad ☒ Biomasa ☐ Iné	Zlepšujúca technológia ☐ ATE + ☐ TČ-PK ☐ MRP ☐ ABS-TČ ☐ Iná ☒ Žiadna
---	---	--

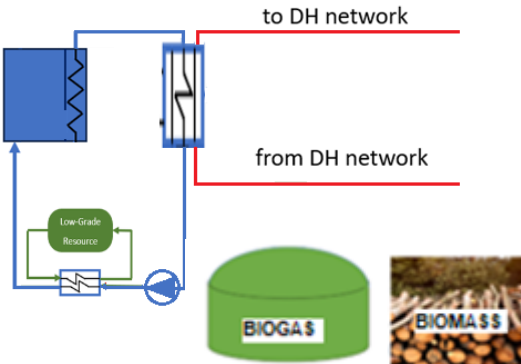
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Konceptia existujúcej inštalácie – jednoduchý kotel (zjednodušená)



Integrácia kotla alebo jeho náhrada biomasou alebo bioplynom



Uvažovaná konfigurácia kotla (tradičný kotel spaľujúci plyn alebo uhlie, vľavo) je systém, ktorý zabezpečuje ohrev vody na približne 130 °C v hlavnom výmenníku tepla pre CZT (napr. rúrkový výmenník typu plášť a rúrka), pričom sekundárny okruh zabezpečuje dodávku tepla pre CZT na úrovni približne 110 °C až 120 °C.

Tradičná konfigurácia využívajúca fosílna palivá je doplnená alebo úplne nahradená systémom na báze zeleného paliva. Uhoľné, ropné a zemné palivá sú nahradené bioplynom alebo biomasou. Hlavnou výhodou je eliminácia neobnoviteľných zdrojov a dosiahnutie nulových čistých emisií CO₂. Keďže proces spaľovania je podobný a produkuje porovnateľné množstvo CO₂, musí byť biopalivo vyrobené v ekosystéme, ktorý zabezpečí odstránenie rovnakého množstva CO₂ z atmosféry, ako sa uvoľní pri spaľovaní.

Napríklad spaľovanie dreva nie je udržateľné, ak drevo pochádza z existujúceho lesa – les musí byť vysadený a obhospodarován spôsobom, ktorý zabezpečí dodatočné odstraňovanie CO₂ v porovnaní so scenárom „bez zásahu“. V praxi to znamená zdvojnásobiť plochu lesa: jednu polovicu na ťažbu a spaľovanie, druhú na sekvestráciu CO₂. Ak sú tieto podmienky splnené, daný systém dosahuje 100 %

zníženie emisií CO₂ v porovnaní s pôvodným zariadením, pričom sú potrebné len minimálne alebo žiadne úpravy existujúcej technológie.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: horák na biomasu alebo bioplyn

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia spaľovania

Prevádzková teplota: v zásade pomerne vysoká, do 220÷240° je postačujúca.

Prevádzková teplota integrácie: do 200°C, v závislosti od konfigurácie kotla a hlavného výmenníka tepla.

Očakávané výsledky: ÚFP až do 100 % (s nulovými čistými emisiami, ak sú splnené uvedené podmienky).

Náklady na inštaláciu: 50 ÷ 100€/kW_t (dodávaný tepelný výkon pri vyššej teplote)

Náklady na energiu: Náklady na teplo z horákov na bioplyn a biomasu sú veľmi nízke, hoci vyššie ako pri oleji. Náklady na teplo sa zvyčajne vyjadrujú ako priemerné náklady na výrobu tepla (LCOH), čo predstavuje priemernú cenu za vyrobenú jednotku tepla počas celej životnosti systému, vrátane investičných a finančných nákladov, vyjadrenú napríklad v €/MWh.

Silné stránky

- Jednoduchá integrácia s existujúcim CZT.
- Môže úplne nahradiť používanie fosílnych palív.
- Veľmi dobré ukazovatele úspor a veľmi nízke náklady na inštaláciu.

Slabé stránky

- Biopalivo je drahšie ako fosílné palivo.
- Biomasa si vyžaduje rozsiahle plochy.

Hlavné odporúčania

- **Odporúčané pri správnej aplikácii**

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 15 (PREDOHREV KOTLA ALEBO JEHO NÁHRADA
INTEGRÁCIU PRIEMYSELNÉHO ODPADOVÉHO TEPLA)

15

Technické riešenie/Integračná stratégia č. 15. Predohrev kotla alebo jeho náhrada odpadovým teplom z priemyselnej výroby

Základná referenčná technológia

- ☒ Kotel ☐ KVET ☐ Nové
Bod integrácie/ Teploty CZT
☐ Prívod/ 120°C ☐ Vrátno/ 60°C
☒ Žiadne (v rámci kotlového systému)

Hlavné využívané NPOZE

- ☐ Solár ☐ Geotermál
☒ Odpad ☐ Biomasa
☐ Iné

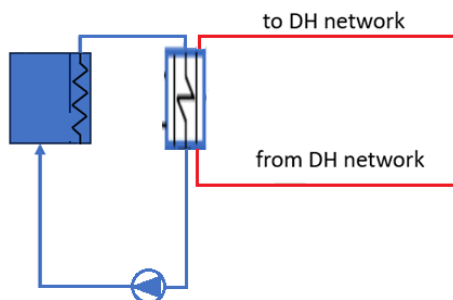
Zlepšujúca technológia

- ☐ ATE + ☐ TČ-PK
☐ MRP ☐ ABS-TČ
☐ Iná ☒ Žiadna

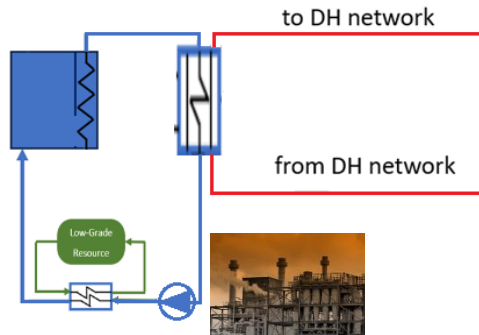
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – jednoduchý kotel (zjednodušená)



Integrácia kotla s odpadovým teplom z priemyslu so stredne vysokou teplotou



Uvažovaná konfigurácia kotla (tradičný kotel spaľujúci plyn alebo uhlie, vľavo) je systém s tlakovou vodou, ktorý zabezpečuje ohrev vody na približne 130 °C v hlavnom výmenníku tepla (napr. rúrkový výmenník typu plášť a rúrka), pričom sekundárny okruh zabezpečuje dodávku tepla pre CZT na úrovni približne 110 °C až 120 °C.

Je možné inštalovať zdroj tepla z NPOZE, znázornený zelenou farbou v schéme vpravo, ako predohrev (ekonomizér), pokrývajúci požadované % tepelných potrieb kotla. Na to, aby systém fungoval týmto spôsobom, musí byť zdroj NPOZE schopný dodávať teploty v rozmedzí 90 °C až 110 °C, čo je typické pre stredne až vysokoteplotné priemyselné odpadové teplo (napr. spaliny z motorov a turbín, teplo zo sušiacich pecí, chemických reaktorov a kondenzát strednotlakovej pary). Zdroj však môže úplne nahradiť kotel, ak dokáže zabezpečiť teplotu približne 130 °C a priemyselný podnik má dostatočný výkon. Miera náhrady fosílnnej energie tak môže byť veľmi vysoká.

Veľkosť zdroja NPOZE nesmie presiahnuť kapacitu pôvodného systému – nemôže dôjsť k presýteniu výmenníka tepla. Úspory fosílnych palív pôvodného kotla môžu rásť až na 100 % v závislosti od režimu prevádzky: predohrev alebo úplná náhrada kotla. Samozrejme, ak dôjde k úplnej náhrade kotla (čo je menej pravdepodobné v prípade prerušovaného zdroja energie, no pri určitých priemyselných odpadových zdrojoch je to možné), úspory fosílnych palív aj zníženie emisií dosiahnu

100 %.	
Hlavné parametre	
Technológia NPOZE: odpadové teplo, priemyselné odpadové teplo STP: 10 – Jednoduchá a dobre zavedená, dostupná technológia Prevádzková teplota NPOZE: až do 220÷240°C (v závislosti od zdroja odpadu) Prevádzková teplota integrácie: až do 200°C, v závislosti od konfigurácie hlavného výmenníka tepla. Očakávané výsledky: ÚFP až do 100 %, v rámci limitov dostupného tepelného výkonu z prepojeného zdroja odpadového tepla. Náklady na inštaláciu: 500 ÷ 1500€/kW _t (dodávaný tepelný výkon pri vyššej teplote); náklady závisia najmä od vzdialenosti medzi zdrojom a miestom využitia. Náklady na energiu: Náklady na tepelnú energiu sa typicky vyjadrujú ako priemerné náklady na výrobu tepla počas celej životnosti systému (LCOH), udávané v €/MWh. Zahŕňajú aj náklady na inštaláciu a financovanie.	
Silné stránky	Slabé stránky
- Jednoduchá integrácia s existujúcim CZT zariadením - Potenciálne môže nahradiť používanie fosílnych palív až do 100 % - Veľmi dobré ukazovatele úspor	- Potrebné priemyselné dohody - Ťažko dostupné zdroje odpadového tepla s vysokým výkonom a vysokou teplotou - Vzdialenosť medzi CZT sieťou a zdrojom odpadového tepla
Hlavné odporúčania	
- Odporúčané na čiastočnú aj úplnú náhradu fosílnych palív. - Vyžaduje zdroje odpadového tepla so strednou teplotou (nevhodné na využitie so zdrojmi s miernou teplotou (<90 °C)).	

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 16 (INTEGRÁCIA KOTLA ALEBO JEHO NÁHRADA PLOCHÝMI SLNEČNÝMI KOLEKTORMI S TEPELNÝM ČERPADLOM S PARNOU KOMPRESIOU)

16

Technické riešenie/Integračná stratégia č. 16 Predohrev kotla alebo jeho náhrada plochými slnečnými kolektormi + parné TČ (MRP) + ATE

Základná referenčná technológia

- ☒ Kotel ☐ KVET ☐ Nové
Bod integrácie/ Teploty CZT
☐ Prívod/ 120°C ☒ Vratne/ 60°C
☐ Žiadne

Hlavné využívané NPOZE

- ☒ Solár ☐ Geotermál
☐ Odpad ☐ Biomasa
☐ Iné

Zlepšujúca technológia

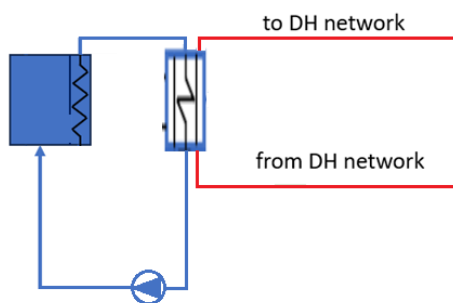
- ☒ ATE + ☐ TČ-PK
☒ MRP ☐ ABS-TČ
☐ Iná ☐ Žiadna

Strana | 76

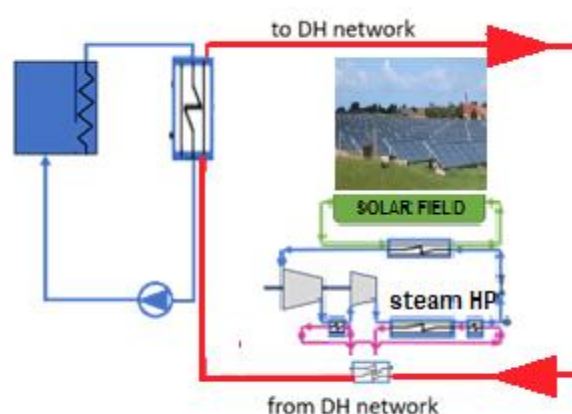
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – jednoduchý kotel (zjednodušená)



Integrácia kotla so solárnym poľom so stredne nízkou teplotou + parné TČ + ATE



Uvažovaná konfigurácia kotla (tradičný kotel na plyn alebo uhlie, vľavo) je systém s tlakovou vodou, ktorý zabezpečuje ohrev vody na približne 130 °C v hlavnom výmenníku tepla (napr. rúrový výmenník typu plášť-rúrka), zatiaľ čo sekundárny okruh zabezpečuje dodávku tepla pre CZT pri teplote približne 110 °C až 120 °C.

Je možné nainštalovať tepelný zdroj z NPOZE, znázornený zelenou farbou v schéme vpravo, na predohrev vratnej vetvy CZT. Ak sa použije najjednoduchšie riešenie, teda ploché solárne kolektory, bude tepelná integrácia veľmi nízka, a preto je potrebná vhodná technológia zvýšenia teploty. V tomto prípade ide o parnú tepelnú čerpadlo s kompresiou pary (maximálna prevádzková teplota približne 150 °C). ATE je nevyhnutná.

ÚFP základného systému možno zvýšiť až na 100 %. Podiel dodávky tepla z kotla sa úmerne znižuje so zvyšujúcim sa výkonom zdroja NPOZE. V extrémnom prípade môže byť kotel úplne odstavený. Alternatívne môžu oba systémy prispievať k celkovému výkonu a v prípade potreby zvýšiť celkovú kapacitu CZT.

Toto riešenie je možné uplatniť aj lokálne, v decentralizovaných odovzdávacích staniciach.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: ploché solárne kolektory alebo vákuové trubicové kolektory + parné tepelné čerpadlo (uzavretý okruh MRP) + akumulácia tepelnej energie (ATE)

STP: 10 – Dobré zavedená a dostupná technológia. Vyžaduje presné technické riešenie.

Prevádzková teplota NPOZE: dolné rozhranie solárneho poľa do 60–70 °C, parné tepelné čerpadlo do 120–140 °C (COP približne 4,5 pri štandardnom stroji – pri predpokladanej exergickej účinnosti 0,5). Konkrétne výkonnostné parametre je potrebné určiť v detailných analýzach.

Prevádzková teplota integrácie: do 120 °C (možno použiť ako integráciu ku horáku, alebo ako samostatné riešenie s malou podporou horáka).

Očakávané výsledky: ÚFP (úspory fosílnych palív) na úrovni približne 45–50 % (obmedzené prevádzkovým režimom CZT). Až 100 % v samostatnom riešení.

Náklady na inštaláciu: 1500 ÷ 3000€/kW_t (dodaná tepelná energia pri vyššej teplote). Tento údaj zahŕňa náklady na tepelné pole + parné TČ.

Náklady na energiu: Náklady na tepelnú energiu z tepelných čerpadiel sú z dlhodobého hľadiska pomerne nízke, no je potrebné pripočítať dodatočné náklady súvisiace s relatívne vysokými nákladmi na údržbu kombinovaného systému. Náklady na tepelnú energiu sa typicky vyjadrujú ako priemerné náklady na výrobu jednej jednotky tepla počas celej životnosti systému (LCOH), vyjadrené ako cena za jednotku energie (napr. eurá za megawatthodinu, €/MWh).

Silné stránky

- Jednoduchá integrácia s existujúcim CZT
- Potenciálne môže nahradiť používanie fosílnych palív až do 100 %
- Veľmi dobré ukazovatele úspor

Slabé stránky

- Vyžaduje presný inžiniersky návrh
- Nie je vhodné na dodatočnú inštaláciu systému KVET

Hlavné odporúčania

- **Odporúčané na čiastočnú aj úplnú náhradu fosílnych palív.**
- **Odporúčané v prípade potreby zvýšenia tepelného výkonu CZT**

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 17 (INTEGRÁCIA ALEBO NÁHRADA KOTLA SO SLNEČNÝMI KOLEKTORMI (PARABOLICKÉ ŽĽABY S VYSOKOTEPLNOTNOU ATE))

17

Technické riešenie/Integračná stratégia č. 17 Predohrev kotla alebo jeho náhrada slnečnými kolektormi (parabolické žľaby) s vysokoteplotnou ATE

Základná referenčná technológia

- ☒ Kotel ☐ KVET ☐ Nové
Bod integrácie/ Teploty CZT
☐ Prívod/ 120°C ☒ Vratne/ 60°C
☐ Žiadne

Hlavné využívané NPOZE

- ☒ Solár ☐ Geotermál
☐ Odpad ☐ Biomasa
☐ Iné

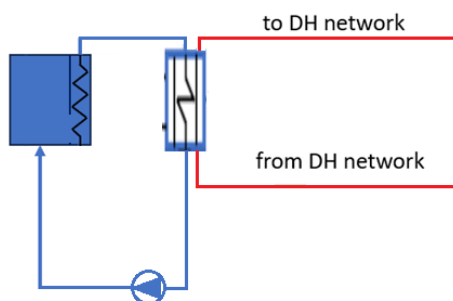
Zlepšujúca technológia

- ☒ ATE + ☐ TČ-PK
☐ MRP ☐ ABS-TČ
☐ Iná ☒ Žiadna

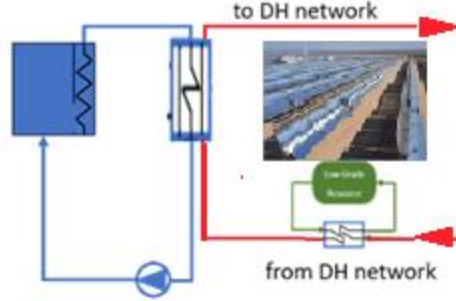
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☒ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – jednoduchý kotol (zjednodušená)



Integrácia kotla so solárnym poľom s parabolickými žľabmi a vysokoteplotnou ATE



Uvažovaná konfigurácia kotla (tradičný kotol na plyn alebo na uhlie) na ľavej strane je tlakový vodný systém, ktorý dodáva vodu s teplotou približne 130 °C do hlavného výmenníka tepla (napr. rúrkový výmenník typu plášť-rúra), pričom sekundárny okruh zabezpečuje potreby CZT v rozsahu približne 110 °C až 120 °C.

Je možné nainštalovať pole NPOZE (vyznačené zelenou na schéme vpravo) na predohrev vratného potrubia CZT. Ak sa ako riešenie použije parabolické žľabové slnečné pole, tepelná integrácia môže byť veľmi vysoká, za predpokladu inštalácie vysokoteplotnej akumulácie tepelnej energie (ATE).

ÚFP (úspory fosílnych palív) základného systému môžu vzrásť až na 100 %. Príspevok kotla sa úmerne znižuje s rastúcim výkonom NPOZE, pričom kotol môže byť v krajnom prípade úplne vypnutý a slúžiť iba ako malý doplnkový zdroj tepla. Solárne systémy môžu zároveň prispievať k celkovému výkonu a v prípade potreby umožniť aj navýšenie kapacity sústavy CZT.

Toto riešenie je možné realizovať aj lokálne, v decentralizovaných odovzdávacích staniciach.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: parabolické žľabové solárne kolektory + akumulácia tepelnej energie (ATE)

STP: 10 – Dobré zavedená a dostupná technológia. Vyžaduje presné technické navrhnutie.

Prevádzková teplota NPOZE: až do 180-240°C. Špecifické výkonnostné parametre je potrebné

stanoviť v rámci podrobnej analýzy.

Prevádzková teplota integrácie: až do 240°C (možno využiť vo forme doplnku ku horáku, alebo ako samostatné riešenie s malou podporou horáka).

Očakávané výsledky: ÚFP typicky v rozsahu 45÷55% pri samostatnom riešení s malou podporou horáka.

Náklady na inštaláciu: 3500 ÷ 6000 €/kW_{t,špička} (referenčné špičkové slnečné žiarenie 1000W/m²)

Náklady na energiu: Náklady na tepelnú energiu zo solárnych systémov s parabolickými žľabmi sa môžu líšiť v závislosti od viacerých faktorov, vrátane počiatočných investičných nákladov, účinnosti systému, nákladov na údržbu a miestneho slnečného potenciálu. Typicky sa vyjadrujú ako priemerné náklady na výrobu jednotky tepla počas životnosti systému (LCOH), t. j. v eurách za megawatthodinu (€/MWh).

Silné stránky	Slabé stránky
- Jednoduchá integrácia s existujúcim CZT - Potenciálne môže nahradiť používanie fosílnych palív až do 80 % - Veľmi dobré ukazovatele úspor	- Vyžaduje presný inžiniersky návrh - Integrácia ATE a kotla (aspoň menšieho) je kľúčová - Je potrebná rozsiahla údržba
Hlavné odporúčania	
- Odporúčané ako pri čiastočnej, tak aj pri úplnej náhrade fosílnych palív. - Odporúčané aj v prípadoch, keď je požadované zvýšenie tepelného výkonu CZT.	

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 18 (KOTOL: ZEMNÉ TČ + ABS-TČ NA VRATNEJ STRANE CZT))

18

Technické riešenie/Integračná stratégia č. 18 Integrácia kotla so zemným TČ + ABS-TČ na vratnej strane CZT

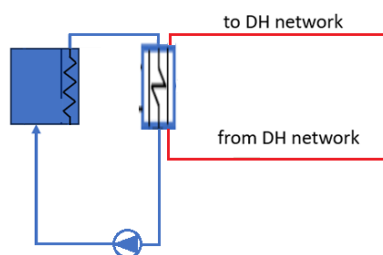
Základná referenčná technológia ☒ Kotel ☐ KVET ☐ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☐ Prívod/ 120°C ☒ Vratne/ 60°C ☐ Žiadne	Hlavné využívané NPOZE ☐ Solár ☒ Geotermál ☐ Odpad ☐ Biomasa ☐ Iné	Zlepšujúca technológia ☐ ATE + ☒ TČ-PK ☐ MRP ☒ ABS-TČ ☐ Iná ☐ Žiadna
--	--	--

Strana | 80

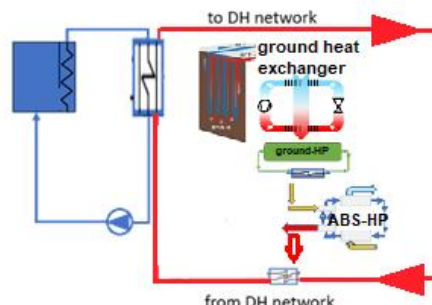
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☒ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – jednoduchý kotel (zjednodušená)



Integrácia kotla so zemným TČ + ABS-TČ



Uvažovaná konfigurácia kotla (tradičný kotel na plyn alebo uhlie, naľavo) je systém, ktorý dodáva vodu s teplotou približne 130 °C do hlavného výmenníka tepla (napr. rúrkový výmenník s plášťom a rúrkami), zatiaľ čo sekundárny okruh zabezpečuje požiadavky CZT na teplo pri teplote približne 110 °C až 120 °C.

Je možné nainštalovať tepelné pole NPOZE, znázornené v schéme napravo zelenou farbou, na predohrev vratnej strany CZT. Ak sa ako zdroj použije tepelné čerpadlo s geotermálnym poľom (maximálna teplota približne 70 °C), samotná tepelná integrácia by bola veľmi nízka kvôli prevádzkovým teplotám čerpadla. Preto je potrebná vhodná technológia zvýšenia teploty – v tomto prípade absorpčný teplotný transformátor s maximálnou výstupnou teplotou približne 100–110 °C. ATE nie je nevyhnutná, ale môže napomôcť riadeniu systému. Týmto spôsobom sa tepelná energia zo zdroja NPOZE využíva nielen na ohrev siete CZT, ale aj na pohon ABS-TČ (najmä v procese desorpcie), a to bez výraznejšej elektrickej spotreby. Zníženie tepelného výkonu z kotla vedie k veľmi dobrým celkovým ÚFP. Nevýhodou je, že na prevádzku ABS-TČ je potrebné veľké množstvo tepla na úrovni 60 °C, čo výrazne zväčšuje plochu požadovaného solárneho poľa. Samostatná prevádzka bez kotla nie je ľahko realizovateľná, pretože výstupná teplota z ABS-TČ nemusí byť dostatočná pre vysokoteplotnú CZT (120 °C).

ÚFP pôvodného systému môžu dosiahnuť až 100 %, pričom príspevok kotla sa úmerne znižuje so zvyšovaním výkonu zo zdrojov NPOZE. Zariadenia môžu tiež prispieť k celkovému zvýšeniu výkonu a

kapacity CZT v prípade potreby.

Toto riešenie je uplatniteľné aj lokálne – v decentralizovaných odovzdávacích staniciach.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: zemné tepelné čerpadlo (zemné TČ-PK) + absorpčné tepelné čerpadlo (ABS-TČ)

STP: 9÷10 – Dobré zavedená a dostupná technológia, no jej aplikácia v aktuálnych modernizačných riešeniach môže byť náročnejšia. Pilotné projekty s ABS-TČ by boli prínosné a vítané.

Prevádzková teplota NPOZE: Výstupné teplo zo zemného TČ-PK až do 70°C (COP približne 3,8 pri exergetickej účinnosti cca 0,5). Výstupná teplota z teplotného transformátora až do 110°C (exergetická účinnosť približne 0,35). Konkrétne parametre výkonnosti je potrebné definovať v podrobnej analýze.

Prevádzková teplota integrácie: až do 110°C, čím sa znižuje potrebné teplotné zdvíhanie v kotle.

Očakávané výsledky: ÚFP na úrovni až 45%÷50%.

Náklady na inštaláciu: 500 ÷ 900€/kW_t (tepelný výkon dodaný pri hornej teplote) + zemný výmenník tepla (výrazne variabilný v závislosti od usporiadania, veľkosti a typu pôdy).

Náklady na energiu: Náklady na tepelnú energiu zo zemného tepelného čerpadla sú z dlhodobého hľadiska pomerne nízke. Avšak je potrebné pripočítať dodatočné náklady na údržbu kombinovaného systému. Náklady na tepelnú energiu sa typicky vyjadrujú ako priemerné náklady na výrobu tepla (LCOH), čo je priemerná cena za jednotku vyrobenej tepelnej energie počas životnosti systému, vyjadrená napríklad v €/MWh, vrátane investičných a inštalačných nákladov.

Silné stránky

- Jednoduchá integrácia s existujúcim CZT
- Potenciálne môže nahradiť používanie fosílnych palív až do 85 %
- Veľmi dobré ukazovatele úspor

Slabé stránky

- Vyžaduje presný inžiniersky návrh
- Používanie tepelných transformátorov nie je zatiaľ rozšírené
- Cena je výrazne ovplyvnená konfiguráciou zemného výmenníka tepla

Hlavné odporúčania

- Primerane odporúčané na čiastočnú náhradu fosílnych palív.

- Odporúčané v prípade potreby zvýšenia tepelného výkonu CZT

- Na prevádzku ABS-TČ je potrebný veľmi vysoký inštalovaný tepelný výkon zemného TČ

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 19 (INTEGRÁCIA KOTLA ALEBO JEHO NÁHRADA
NÍZKOTEPLNOTNÝM ODPADOVÝM TEPLOM + TEPELNÉ ČERPADLO S PARNOU KOMPRESIOU))

19

**Technické riešenie/Integračná stratégia č. 19. Predohrev kotla alebo jeho náhrada
odpadovým teplom so strednou/nízkou teplotou + parné TČ (MRP) + ATE
(voliteľné)**

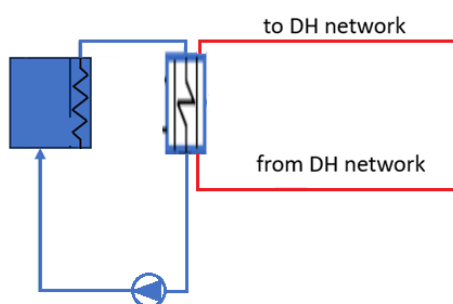
Strana | 82

Základná referenčná technológia ☒ Kotel ☐ Kvet ☐ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☐ Prívod/ 120°C ☒ Vrátnie/ 60°C ☐ Žiadne	Hlavné využívané NPOZE ☐ Solár ☐ Geotermál ☒ Odpad ☐ Biomasa ☐ Iné	Zlepšujúca technológia ☐ ATE + ☒ TČ-PK ☒ MRP ☐ ABS-TČ ☐ Iná ☐ Žiadna
--	--	--

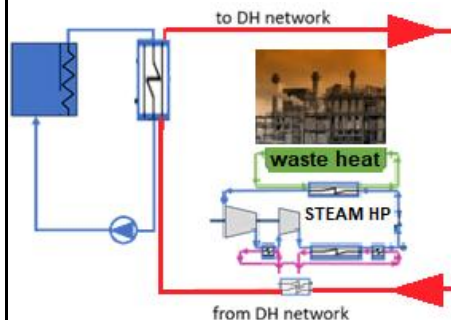
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☒ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – jednoduchý kotel (zjednodušená)



Integrácia kotla so solárnym poľom so strednou/nízkou teplotou + parné TČ + ATE



Zvažovaná konfigurácia kotla (tradičný kotel na plyn alebo uhlie, vľavo) je systém tlakovej vody, ktorý zabezpečuje ohrev vody na približne 130 °C v hlavnom výmenníku tepla (napr. rúrkový výmenník typu plášť-špirála (shell&coil tubular heat exchanger)), zatiaľ čo sekundárny okruh zabezpečuje dodávku tepla do CZT siete pri teplote približne 110–120 °C.

Je možné inštalovať tepelné pole NPOZE (zelenou farbou v schéme vpravo) na predohrev spiatocky CZT siete. Aby to bolo možné, zdroje NPOZE musia poskytovať teploty v rozsahu 90–110 °C, čo je typické pre priemyselné odpadové teplo so stredne vysokou teplotou (napr. spaliny z motorov a turbín, teplo z sušární, chemických reaktorov a kondenzátu zo strednotlakovej pary). Takéto teplo však nemôže úplne nahradiť kotel, ak nedosiahne teplotu približne 130 °C. Zároveň musí byť výkon priemyselného zdroja dostatočný. Ak je zdrojom odpadové teplo s nízkou až strednou teplotou, tepelná integrácia bude veľmi nízka, a preto je potrebná vhodná technológia na zvýšenie teploty. V tomto prípade ide o parné tepelné čerpadlo so stlačovaním pary (s maximálnou prevádzkovou teplotou do približne 150 °C). ATE je voliteľná a jej využitie závisí od toho, či ide o kontinuálny alebo prerušovaný režim dodávky odpadového tepla.

ÚFP môže dosiahnuť až 100 %, rovnako ako úspory paliva – príspevok kotla sa úmerne znižuje so zvyšujúcim sa výkonom systému NPOZE. V maximálnom prípade je možné kotel úplne odstaviť. Alternatívne môžu tieto systémy prispievať k celkovému výkonu a v prípade potreby zvýšiť celkovú kapacitu CZT.

Toto riešenie je možné aplikovať aj lokálne – v decentralizovaných odovzdávacích staniciach v blízkosti zdroja odpadového tepla.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: zdroje odpadového tepla + parné tepelné čerpadlo (uzavretý okruh MRP) + akumulácia tepelnej energie (ATE)

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia. Vyžaduje presný inžiniersky návrh.

Prevádzková teplota NPOZE: zdroj odpadového tepla v rozsahu 60–90 °C, parné tepelné čerpadlo do 120–140 °C (COP približne 4,5 pri štandardnom zariadení – za predpokladu exergetickej účinnosti 0,5). Konkrétne prevádzkové parametre je potrebné stanoviť v rámci podrobnej analýzy.

Prevádzková teplota integrácie: do 120 °C (možno použiť ako integráciu k horáku alebo ako samostatné riešenie s doplnkovým malým horákom). Kľúčovými parametrami pre uplatnenie riešenia sú teplota a výkon zdroja odpadového tepla.

Očakávané výsledky: ÚFP zvyčajne okolo 50 %, pričom je potrebné zohľadniť spotrebu elektrickej energie parného tepelného čerpadla (MRP). Pri prerušovaných zdrojoch odpadového tepla sa očakávajú nižšie hodnoty ÚFP.

Náklady na inštaláciu: 500 ÷ 1500€/kW_t (dodávaný tepelný výkon pri vyššej teplote). Táto suma zahŕňa náklady na parné TČ a rozvody na prepojenie s prevádzkou zdroja odpadového tepla.

Náklady na energiu: Náklady na teplo z tepelných čerpadiel sú z dlhodobého hľadiska pomerne nízke, no treba pripočítať dodatočné náklady na údržbu kombinovaného systému. Náklady na teplo sa zvyčajne vyjadrujú ako priemerné náklady na výrobu tepla (LCOH), teda ako priemerné náklady na výrobu jednej jednotky tepla počas celej životnosti systému, vrátane investičných a finančných nákladov, vyjadrené napríklad v €/MWh.

Silné stránky

- Jednoduchá integrácia s existujúcim CZT
- Potenciálne môže nahradiť používanie fosílnych palív až do 100 %
- Veľmi dobré ukazovatele úspor

Slabé stránky

- Vyžaduje presný inžiniersky návrh
- Ťažko dostupné zdroje odpadového tepla s vysokým výkonom a vysokou teplotou
- Vzdialenosť medzi CZT sieťou a zdrojom odpadového tepla

Hlavné odporúčania

- **Odporúčané na čiastočnú aj úplnú náhradu fosílnych palív.**

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 20 (NÁHRADA KOTLA NPOZE SO STREDNOU TEPLOTOU A VODNOPARNÝM TČ)

20	Technické riešenie/Integračná stratégia č. 20 Predohrev kotla alebo jeho náhrada NPOZE so strednou teplotou + parné tepelné TČ (MRP) + ATE		
	Základná referenčná technológia ☒ Kotel ☐ KVET ☒ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☐ Prívod/ 120°C ☒ Vratne/ 60°C ☐ Žiadne	Hlavné využívané NPOZE ☒ Solár ☐ Geotermál ☐ Odpad ☐ Biomasa ☐ Iné	Zlepšujúca technológia ☒ ATE + ☐ TČ-PK ☒ MRP ☐ ABS-TČ ☐ Iná ☐ Žiadna
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT			
Popis celkového systému			
Koncepcia existujúcej inštalácie – kotol na fosílné palivá určený na vyradenie (zjednodušená)		Integrácia kotla s NPOZE so strednou teplotou + parné TČ + ATE	
Tento technický list zhrňuje možnosti nahradenia tradičných horákov úplným využitím NPOZE so strednou teplotou (nie nižšou ako 50÷60°C). Zvažovaná tradičná konfigurácia spaľovania uhlia je v plnej miere nahradená NPOZE. Je možné inštalovať nízko-teplotný tepelný zdroj – napríklad solárne pole s teplotou 50–60 °C (znázornené zelenou farbou v schéme vpravo) – na ohrev vratnej strany siete CZT, a tak pokryť požadované percento tepelnej potreby CZT. Keďže teplota zo zdroja NPOZE je nižšia ako teplota spiatočky, je na zvýšenie teploty vody až do rozsahu 110–120 °C potrebného pre napájanie CZT siete implementovaná technológia na zvýšenie teploty – parné tepelné čerpadlo. Takto sa časť tepelného výkonu CZT zabezpečuje zo solárneho zdroja a zvyšok pomocou výkonu kompresora. Zvýšenie teploty vstupnej vody pomocou zdroja NPOZE zabezpečuje dobrú účinnosť a prevádzku systému MRP. Axiálne parné kompresory používané v tomto type tepelných čerpadiel majú typicky účinnosť okolo 0,8, čo vedie k hodnotám COP v rozmedzí 3,5 až 4. Táto koncepcia dokáže plne pokryť potreby CZT systému s významnou úsporou fosílnych palív – v rozsahu približne 70–100 % v závislosti od konkrétnej implementácie (spotreba elektrickej energie cyklu tepelného čerpadla musí byť starostlivo zohľadnená). Systém je možné prevádzkovať aj s inými nízko-teplotnými zdrojmi, ako napríklad prerušované odpadové teplo z obchodných centier. Toto riešenie je možné aplikovať aj lokálne – v decentralizovaných odovzdávacích staniciach			

fungujúcich ako samostatné CZT podsiete.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: NPOZE so strednou teplotou + parné tepelné čerpadlo (uzavretý okruh MRP) + akumulácia tepelnej energie (ATE)

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia. Vyžaduje presný inžiniersky návrh.

Prevádzková teplota NPOZE: minimálne 50÷60°C, parné TČ do 120-140°C (COP približne 4,5 pri štandardnom zariadení, za predpokladu exergetickej účinnosti 0,5). Konkrétne parametre výkonu je potrebné stanoviť v rámci podrobnej analýzy.

Prevádzková teplota zvyšovania teploty: do 140°C. Použitie ATE je nevyhnutné..

Očakávané výsledky: ÚFP približne 80 % v porovnaní s tradičným kotlom, až do 100 % v prípade úplného nahradenia kotla.

Náklady na inštaláciu: 1500 ÷ 3000€/kW_t (dodávaný tepelný výkon pri vyššej teplote). Táto suma zahŕňa náklady na NPOZE, parné TČ a ATE

Náklady na energiu: Náklady na teplo z tepelných čerpadiel sú z dlhodobého hľadiska pomerne nízke, avšak je potrebné zohľadniť vyššie náklady na údržbu kombinovaného systému a cenu veľkokapacitného vysokoteplotného zásobníka tepla. Náklady na teplo sa zvyčajne vyjadrujú ako priemerné náklady na výrobu tepla (LCOH), teda ako priemerné náklady na výrobu jednej jednotky tepla počas celej životnosti systému, vrátane investičných a kapitálových nákladov, vyjadrené napríklad v €/MWh.

Silné stránky

- Jednoduchá integrácia s existujúcim CZT
- Potenciálne môže nahradiť používanie fosílnych palív až do 80 %
- Veľmi dobré ukazovatele úspor

Slabé stránky

- Vyžaduje presný inžiniersky návrh
- Vyžaduje elektrickú energiu (pre kompresory)
- Potrebná ATE

Hlavné odporúčania

- **Odporúčané na rozsiahlu náhradu fosílnych palív.**

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 21 (NÁHRADA KOTLA AERÓBNYM DIGESTOROM A VODNOPARNÝM TČ)

21

Technické riešenie/Integračná stratégia č. 21. Náhrada kotla pomocou aeróbného digestora + parného TČ (MRP) + ATE (voliteľné)

Základná referenčná technológia

- ☒ Kotel ☐ KVET ☒ Nové
Bod integrácie/ Teploty CZT
☐ Prívod/ 120°C ☒ Vrátno/ 60°C
☐ Žiadne

Hlavné využívané NPOZE

- ☐ Solár ☐ Geotermál
☐ Odpad ☒ Biomasa
☐ Iné

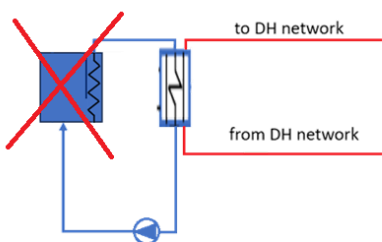
Zlepšujúca technológia

- ☐ ATE + ☒ TČ-PK
☒ MRP ☐ ABS-TČ
☐ Iná ☐ Žiadna

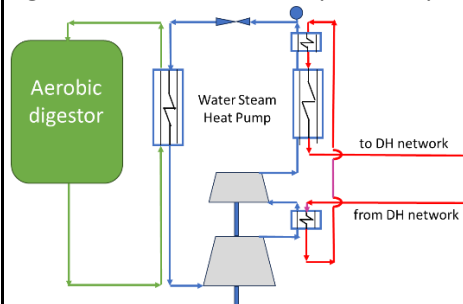
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☒ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – kotol na fosílna palivá určený na vyradenie (zjednodušená)



Nová koncepcia: Náhrada kotla aeróbnym digestorom so strednou teplotou + parné TČ + ATE



Zvažovaná tradičná konfigurácia kotla spaľujúceho uhlie je úplne nahradená NPOZE, ktorým je aeróbnym digestor. Ide o nízko-teplotný tepelný zdroj s výstupnou teplotou približne 70 °C. Vzhľadom na to, že dodávaná teplota je podobná teplote vratnej strany, je na zvýšenie teploty vody do rozsahu 110–120 °C implementovaná technológia na zvýšenie teploty – parné tepelné čerpadlo. Týmto spôsobom je časť tepelného výkonu CZT zabezpečovaná aeróbnym digestorom a zvyšok výkonom kompresora (t. j. elektrickou energiou). Axiálne parné kompresory používané v tomto type tepelných čerpadiel dosahujú účinnosť približne 0,8, čo vedie k hodnote COP v rozmedzí 3,5 až 4. Táto koncepcia umožňuje pokryť celkové tepelné potreby CZT systému s výraznou úsporou fosílnych palív – zvyčajne v rozsahu 80 až 100 % (v prípade úplnej náhrady). Je však potrebné zohľadniť elektrickú spotrebu systému tepelného čerpadla, ktorej vyhodnotenie závisí od reálnych prevádzkových teplôt. Zvyčajne sa systém dopĺňa o malý horák, ktorý slúži aj na účely regulácie. V dôsledku oxidačných procesov vznikajú emisie oxidu uhličitého (CO₂) a oxidu dusného (N₂O), pričom CO₂ sa uvoľňuje aj pri výrobe energie potrebnej na prevádzku systému. Môže byť potrebné zaviesť opatrenia na ich zníženie alebo zachytávanie.

Toto riešenie je možné aplikovať aj lokálne – v decentralizovaných odovzdávacích staniciach fungujúcich ako samostatné CZT podsiete.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: nízko-teplotný aeróbnym digestor + parné tepelné čerpadlo (uzavretý okruh MRP)

+ akumulácia tepelnej energie (ATE), voliteľné.

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia. Vyžaduje presný inžiniersky návrh.

Prevádzková teplota NPOZE: digestor s výstupnou teplotou 50÷70°C, parné TČ do 120÷140°C (COP približne 4,0 pri štandardnom zariadení, za predpokladu exergetickej účinnosti 0,5). Konkrétne parametre výkonu je potrebné stanoviť v rámci podrobnej analýzy.

Prevádzková teplota zvyšovania teploty: do 140°C. Použitie kvalitnej vysokoteplotnej zásobníka ATE nie je povinné (a nie je zobrazené v schéme), no je vítané.

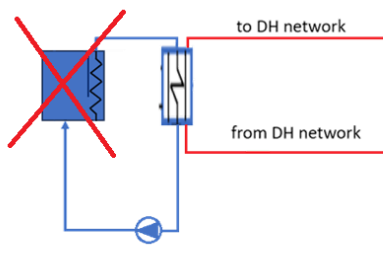
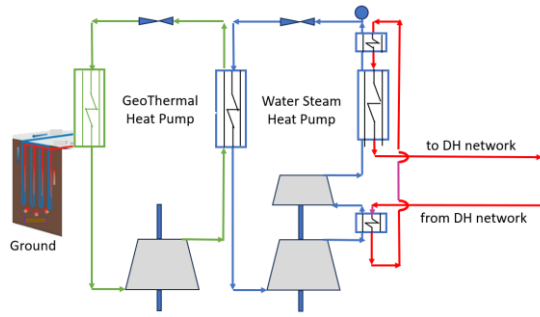
Očakávané výsledky: ÚFP na úrovni 70–100 % (v prípade úplnej náhrady tradičného kotla).

Náklady na inštaláciu: 500 ÷ 1000€/kW_t (dodávaný tepelný výkon pri vyššej teplote). Predpokladá sa, že aeróbny digestor už existuje alebo je financovaný z verejných (napr. mestských) zdrojov.

Náklady na energiu: Náklady na teplo z tepelných čerpadiel sú z dlhodobého hľadiska pomerne nízke, avšak je potrebné zohľadniť vyššie náklady na údržbu kombinovaného systému. Náklady na teplo sa zvyčajne udávajú ako priemerné náklady na výrobu tepla (LCOH), t. j. priemerné náklady na výrobu jednej jednotky tepla počas celej životnosti systému, vrátane investičných a kapitálových nákladov, vyjadrené napríklad v €/MWh.

Silné stránky	Slabé stránky
- Veľmi dobré ukazovatele úspor - V zásade nevyžaduje zásobník tepla	- Vyžaduje elektrickú energiu (pre kompresory) - Produkovaný CO₂ by mal byť zachytávaný
Hlavné odporúčania	
Odporúčané len v prípade existujúceho aeróbného digestora	

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 22 (NÁHRADA KOTLA S GEOTERMÁLNYM TEPELNÝM ČERPADLOM + TEPELNÉ ČERPADLO S PARNOU KOMPRESIOU (MRP UZAVRETÝ OKRUH))

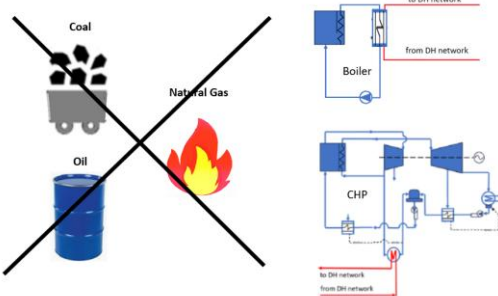
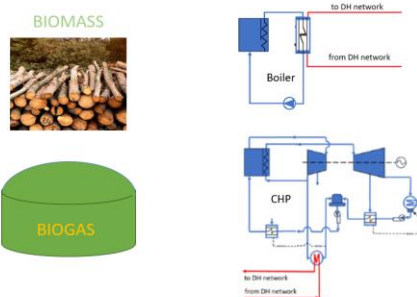
22	Technické riešenie/Integračná stratégia č. 22. Náhrada kotla so zemným tepelným čerpadlom + parné tepelné čerpadlo (MRP uzavretý okruh)		
Základná referenčná technológia ☒ Kotel ☐ KVET ☒ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☐ Prívod/ 120°C ☒ Vrátné/ 60°C ☐ Žiadne	Hlavné využívané NPOZE ☐ Solár ☒ Geotermál ☐ Odpad ☐ Biomasa ☐ Iné	Zlepšujúca technológia ☐ ATE + ☒ TČ-PK ☒ MRP ☐ ABS-TČ ☐ Iná ☐ Žiadna	
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☒ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT			
Popis celkového systému			
Koncepcia existujúcej inštalácie – kotol na fosílné palivá určený na vyradenie (zjednodušená) 		Nová koncepcia: Náhrada kotla integráciou zemného tepelného čerpadla + parného tepelného čerpadla (uzavretý okruh MRP) 	
Tento technický list zhrňuje možnosti úplnej náhrady tradičných horákov zdrojmi NPOZE s nízkou teplotou (až do 5÷10°C).			
Zvažovaná tradičná konfigurácia kotla spaľujúceho uhlie je v tomto prípade úplne nahradená NPOZE, ktorým je zem, využitá prostredníctvom geotermálneho tepelného čerpadla. Tento systém premieňa a zvyšuje teplotu okolitého tepla zo zeme (približne 10 °C) na využiteľnú úroveň 50–60 °C, čo však stále predstavuje nízopotenciálny tepelný zdroj. Preto je potrebné túto teplotu ďalej zvýšiť pomocou vhodnej technológie – absorpčného tepelného čerpadla, MRP alebo parného tepelného čerpadla na vodnú paru (ako je znázornené na obrázku), aby sa dosiahli vyššie teploty požadované v CZT sieti, až do 110–120 °C. Časť tepelného výkonu CZT je tak zabezpečovaná z geotermálneho zdroja, zvyšok pochádza z elektrickej energie spotrebovanej kompresormi. Aj keď moderné tepelné čerpadlá dosahujú vysoké hodnoty COP, kombinácia dvoch stupňov zvýšenia teploty zvyčajne vedie k celkovému COP, ktorý nepresahuje hodnotu 2,5. Predstavená schéma dokáže zabezpečiť úsporu fosílnych palív v rozsahu približne 70 % až 100 % pri úplnej náhrade kotla. Na presné posúdenie je potrebné vykonať podrobné výpočty.			
Toto technické riešenie je možné aplikovať aj lokálne – v decentralizovaných odovzdávacích			

staniciach fungujúcich ako samostatné podsiete CZT.	
Hlavné parametre	
Technológia NPOZE: zemné tepelné čerpadlo (TČ-PK) + tepelné čerpadlo s parnou kompresiou (MRP uzavretý okruh). STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia, no vyžaduje detailný inžiniersky návrh. Prevádzková teplota zdroja NPOZE s integráciou: prvý stupeň (geotermálne tepelné čerpadlo) dosahuje 50–60 °C, druhý stupeň (parné čerpadlo s MRP) až 150–170 °C. Prevádzková teplota integrácie: do predpísaných pracovných teplôt sústavy CZT. Očakávané výsledky: ÚFP až do 100 %, pričom je nutné zohľadniť elektrickú spotrebu systému tepelných čerpadiel, ktorá závisí od skutočných prevádzkových teplôt (celkový COP_{TČ} systému sa zvyčajne pohybuje okolo 2,5). Náklady na inštaláciu: 350 ÷ 400 €/kW_t (TČ-PK) + 400 ÷ 500€/kW_t (parné TČ-PK) + výmenník tepla zemného poľa – silne variabilné náklady v závislosti od konkrétnej konfigurácie³. Náklady na energiu: Náklady na teplo sa štandardne vyjadrujú ako priemerné náklady na výrobu tepla (LCOH), teda ako priemerné náklady na výrobu jednej jednotky tepla počas celej životnosti systému, vrátane investičných a kapitálových nákladov, vyjadrené napr. v €/MWh.	
Silné stránky	Slabé stránky
- Dobré ukazovatele úspor - Overená a etablovaná technológia - Nezávisí od zásobníka tepla, pokiaľ sa nepoužívajú iné prerušované zdroje (napr. solárne, odpadové)	- Vyžaduje externý elektrický zdroj pre kompresory - Komplexná technológia zvyšovania teploty (vyžaduje detailný inžiniersky návrh)
Hlavné odporúčania	
- Odporúčané na využitie s veľmi nízkoteplotnými zdrojmi (10 °C)	

³ <https://oilon.com/en-gb/products/oilon-chillheat-s-600-s-2000/>

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 23 (KOTOL: NÁHRADA FOSÍLNYCH PALÍV BIOMASOU ALEBO BIOPLYNOM)

Strana | 90

23	Technické riešenie/Integračná stratégia č. 23. Náhrada fosílnych palív biomasou alebo bioplynom v kotloch		
	Základná referenčná technológia ☒ Kotel ☐ KVET ☒ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☐ Prívod/ 120°C ☐ Vrátno/ 60°C ☒ Žiadne (len zmena paliva)	Hlavné využívané NPOZE ☐ Solár ☐ Geotermál ☐ Odpad ☒ Biomasa ☐ Iné	Zlepšujúca technológia ☐ ATE + ☒ TČ-PK ☐ MRP ☐ ABS-TČ ☐ Iná ☒ Žiadna
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☒ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT			
Popis celkového systému			
Koncepcia existujúcej inštalácie – fosílna palivo na vyradenie (zjednodušené) 		Nová koncepcia: áhrada paliva biomasou alebo bioplynom (zjednodušené) 	
Tento technický list zhrňuje možnosti náhrady palív v tradičných kotloch (horákoch). Zvažovaná tradičná konfigurácia využívajúca fosílna palivá, či už ide o jednoduchý kotel alebo systém KVET, je v tomto prípade úplne nahradená systémom na báze zelených palív. Uhlie, olej a zemný plyn sú nahradené bioplynom alebo biomasou. Hlavným dôvodom pre túto implementáciu je vyradenie neekologických zdrojov a úplné odstránenie čistých emisií CO₂. Keďže spaľovací proces je podobný a produkuje porovnateľné množstvo CO₂, aby sa dosiahla uhlíková neutralita, biopalivo musí byť vyrobené spôsobom, ktorý z ovzdušia odstráni rovnaké množstvo CO₂, aké sa počas spaľovania uvoľní. Napríklad použité drevo nemôže pochádzať len z existujúceho lesa – samotný les musí byť vysadený a spravovaný tak, aby zabezpečil dodatočné odstraňovanie CO₂ v porovnaní so scenárom „no action“. Ak sú tieto podmienky splnené, daný systém zabezpečuje 100 % redukciu emisií CO₂ v porovnaní s pôvodným zariadením, a to bez alebo len s minimálnymi technickými úpravami existujúceho systému. Toto technické riešenie je možné aplikovať aj lokálne – v decentralizovaných odovzdávacích			

staniciach fungujúcich ako samostatné podsiete CZT.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: zemné tepelné čerpadlo (TČ-PK) + tepelné čerpadlo s parnou kompresiou (MRP, uzavretý cyklus).

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia, no vyžaduje podrobný inžiniersky návrh

Prevádzková teplota zdroja NPOZE s integráciou: prvý stupeň (geotermálne tepelné čerpadlo) dosahuje 50–60 °C, druhý stupeň (parná MRP) až 150–170 °C

Prevádzková teplota integrácie: až do pracovných teplôt sústavy CZT.

Očakávané výsledky: ÚFP na úrovni približne 60 % alebo viac, vrátane elektrickej spotreby systému tepelných čerpadiel, ktorej vyhodnotenie závisí od reálnych prevádzkových teplôt (celkový COP_{TČ} systému sa zvyčajne pohybuje okolo 2,5).

Náklady na inštaláciu: 350 ÷ 400 €/kW_t (TČ-PK) + 400 ÷ 500€/kW_t (parné TČ-PK) + výmenník tepla zemného poľa – výrazne variabilné náklady v závislosti od konkrétnej konfigurácie⁴.

Náklady na energiu: Náklady na teplo sa štandardne vyjadrujú ako priemerné náklady na výrobu tepla (LCOH), teda ako priemerné náklady na výrobu jednej jednotky tepla počas celej životnosti systému, vrátane inštalčných a kapitálových nákladov, vyjadrené napríklad v €/MWh.

Silné stránky

- Veľmi dobré ukazovatele úspor
- Overená a etablovaná technológia
- Prakticky nevyžaduje úpravy systému

Slabé stránky

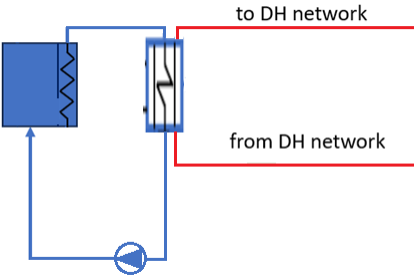
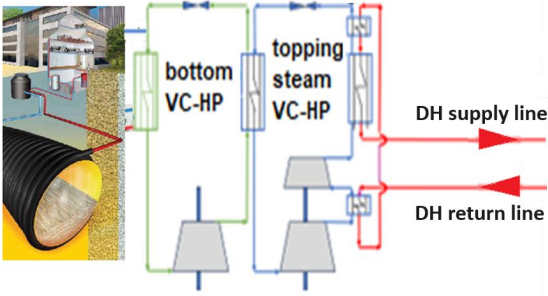
- Biopalivo musí byť získané správnym spôsobom, aby sa dosiahla uhlíková neutralita.
- Biopalivo je drahšie ako fosílné palivo.

Hlavné odporúčania

- **Odporúčané pri správnej aplikácii**

⁴ <https://oilon.com/en-gb/products/oilon-chillheat-s-600-s-2000/>

TECHNICKÉ RIEŠENIE/INTEGRAČNÁ STRATÉGIA Č. 24 (NÁHRADA KOTLA TEPLOM Z ODPADOVÝCH VÔD + SYSTÉMOM TČ-PK + TEPELNÝM ČERPADLOM S PARNOU KOMPRESIOU (MRP UZAVRETÝ OKRUH))

24	Technické riešenie/Integračná stratégia č. 24. Integrácia kotla s teplom z odpadových vôd + tepelným čerpadlom + parným tepelným čerpadlom (uzavretý okruh MRP)	
Základná referenčná technológia ☒ Kotel ☐ KJET ☒ Nové Bod integrácie/ Teploty CZT ☐ Prívod/ 120°C ☒ Vrátnie/ 60°C ☐ Žiadne	Hlavné využívané NPOZE ☐ Solár ☐ Geotermál ☒ Odpad ☐ Biomasa ☐ Iné	Zlepšujúca technológia ☐ ATE + ☒ TČ-PK ☒ MRP ☐ ABS-TČ ☐ Iná ☐ Žiadna
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☒ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT		
Popis celkového systém		
Koncepcia existujúcej inštalácie – kotol na fosílné palivo na vyradenie (zjednodušene)	Nová koncepcia: Náhrada kotla integráciou tepla z odpadových vôd + tepelného čerpadla + parného tepelného čerpadla (uzavretý okruh MRP)	
		
Tento technický list zhrňuje možnosti úplnej náhrady tradičných horákov NPOZE s nízkou teplotou (až do 15÷20°C). Zvažovaná integrácia je založená na využití tepla z odpadových vôd pomocou výmenníka tepla typu „rúra v rúre“ (typicky v rámci lokálnych CZT riešení alebo budov), napojeného na systém TČ-PK. Odpadová voda má zvyčajne vyššiu teplotu než okolité prostredie – v priemere okolo 15 °C – a TČ-PK dokáže dosiahnuť teplotu približne 60 °C. Keď lokálna teplota dosiahne hodnotu porovnateľnú s teplotou vratnej strany siete CZT možno sústavu doplniť o pomocné parné TČ-PK (uzavretý okruh MRP), schopné dosiahnuť až 150 °C – a to buď v centrálnej stanici, alebo lokálne. Dostupné množstvo odpadového tepla z kanalizácie sa predpokladá na úrovni približne 15 % z celkového tepelného výkonu CZT siete. Vyššie hodnoty sú nepravdepodobné. Napriek dostupnosti „bezplatného“ tepelného výkonu z výmenníka tepla na odpadové vody je proces zvyšovania teploty energeticky náročný – na každý MW_{th} dodaný koncovému užívateľovi je potrebný elektrický príkon kompresorov zariadení na úrovni približne 0,3 až 0,4 MWe. Na maximalizáciu výkonu sú potrebné určité úpravy zariadenia. Vzhľadom na prerušovanú dostupnosť environmentálnej energie z odpadových vôd je použitie zásobníka tepla nevyhnutné.		

Kedže je potrebná elektrická energia, úspora fosílnych palív sa pohybuje v rozmedzí 20 % až 30 %. Táto hodnota však môže byť vyššia, ak je elektrina využívaná na pohon kompresorov vyrobená z obnoviteľných zdrojov („zelená“ elektrina).

Toto technické riešenie je možné aplikovať aj lokálne – v decentralizovaných odovzdávacích staniciach fungujúcich ako samostatné podsiete CZT.

Hlavné parametre	
Technológia NPOZE: tepelné čerpadlo (TČ-PK) + tepelné čerpadlo s parnou kompresiou (MRP, uzavretý cyklus) STP: 10 – Dobré zavedená a dostupná technológia, no vyžaduje podrobný inžiniersky návrh Prevádzková teplota zdroja NPOZE s integráciou: prvý stupeň (geotermálne alebo iné nízkotepločné tepelné čerpadlo) dosahuje 50–60 °C, druhý stupeň (MRP) až 150–170 °C. Prevádzková teplota integrácie: do predpísaných pracovných teplôt sústavy CZT. Očakávané výsledky: ÚFP) do približne 30 %, pričom je potrebné dôkladne zohľadniť spotrebu elektrickej energie tepelných čerpadiel, ktorá závisí od reálnych prevádzkových teplôt (celkový COP_{TČ} systému sa pohybuje približne okolo 2,5). Náklady na inštaláciu: 350 ÷ 400 €/kW_t (TČ-PK) + 400 ÷ 500€/kW_t (parné TČ-PK) + výmenník tepla z odpadových vôd. Náklady na energiu: Náklady na teplo sa obvykle vyjadrujú ako priemerné náklady na výrobu tepla (LCOH), teda ako priemerné náklady na výrobu jednej jednotky tepla počas celej životnosti systému, vrátane investičných a kapitálových nákladov, vyjadrené napríklad v €/MWh.	
Silné stránky	Slabé stránky
- Dobré ukazovatele úspor - Overená a etablovaná technológia - Nezávisí od zásobníka tepla, pokiaľ sa nepoužívajú iné prerušované zdroje (napr. solárne, odpadové)	- Vyžaduje externý elektrický zdroj pre kompresory - Komplexná technológia zvyšovania teploty (vyžaduje detailný inžiniersky návrh)
Hlavné odporúčania	
- Odporúčané na využitie s veľmi nízko- až strednoteplotnými zdrojmi (10–20 °C)	

ÚVOD

V tejto časti sa zameriavame na špecifikáciu metodiky použitej na implementáciu zjednodušených energetických modelov tepelných zdrojov pre siete centralizovaného zásobovania teplom (CZT), pričom vychádzame z potrieb užívateľov z hľadiska tepelného výkonu a teploty a následne spätne určujeme veľkosť energetického zdroja, t. j. jeho charakteristiky z hľadiska tepelného výkonu a prevádzkových teplôt. Tento zdroj môže byť nízkopotenciálny alebo môže ísť o existujúci tradičný zdroj v prípade modernizácie, ktorá zahŕňa čiastočné alebo úplné zachovanie pôvodného zdroja tepla/energie. Kombinovaná výroba elektriny a tepla (KVET) predstavuje vysoko účinné riešenie na súčasnú výrobu elektriny a tepelnej energie z jedného palivového zdroja. Preto nie je nepravdepodobné, že posudzovaná CZT prevádzka využíva ako tepelný zdroj KVET, alebo – aspoň v prípade starších zariadení – jednoduchý kotol s potenciálom ďalšej dlhodobej prevádzky. Ako bolo podrobne ukázané v predchádzajúcich častiach a v správe D2.1 projektu Low2HighDH WP2, v cieľových krajinách Litva, Poľsko a Slovensko, napriek rozdielnym podmienkam v oblasti CZT, je zhruba 50% tepelných zdrojov v sieťach CZT zastúpená systémami KVET a 50% kotlami.

Strana | 94

Okrem zdroja a užívateľov môže sieť obsahovať dva typy systémov: systémy energetickej integrácie a systémy zvyšovania teploty. Nasledujúce odseky predstavujú energetické modelovanie siete a následne popisujú energetické a ekonomické/finančné parametre výkonnosti, ktoré sa používajú na jej charakterizáciu. Aj keď ide o značne zjednodušený model, založený predovšetkým na globálnych referenčných parametroch systémov a komponentov, je dostatočne podrobný na to, aby poskytol prehľad o hlavných kľúčových ukazovateľoch výkonnosti (KPI) jednotlivých potenciálnych riešení. Tento model má slúžiť ako podpora pre rozhodovanie manažérov a projektových partnerov pri výbere najvhodnejšieho riešenia pre danú krajinu a pri určení, ktoré konkrétne riešenie stojí za podrobnejšiu analýzu a realizáciu.

Model bude aplikovaný na 10 konkrétnych prípadov s cieľom posúdiť ich celkovú výkonnosť.

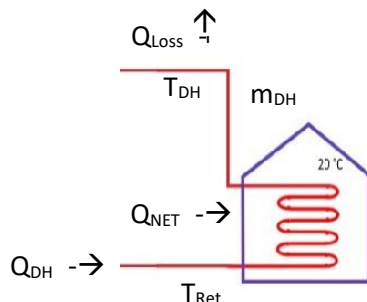
ZÁKLADNÉ TEPLOTNÉ MODELOVANIE SIETE CZT

Metodika prebieha podľa nasledujúcich krokov:

- Podľa Obrázok 21, sa predpokladá známa tepelná spotreba užívateľov, $\dot{Q}_{DH}$, spolu so stratami tepla v sieti. Vychádzajúc z dodaného výkonu a pripočítaním strát, $\dot{Q}_{Loss}$, požadovaný výkon na tejto úrovni (nazvime ju strana spotreby), ktorý bude o niečo vyšší, možno získať ako $\dot{Q}_{NET}$. Zároveň, pri zadaní známych teplôt na prívodnej strane a na vratnej strane (T_{DH} and T_{Ret}), je možné odvodiť prietok podľa rovníc energetickej bilancie v ustálenom stave.

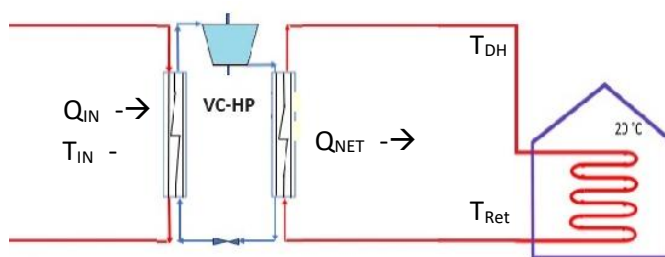
$$\dot{Q}_{DH} = \dot{m}(T_{DH} - T_{Ret}) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{DH} = \dot{Q}_{NET} - \dot{Q}_{Loss} \quad (2)$$



Obrázok 21 - Strana spotreby siete CZT. Znázornené tepelné výkony, teploty a hmotnostný prietok v sieti CZT (zdroj: Unige)

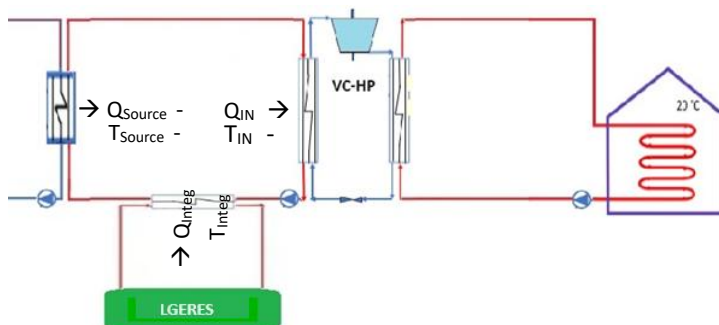
- Pri ďalšom spätnom sledovaní siete smerom k energetickému zdroju narazíme na systémy zvyšovania teploty, ako je znázornené na Obrázok 22, a na systémy integrácie výkonu. Zariadenia na zvyšovanie teploty môžu byť umiestnené buď pred, alebo za systémami výkonovej integrácie (pozri ďalej), v závislosti od rôznych faktorov. Systémy zvyšovania teploty sú typické pre systém LOW2HIGH, kde je nízkopotenciálny tepelný zdroj, zvyčajne s nízkou teplotou, potrebné zvýšiť, aby bolo možné zabezpečiť vysokoteplotné vykurovanie pre užívateľa. Naopak, výkonová integrácia sa využíva vtedy, keď tzv. „primárny“ zdroj nedokáže pokryť 100 % potreby tepla pre užívateľov. V takom prípade je potrebné doplniť systém o jeden alebo viac dodatočných zdrojov. Integrácia NPOZE je navyše vítaná, pretože prispieva k zníženiu spotreby fosílnych palív. Je tiež možné, že sústava CZT je navrhnutý tak, aby využíval viacero zdrojov, pričom integruje rôzne zdroje, ktoré sú už dostupné a vhodné na využitie v danom konkrétnom kontexte.



Obrázok 22 - Časť siete CZT so zvýrazneným zariadením na zvyšovanie teploty, v tomto prípade tepelným čerpadlom (zdroj: Unige)

Ak sa zameriame na konkrétnu konfiguráciu, predpokladáme, že pri spätnom sledovaní systému ako prvé narazíme na zariadenie na zvyšovanie teploty. Integrácia sa opäť umiestňuje buď na vratnu stranu, alebo na stranu prívodu, a to predovšetkým podľa vzájomného pomeru teplôt. Toto rozloženie však neovplyvňuje postup ani samotné nastavenie modelovania. Ako už bolo spomenuté, poznáme teploty na strane užívateľa a budeme pracovať s priemernou teplotou, ktorá zatiaľ nie je známa – môžeme ju stanoviť ako skúšobnú hodnotu na vstupe do zariadenia na zvyšovanie teploty. Takéto zariadenie zvyčajne pozostáva z tepelných čerpadiel, mechanickej rekompresie pary alebo absorpčných tepelných čerpadiel. Na rozdiel od hodnôt T_{DH} and T_{Ret} , sa bude na rozhraní výmenníkov tepla predpokladať priemerná vstupná/výstupná teplota, pričom vždy ide o vonkajší

vykurovací okruh. Tepelný vstup Q_{in} , a mechanický vstup (ak je prítomný) do zariadenia na zvyšovanie teploty budú funkciou doposiaľ neznámych veličín, ako sú COP daného zariadenia a vstupná teplota T_{in} , ktorú sme si zvolili ako predpokladanú hodnotu. Metodike výpočtu COP sa budeme podrobnejšie venovať neskôr.



Obrázok 23 - Časť siete CZT s integráciou NPOZE pred zvyšovaním teploty, aplikovaná na vratnej strane (zdroj: Unige)

- Následne pokračujeme tepelnou integráciou, pozri Obrázok 23. Ak je prítomná, často sa aplikuje na vratnej strane siete centralizovaného zásobovania teplom. Umiestnenie integrácie na vratnú stranu alebo na prírodnú závisí v podstate od teploty integračného zdroja vzhľadom na teplotu zdroja. Okrem toho môže byť integrácia umiestnená pred alebo za zariadením na zvyšovanie teploty aj v dôsledku priestorových obmedzení. Takáto integrácia môže zahŕňať obnoviteľný tepelný zdroj, ako je solárne pole, geotermálny zdroj alebo odpadové teplo z priemyselných či iných procesov. Integrácia môže byť priamou – ako je znázornené na Obrázok 23 – alebo môže byť doplnená o samostatné zvýšenie teploty pomocou tepelného čerpadla vyššie uvedeného typu. Parametre integrácie, ako výkon a teplota na výstupe, sú vo všeobecnosti známe. Teplota primárneho zdroja býva takisto známa, avšak jeho príslušný výkon nie. Z tohto pohľadu predpokladáme, že hodnoty T_{integ} a Q_{integ} sú známe (alebo nejakým spôsobom vypočítané), takže na pokračovanie sa stanoví predpokladaná hodnota pre T_{in} a následne sa určí Q_{in} , čo umožní vypočítať požadovaný výkon zdroja Q_{source} . Ak je to potrebné, v Excelovom hárku sa automaticky spustí iteratívny proces, pretože nie vždy je možné odvodiť všetky premenlivé veličiny sekvenčne, jednu po druhej. V takomto prípade sú potrebné dve až tri iterácie, aby sa výpočtový algoritmus ustálil.

Ako už bolo spomenuté, model používa priemerné vstupné/výstupné teploty výmenníkov tepla na vodnej strane, teda na strane siete CZT.

Modelovanie systémov zvyšovania teploty

Každý prvok na zvyšovanie teploty je modelovaný definovaním COP (výkonového čísla) a výpočtom rôznych energetických veličín, ktoré môžu zahŕňať tepelné výkony na vstupe a výstupe a prípadne aj mechanický/elektrický výkon – ako v prípade tradičných tepelných čerpadiel so stlačovaním pary. V prípade systémov ako sú tepelné transformátory (absorpčné zariadenia) môže byť tepelný vstup realizovaný pri strednej teplote a výstupný výkon dodávaný pri vysokej teplote, no zároveň dochádza k uvoľneniu významného množstva tepla pri okolitej teplote. Tento fakt je potrebné vždy zohľadniť pri posudzovaní možností aplikácie absorpčných tepelných čerpadiel, keďže jedným z kľúčových obmedzení

týchto zariadení je potreba odvádzať nízko-teplotné teplo, čo si vyžaduje predimenzovanie vstupných zdrojov.

Na modelovanie týchto systémov je potrebné identifikovať všetky energetické veličiny, či už ide o tepelné alebo mechanické výkony. S odkazom na Obrázok 24 sú tieto veličiny navzájom prepojené prvým zákonom termodynamiky a výkonnosťnými koeficientmi, účinnosťami alebo COP pre dané typy zariadení. Tieto koeficienty možno, ako uvidíme, vyjadriť ako funkciu rôznych zapojených teplôt. COP, ktoré budú predstavovať model zariadenia na zvyšovanie teploty, možno definovať s odkazom na účinnosť ideálneho Carnotovho cyklu pracujúceho medzi rovnakými vnútornými (nie zdrojovými) teplotami daného cyklu. Napríklad jednoduché tepelné čerpadlo bude mať COP charakterizované ako pomer medzi vstupným mechanickým výkonom a chladiacim výkonom (chladiaci účinok), alebo výstupným tepelným výkonom (vykurovací účinok). Po identifikovaní energetických výmenných prvkov budeme mať zároveň všetky potrebné vstupy na to, aby sme k danému zariadeniu priradili zodpovedajúcu spotrebu primárnej energie.

Definícia a použitie COP

Referenčnou hodnotou je vždy ideálne COP Carnotovho stroja – cyklu, ktorý má na T-S diagrame (teplotno-entropickej termodynamickej rovine pracovnej látky) tvar obdĺžnika a ktorý predstavuje najefektívnejší možný cyklus pre dané teploty podľa druhého zákona termodynamiky. Pri výbere referenčných teplôt, ktoré charakterizujú tento cyklus, je však vždy určitý priestor na voľbu, najmä v závislosti od toho, ako má byť COP použité – teda najmä s cieľom porovnať ho s reálnym cyklom. Z čisto termodynamického hľadiska by teploty Carnotovho cyklu mali zodpovedať teplotám tepelných zdrojov v reálnom cykle. V tomto prípade však pomer medzi hodnotou COP pre Carnotov cyklus a skutočným COP zohľadňuje aj exergetické straty, ku ktorým dochádza v procese výmeny tepla – tie sú najmä závislé od kvality výmenníkov tepla.

Ak sa chceme zamerať na cyklus so stlačenou parou, túto charakteristiku možno – hoci trochu nepresne – obísť tak, že sa priamo odvoláme na teploty fázového prechodu pracovnej látky v odparníku a kondenzátore, teda na T_{eva} a T_{cond} . Pomer medzi skutočným COP a Carnotovým COP predstavuje parameter nazývaný účinnosť druhého zákona (η_{II}), ktorý efektívne charakterizuje výkonnosť zariadenia (Scarpa, et al., 2013) (Scarpa, et al., 2013) (Tagliafico, et al., 2014). Pre dané zariadenie je tento parameter, ak je definovaný uvedeným spôsobom, počas prevádzky relatívne konštantný. COP teda môžeme vyjadriť ako súčin η_{II} a Carnotovho COP nasledovne:

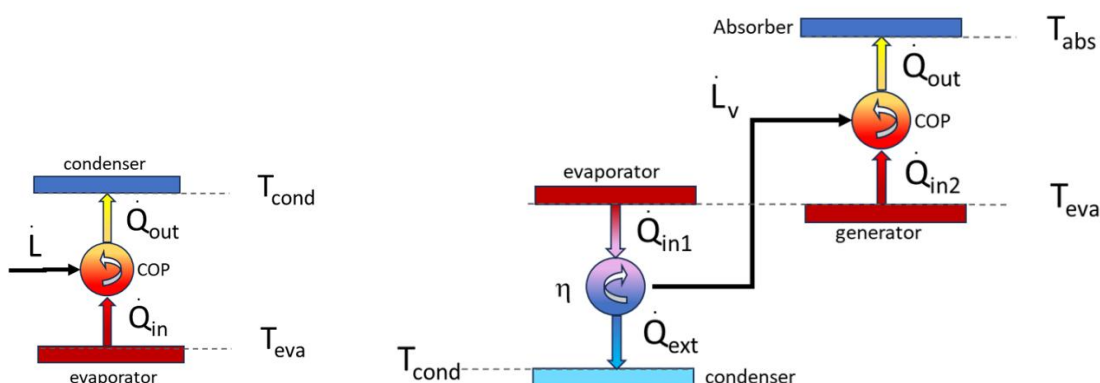
$$COP_{Refrig} = \eta_{II} \cdot COP_{Carnot} \quad (3)$$

Avšak, keďže uplatňujeme pohľad „tepelného čerpadla“, zapíšeme:

$$COP = 1 + \eta_{II} \cdot COP_{Carnot} \quad (4)$$

$$COP = 1 + \eta_{II} \cdot \frac{T_{eva}}{T_{cond} - T_{eva}} \quad \text{s teplotami v Kelvinoch} \quad (5)$$

$$COP = 1 + \chi \rho_c \cdot \frac{T_{eva}}{T_{cond} - T_{eva}} \quad (6)$$



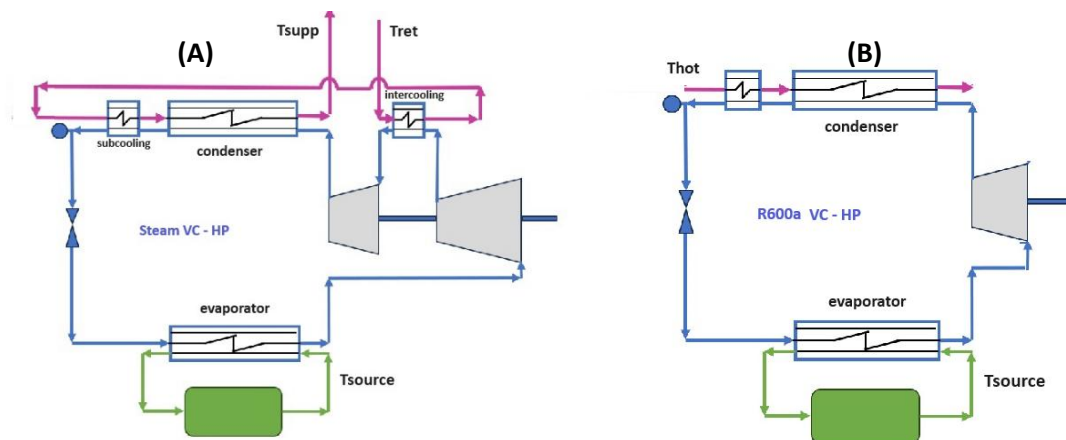
Obrázok 24 – Schématické znázornenie tepelného čerpadla so stláčaním pary s dvoma teplotami (vľavo) a absorpčného tepelného čerpadla s tromi teplotami zloženého z dvoch zariadení (vpravo) (zdroj: Unige)

Najviac premenlivou časťou bude Carnotov COP, zatiaľ čo η_{II} , podľa rovnice 6, bude závisieť predovšetkým od izoentropickej účinnosti kompresora (ρ_c), vlastností pracovnej látky, konfigurácie cyklu a prevádzkových podmienok. Vo všeobecnosti však, η_{II} vykazuje len malú variabilitu, pohybuje sa okolo hodnoty 0,5 – je však vyššia pri veľkých kompresoroch s vysokou ρ_c , a prirodzene závisí od veľkosti zariadenia, ktorá súvisí s účinnosťou kompresora.

Overenie

Tento typ reprezentácie, toto modelovanie bolo overené porovnaním výsledkov získaných pomocou tohto zjednodušeného modelu, implementovaného v Excelovom hárku, s výsledkami získanými pomocou špecializovaného termodynamického softvéru na riešenie priamych a spätných cyklov. Použitý model je znázornený na nasledujúcom Obrázok 25. Ľavý obrázok (A) zobrazuje schému parného (vodného) tepelného čerpadla so stláčaním pary pracujúceho pri rôznych teplotách.

Tento typ tepelného čerpadla je vhodný pre vysoké teploty a zvyčajne sa používa ako druhý stupeň kaskádového systému. Na zlepšenie výkonu bol navyše použitý dvojstupňový kompresor spolu s medzichladením a dochladením, ktoré sa realizuje pomocou vratnej strany zo sústavy centralizovaného zásobovania teplom.



Obrázok 25- chémy modelov použité na overenie reprezentácie Carnot/ η_{II} zariadení. Dvojstupňové parné tepelné čerpadlo na vodnú paru (TČ-PK) vľavo (A). Jednoduché tepelné čerpadlo TČ-PK s chladivom R600a vpravo (zdroj: UNIGE)

V priloženej tabuľke môžeme vidieť porovnanie hodnôt COP (výkonového čísla) získaných z oboch simulácií: jednej vykonanej pomocou modelu implementovaného v Exceli a druhej pomocou podrobného termodynamického modelu. Pri konštantnej teplote na prívode, T_{supply} , 120°C a vratnej teplote z vykurovacej siete, T_{RET} , 60°C, bola teplota spodného zdroja, T_{source} , menená v rozmedzí od 50 °C do 70 °C. Zistené percentuálne chyby boli menšie ako 3 %.

V druhej tabuľke sú uvedené výsledky pre nízko-teplotné tepelné čerpadlo s chladivom R600a (Obrázok 25 (B)). Tento typ zariadenia sa používa pri nízkych teplotách, typicky ako prvý stupeň pred nasledujúcim stupňom, ktorým môže byť parné TČ, tepelný transformátor alebo MRP. V tomto prípade bola teplota zdroja, T_{source} , udržiavaná konštantná na úrovni 20°C, zatiaľ čo teplota na teplej strane (typicky ide o odparovač nasledujúceho stupňa) sa menila v rozsahu od 50 °C do 70 °C. V najhoršom prípade percentuálna chyba prekročila 7 %.

Pre obe zariadenia bola pri kompresore predpokladaná izoentropická účinnosť 0,7. Teplotné rozdiely vo výmenníkoch tepla boli nastavené tak, aby zodpovedali tým v Excelovom modeli, pričom rozdiel medzi vstupnou a výstupnou teplotou zdroja bol 15 °C. Hodnoty η_{II} boli upravené tak, aby sa dosiahla vyvážená výkonnosť.

Tabuľka 2 - Overovací proces. Porovnanie medzi zjednodušeným modelom podľa rovnice 5 a úplným termodynamickým modelom. Tabuľka sa vzťahuje na vysokoteplotné parné tepelné čerpadlo znázornené na obrázku 25(A). T_{supply} = 120 °C, T_{return} = 60 °C.

T_{source} [°C]	COP	COP zjednodušené	Rozdiel
50	3.15	3.23	2.6%
55	3.37	3.41	1.2%
60	3.61	3.60	-0.2%
65	3.89	3.82	-1.6%
70	4.20	4.07	-3.0%

Tabuľka 3 – Overovací proces. To isté ako v tabuľke 1, tentoraz pre tepelné čerpadlo R600a z obrázku 25(B), použité ako prvý stupeň na zvýšenie teploty. $T_{source} = 20\text{ °C}$

$T_{hot}\text{ [°C]}$	COP	COP zjednodušené	Rozdiel
50	4.09	3.82	-6.6%
55	3.68	3.56	-3.3%
60	3.34	3.34	0.0%
65	3.05	3.16	3.6%
70	2.79	3.00	7.4%

Absorpčné tepelné čerpadlo

V prípade absorpčného tepelného čerpadla alebo tepelného transformátora sa uplatňuje popis s tromi teplotnými úrovňami, ktorý kombinuje výkonový cyklus spojený s virtuálnou prácou L_v (fyzicky v absorpčnom tepelnom čerpadle neprítomnou, no ideálne realizovanou prostredníctvom absorpčných a desorpčných procesov) a chladiaci cyklus, ako je znázornené na Obrázok 24 (vpravo).

Pre zjednodušenie, pri zohľadnení jednej strednej teploty T_{eva} , môžeme samostatne zapísať predtým definované parametre pre každý z dvoch cyklov (priamy a spätný).

$$\dot{L}_v = \eta \dot{Q}_{in1} \quad \eta = \eta_{mII} \left(1 - \frac{T_{cond}}{T_{eva}} \right) \quad (7)$$

$$\dot{Q}_{out} = \dot{L}_v + \dot{Q}_{in2} = (1 + COP_F) \cdot \dot{L} \quad COP_F = \eta_{II} \left(\frac{T_{eva}}{T_{abs} - T_{eva}} \right) \quad (8)$$

$$\dot{Q}_{in2} = COP_F \cdot \dot{L}_v \quad (9)$$

Definujúc nasledujúci výraz ako hodnotiaci parameter pre absorpčné tepelné čerpadlo:

$$\eta_{ABS} = \frac{Q_{out}}{Q_{in1} + Q_{in2}} \quad (10)$$

Pre tepelný transformátor (TT) to bude:

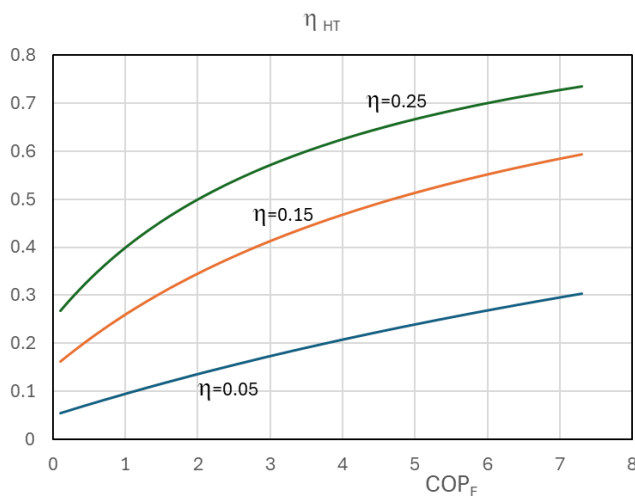
$$\eta_{HT} = \frac{(1 + COP_F) \cdot L_v}{L / \eta + COP_F \cdot L_v} = \frac{\eta(1 + COP_F)}{1 + \eta COP_F} \quad \eta < \eta_{ABS} < 1 \quad (11)$$

Fyzikálna interpretácia tohto výsledku zdôrazňuje, že tepelný transformátor využíva veľké množstvo tepla na strednej úrovni (T_{eva} , čo je teplota, pri ktorej je dostupný nízkopotenciálny energetický zdroj) na jeho zvýšenie na vyššiu teplotnú úroveň T_{abs} , avšak za cenu zníženia celkového dostupného množstva. Veľká časť nízkopotenciálnej energie je následne odvádzaná do najnižšej okolitej teploty (reprezentovanej T_{cond} na pravej strane Obrázok 24).

Treba si všimnúť, že schémy na Obrázok 24 sa snažia zachovať jednotné názvoslovie pre pochopenie termodynamických procesov, avšak význam pracovných teplôt sa líši podľa konkrétnej aplikácie. V tom istom obrázku, T_{eva} predstavuje teplotu nízopotenciálneho energetického zdroja, no v schéme tepelného čerpadla so stlačovaním pary vľavo T_{cond} označuje teplotu po zvýšení teploty – teda pracovnú teplotu centralizovaného zásobovania teplom. Naopak, vpravo v prípade tepelného transformátora predstavuje najnižšiu teplotu systému – teda teplotu okolia. Pracovná teplota CZT siete je v tejto schéme znázornená ako T_{abs} .

Trend v závislosti od COP_F , znázornený na nasledujúcom Obrázok 26, odporúča vysoké hodnoty COP_F a účinnosti. Z hľadiska teplôt totiž platí, že pre dosiahnutie vysokých hodnôt (frakcia $1-\eta_{HT}$ bude odvádzaná do prostredia) a pri zohľadnení, že teplota zdroja T_{in} a výstupná teplota T_{out} sú vo všeobecnosti dané, budú zjavne potrebné vysoké hodnoty T_{in} čo vedie k malému nárastu teploty (zvýšeniu). V každom prípade, vzhľadom na teploty zapojené vo virtuálnom stroji sú hodnoty η veľmi nízke, niekedy menej ako 0,1, a v dôsledku toho aj nízke hodnoty η_{HT} , čo vedie k odvádzaniu veľkého množstva tepla do okolia – od 50 % až po 80 %. Preto môže byť praktické využitie tepelných transformátorov veľmi problematické, pokiaľ nie sú k dispozícii veľmi lacné (alebo bezplatné) a veľké množstvá energie na strednej teplote transformátora (T_{eva} na Obrázok 24, vpravo).

V prípade absorpčného tepelného transformátora bude model vyjadrený rovnicami 7-11 menej presný z dôvodu zložitosti prebiehajúcich procesov a tiež preto, že teploty fázového prechodu pri konštantnom tlaku už neprebiehajú pri konštantnej teplote, ale vykazujú výrazný teplotný rozdiel – tzv. kĺzanie. Toto kĺzanie sťažuje použitie jednoduchých modelov použitých predtým, ktoré poskytujú prijateľné výsledky pre tradičné tepelné čerpadlá.



Obrázok 26 – Závislosť celkovej účinnosti absorpčného tepelného čerpadla od η (účinnosť virtuálneho stroja) a COP_F (účinnosť spätného cyklu tepelného transformátora), teda od troch zapojených teplôt. Uvažované hodnoty teplôt zodpovedajú reálnemu prevádzkovému rozsahu nízopotenciálnych energetických zdrojov.

Keďže budeme odkazovať na teploty na strane siete, a nie na vnútorné teploty cyklu, použijeme nasledovné označenie, napríklad pre štandardné tepelné čerpadlo:

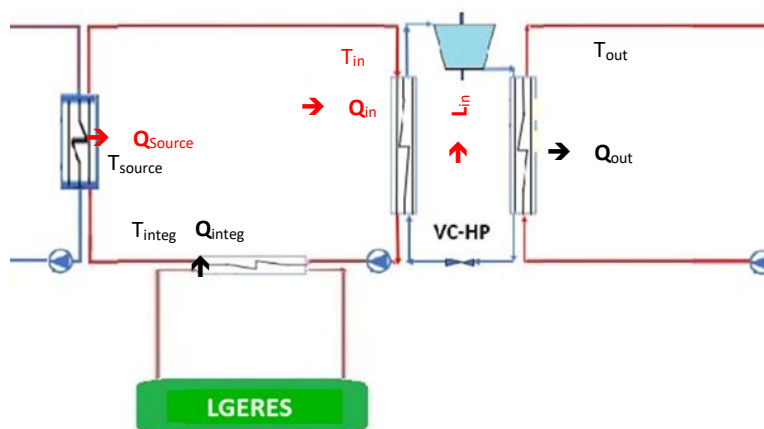
$$COP_{HP} = 1 + \eta_{II} \cdot \frac{T_{in} - \Delta T_{eva}}{T_{out} - \Delta T_{cond} - (T_{in} - \Delta T_{eva})} \quad (12)$$

Kde veľkosť teplotného rozdielu na výmenníkoch tepla, zvyčajne okolo 5–10 °C, bude nepriamo úmerná kvalite (a kapitálovým nákladom, prostredníctvom parametra UA) inštalovaných výmenníkov tepla.

Strana | 102

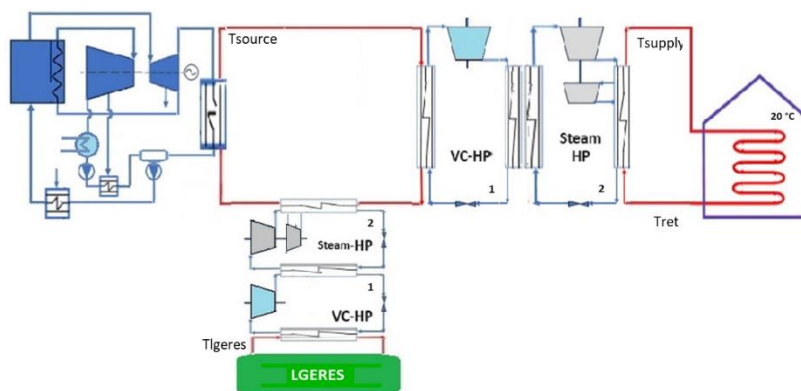
Zvyčajne teplotný pokles vo výmenníku tepla (pri danom prenose tepla Q) závisí od dvoch hlavných charakteristík: súčiniteľa prechodu tepla, U (W/m²K) (ktorý je daný použitou technológiou a teplonosnou látkou) a plochou výmenníka A(m²). Čím väčšia je UA, tým menší je teplotný pokles. Na dosiahnutie veľmi malých teplotných rozdielov (čo vedie k výmenníkom tepla vysokej kvality) je potrebné použiť veľké hodnoty plochy A, čo znamená väčšie a drahšie výmenníky tepla.

V prípade, že je prítomný integračný zdroj založený na NPOZE, ako je znázornené na Obrázok 27, vstupná teplota potrebná na výpočet COP sa určuje spôsobom opísaným vyššie.



Obrázok 27 – Zvýraznenie veličín zapojených do procesu. Vypočítané veličiny sú vyznačené červenou farbou (zdroj: UNIGE)

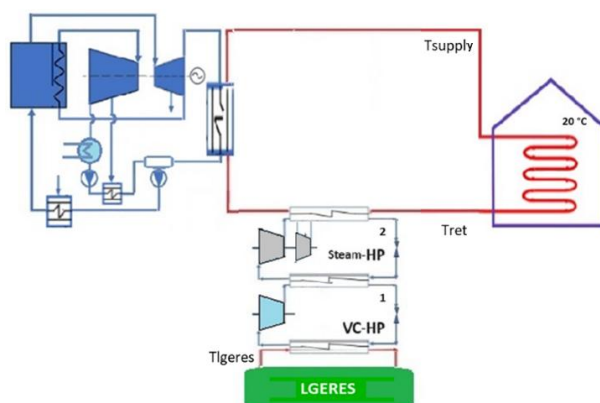
Kompletná implementácia modelu vychádza zo schémy uvedenej na Obrázok 28, ktorá zahŕňa možnú súčasť prítomnosť dvoch stupňov zvýšenia teploty na hlavnej vetve a dvoch na prípadnej integračnej vetve.



Obrázok 28 – Schéma siete CZT v prípade modernizácie existujúceho systému KVET. Možné zvýšenia teploty sú zobrazené len pre úplnosť (zdroj: UNIGE)

Po získaní energetických príspevkov všetkých zariadení je možné vypočítať rôzne výkonnostné ukazovatele systému – jednak z hľadiska účinnosti, ako aj z hľadiska spotreby primárnej energie a emisií CO₂.

Model predstavený doteraz, zhrnutý na Obrázok 28, umožňuje popis širokého spektra prípadov, napríklad aj znázornenie kombinácie dvoch samostatných obnoviteľných zdrojov. V konkrétnej analýze nasledujúcich desiatich prípadov možno použiť zjednodušený model, ktorý nezahŕňa zvýšenie teploty na hlavnej vetve CZT, ale len lokálne pri nízkopotenciálnom zdroji. Tento model je znázornený na Obrázok 29 a je možné ho aplikovať tak v prípade využitia existujúceho tepelného zdroja (kotol alebo KVET), ako aj pri využití samotného nízkopotenciálneho zdroja ako jediného zdroja tepla.



Obrázok 29 - Zjednodušená schéma siete CZT v prípade modernizácie systému KVET. Zvýšenie teploty sa aplikuje len na nízkopotenciálne zdroje (zdroj: UNIGE)

UKAZOVATEĽ ENERGETICKEJ VÝKONNOSTI

Rozlišuje sa medzi zdrojmi fosílnych palív a ostatnými zdrojmi. Prvé nazývame neobnoviteľné zdroje energie (**NOZE**) a druhé, vrátane jadrových zdrojov, obnoviteľné zdroje energie (**OZE**).

Na hodnotenie účinnosti a efektívnosti sústav CZT, identifikáciu oblastí na zlepšenie a zabezpečenie prevádzky v optimálnych parametroch sa zavádzajú niektoré kľúčové ukazovatele energetickej výkonnosti (EPI):

- Tepelná účinnosť
- Primárny energetický faktor NOZE pre teplo
- Podiel energie z OZE
- Úspora energie z fosílnych palív
- Úspora fosílnych palív z NOZE
- Uhlíková intenzita

Keďže sa zaoberáme syntetickým modelom, niektoré z vyššie uvedených ukazovateľov sa stávajú nerelevantnými a budú vylúčené. V odbornej literatúre sa používajú rôzne definície týchto ukazovateľov, ktoré často závisia aj od miestnej legislatívy daného štátu. V tomto prípade sme svojvoľne prijali nasledujúce definície:

E_p je primárna energia priradená ku zdroju pred akoukoľvek konverziou na sekundárnu alebo využiteľnú formu energie, ako je napríklad elektrina alebo teplo. Primárna a sekundárna energia sú navzájom prepojené prostredníctvom konverzných faktorov, ktoré sa zvyčajne označujú symbolom f .

Strana | 104

Ak je využiteľnou formou energie teplo, predpokladajú sa nasledujúce koeficienty:

Pre OZE $f_H = 1$

Pre NOZE $f_H = 1/\eta_H = 1/0.9$

Kde $\eta_H = 0.9$ je celková účinnosť spaľovacieho zariadenia.

Ak je využiteľnou formou energie elektrická energia, potom platí:

Pre OZE $f_{eli} = 1$ s výnimkou jadrovej energie, pre ktorú platí $f_{el} = 1/\eta_{nuk}$

Pre NOZE $f_{eli} = 1/(\eta_{eli} \cdot \eta_H)$

kde η_H zohľadňuje prvú konverziu na teplo a η_{eli} zohľadňuje konverziu z tepla na elektrickú energiu.

Teda, η_{eli} je priemerná účinnosť zariadenia i-teho typu na neobnoviteľný zdroj (vzťahujúceho sa na i-ty typ paliva: uhlie, plyn, ropa).

Ide o konverzné faktory vzťahujúce sa na jednotlivý zdroj alebo skupinu zdrojov rovnakého typu. Na výpočet celkového primárneho energetického faktora (PEF) pre výrobu elektrickej energie v danej krajine je potrebné zohľadniť podiel (sh) elektrickej energie priradenej ku každému zdroju. Teda platí

$$f_{el} = \sum_i (sh_i \cdot f_{eli})$$

Tieto faktory sa zvyčajne používajú aj na skupiny zdrojov rovnakého charakteru, napríklad

$$f_{el} = sh_{RES} \cdot f_{el RES} + sh_{NRES} \cdot f_{el NRES}$$

f_{el} je priemerný primárny energetický faktor (PEF) pre **elektrickú energiu** v danej krajine,

sh_{RES} je **podiel elektrickej energie** pochádzajúcej z obnoviteľných zdrojov v danej krajine,

Pričom

$$f_{el\ RES} = \frac{\sum_i (sh_i \cdot f_{el\ i})_{RES}}{\sum_i (sh_i)_{RES}} \quad f_{el\ NRES} = \frac{\sum_i (sh_i \cdot f_{el\ i})_{NRES}}{\sum_i (sh_i)_{NRES}}$$

A

Strana | 105

$$sh_{RES} = \sum_i (sh_i)_{RES} \quad sh_{NRES} = \sum_i (sh_i)_{NRES} \quad sh_{RES} + sh_{NRES} = 1$$

V prípade neexistencie podielu jadrovej energie to bude

$$f_{el} = sh_{RES} + (1 - sh_{RES}) \cdot f_{el\ NRES}$$

Príležitostne sa v literatúre možno stretnúť s nasledujúcim vzorcom

$$f_{el} = f_{el\ RES}^* + f_{el\ NRES}^*$$

V takomto prípade však inverzné hodnoty členov f^* už nie sú priemernými účinnosťami.

Tepelná účinnosť – vyjadruje účinnosť premeny vstupnej energie na využiteľné teplo. Zvyčajne sa udáva ako pomer užitočného výstupného tepla k celkovému vstupu energie (z vonkajšieho prostredia). V najjednoduchšom prípade zohľadňuje iba tepelné straty v zdroji tepla a v sieti CZT. Ak sú súčasťou systému aj ďalšie zariadenia alebo podsystémy, je potrebné započítať aj ďalšie príspevky. Ak je zdrojom tepla „extrakčno-kondenzačná“ KVET, potom sa veľká časť tepla stráca do prostredia cez nízkotlakový kondenzátor. Ak sa ako zariadenie na zvýšenie teploty použije absorpčné tepelné čerpadlo, opäť dochádza k významnému úniku tepla do prostredia. Na celkovú tepelnú účinnosť systému teda prispievajú ako systémy energetickej integrácie, tak aj systémy na zvyšovanie teploty, a to prostredníctvom dodaného tepla alebo mechanickej energie.

Od tohto miesta sa zohľadňujú len elektrické/mechanické príspevky pochádzajúce zvonka sústavy CZT.

Symbolicky máme:

$$\eta_{th} = \frac{Q_{DH}}{\sum_i Q_{in\ i} + \sum_j L_{in\ j}}$$

Faktor obnoviteľnej primárnej energie (NRPEF) pre teplo - Označuje množstvo obnoviteľnej primárnej energie (s výnimkou jadrovej energie), ktoré je potrebné na dodanie jednej jednotky **tepelnej energie koncovému používateľovi**. Nižšie hodnoty NRPEF poukazujú na udržateľnejší systém, pretože na výrobu požadovaného množstva tepelnej energie je potrebné menej obnoviteľnej (fosílny) primárnej energie.

$$f_{p,DH} = \frac{\sum_i Ep_{NRES} \dot{Q}_{in\ i} + \sum_j Ep_{NRES} \dot{L}_{in\ j}}{Q_{DH}}$$

Kde členy $Ep()$ predstavujú primárnu energiu spojenú s neobnoviteľnými energetickými vstupmi $\dot{Q}_{in}$ a $\dot{L}_{in}$.

$$f_{p,DH} = \frac{f_H \dot{Q}_{NRES} + sh_{NRES} f_{el,NRES} \sum_j \dot{L}_{in,j}}{\dot{Q}_{DH}}$$

Strana | 106

f_H a $f_{el,NRES}$ ako je definované

Podiel energie z obnoviteľných zdrojov – Predstavuje podiel vstupnej energie vyrobenej z obnoviteľných zdrojov. Vyšší podiel obnoviteľnej a jadrovej energie poukazuje na udržateľnejší systém centralizovaného zásobovania teplom. Zvolený index zohľadňuje podiel obnoviteľnej energie na výrobe elektrickej energie v danej krajine.

$$R_{sh} = \frac{\sum_i \dot{Q}_{RES,i} + sh_{RES} \sum_j \dot{L}_{in,j}}{\sum_i \dot{Q}_{in,i} + \sum_j \dot{L}_{in,j}} = \eta_{th} \frac{\sum_i \dot{Q}_{RES,i} + sh_{RES} \sum_j \dot{L}_{in,j}}{\dot{Q}_{DH}}$$

Odpadové zdroje sa považujú za obnoviteľné zdroje.

Úspory fosílnych palív (FFS) – lokálny index, ktorý vyjadruje relatívnu úsporu fosílnych palív, sa odvodzuje porovnaním medzi posudzovaným systémom a referenčným systémom. Ak aktuálny systém využíva existujúci fosílny zdroj, ako napríklad kotol alebo Kvet, porovnanie sa vykonáva voči tomuto zdroju napojenému na jednoduchú sieť CZT bez integrácií alebo zvyšovania teploty. V opačnom prípade je referenčnou elektrárnou sieť CZT vykurovaná jednoduchým kotlom. Tento index súvisí s lokálnym znížením emisií CO_2 , hoci existujú špecifickejšie a vhodnejšie ukazovatele.

$$FFS = \frac{\dot{Q}_{NRES_ref} - \dot{Q}_{NRES}}{\dot{Q}_{NRES_ref}} = 1 - \frac{\dot{Q}_{NRES}}{\dot{Q}_{NRES_ref}}$$

Úspory primárnej energie z fosílnych palív (PFFES) – globálny index. Rovnako ako predchádzajúci index, vyjadruje úsporu primárneho fosílného paliva ako pomer primárnej energie z fosílnych palív ušetrenej posudzovaným systémom v porovnaní so základným referenčným systémom, delený primárnou energiou z fosílnych palív spotrebovanou základným systémom. Vzťahom:

$$PFFES = \frac{Ep_{NRES_ref} - Ep_{NRES}}{Ep_{NRES_ref}}$$

Na rozdiel od predchádzajúceho indexu tento zohľadňuje aj konverziu potrebnú na výrobu elektrickej energie na prevádzku zariadení na zvyšovanie teploty.

$$PFFES = 1 - \frac{f_H \cdot \dot{Q}_{NRES} + sh_{NRES} f_{el,NRES} \sum_j \dot{L}_{in,j}}{f_H \cdot \dot{Q}_{NRES_ref}}$$

Uhlíková intenzita - CO₂ Emisie v t/MWh: Meria množstvo CO₂ emitovaného na jednu jednotku dodanej tepelnej energie. Tento ukazovateľ pomáha posúdiť environmentálny dopad sústavy centralizovaného zásobovania teplom. Obnoviteľné zdroje energie, ako napríklad solárne tepelné systémy, produkujú takmer nulové emisie CO₂, takže ich uhlíková intenzita je veľmi nízka – predpokladáme ju ako nulovú. Vyhodnocujeme **lokálny emisný index**, ktorý zohľadňuje iba fosílna palivá použité v zariadení na výrobu tepla (referenčne sa uvažuje uhlie). Tento index môže súvisieť s potenciálnymi nákladmi na daň z emisií CO₂ alebo emisné povolenky. Zároveň stanovujeme **globálny emisný index**, ktorý navyše zahŕňa aj emisie CO₂ spojené s elektrickou energiou prípadne použitou pri technológiách zvyšovania teploty, napríklad pri použití tepelných čerpadiel. Tento druhý index lepšie odzrkadľuje celkový environmentálny dopad systému. Tieto dva indexy sa vypočítavajú nasledovne:

$$CI_{local} = \frac{f_H e_{CO_2 x} \cdot Q_{NRES}}{Q_{DH}}$$

$$CI_{global} = \frac{f_H e_{CO_2 x} \cdot Q_{NRES} + \left(\sum_k e_{CO_2 k} \frac{sh_{NRES k}}{\eta_{el k} \cdot \eta_H} \right) \left(\sum_j L_{in j} \right)}{Q_{DH}}$$

$e_{CO_2 k}$ je CO₂ emisný faktor paliva priradeného k k-tej neobnoviteľnej zdrojovej sústave použitej pri výrobe elektrickej energie, zatiaľ čo $e_{CO_2 x}$ sa vzťahuje na palivo použité v horáku sústavy CZT, ak je prítomný.

V tomto kontexte bude výstup analýzy obmedzený na nasledujúce parametre:

- Tepelná účinnosť
- Podiel energie z obnoviteľných zdrojov
- Úspora fosílnych palív
- Uhlíková intenzita

Teda:

$$\eta_{th} = \frac{Q_{DH}}{\sum_i Q_{in i} + \sum_j L_{in j}} \quad (13)$$

$$R_{sh} = \eta_{th} \frac{\sum_i Q_{RES in i} + sh_{RES} \sum_j L_{in j}}{Q_{DH}} \quad (14)$$

$$FFS = 1 - \frac{Q_{NRES}}{Q_{NRES_ref}} \quad (15)$$

$$CI_{local} = \frac{f_H e_{CO_2 x} \cdot Q_{NRES}}{Q_{DH}} \quad (16)$$

$$CI_{global} = \frac{f_H e_{CO_2 x} \cdot Q_{NRES} + \left(\sum_k e_{CO_2 k} \frac{sh_{NRES k}}{\eta_{el k} \cdot \eta_H} \right) \left(sh_{NRES} \sum_j L_{in j} \right)}{Q_{DH}} \quad (17)$$

Okrem toho bude uvedená spotreba elektrickej energie (z obnoviteľných (RES)/neobnoviteľných zdrojov (NRES)).

Na výpočet pre jednotlivé uvažované krajiny sa zohľadňujú nasledujúce číselné údaje⁵:

Tabuľka 4 – Podiel zdrojov na výrobe elektriny

Podiel elektrickej energie	Litva	Poľsko	Slovensko
Fosílna (sh_{NRES})	0,24	0,73	0,15
Jadrové	0,00	0,00	0,62
Obnoviteľné (sh_{RES})	0,76	0,27	0,85

Tabuľka 5 – Podiel palív na výrobe elektriny

Podiel neobnoviteľné zdroje sh_{NRES}	Litva	Poľsko	Slovensko
Uhlie	0,000	0,786	0,224
Zemný plyn	0,321	0,110	0,386
Vykurovací olej	0,354	0,039	0,128
Bioplyn	0,007	0,002	0,008
Drevo	0,318	0,062	0,255

Tabuľka 6 – Priemerný faktor emisií pre rôzne zdroje.

Faktor emisií	e_{CO_2} [t/MWh]
Uhlie	0,354
CH ₄	0,20196
Vykurovací olej	0,249
Bioplyn	0,197
Drevo	0,403

⁵ Údaje sú získané z <https://ourworldindata.org/electricity-mix> alebo odhadnuté podľa uvedených definícií.

Tabuľka 7 – Priemerná účinnosť elektrární podľa uvažovaného primárneho energetického zdroja.

Priemerná účinnosť	η_i
Uhlie	0,34
CH ₄	0,50
Vykurovací olej	0,40
Bioplyn	0,50
Drevo	0,34

UKAZOVATEĽ EKONOMICKEJ VÝKONNOSTI

Sústavy centralizovaného zásobovania teplom (CZT) poskytujú tepelnú energiu rôznym typom budov prostredníctvom siete izolovaných potrubí. Tieto systémy využívajú rôzne zdroje tepla, ako sú solárna energia, biomasa, geotermálna energia, odpadové teplo a fosílna palivá, a môžu výrazne zvýšiť energetickú efektívnosť a znížiť emisie skleníkových plynov. Na zabezpečenie úspešnej implementácie a prevádzky zariadení CZT je nevyhnutná dôkladná ekonomická a finančná analýza. V kontexte tejto myšlienky sa ďalej obmedzíme na načrtnutie hlavných výkonnostných parametrov používaných na ekonomickú a finančnú charakterizáciu systému. Model sa následne aplikuje na 10 konkrétnych prípadov s cieľom posúdiť ich celkovú realizovateľnosť.

Štandardné metódy ekonomickej a finančnej analýzy pre zariadenia centralizovaného zásobovania teplom zahŕňajú niekoľko kľúčových krokov a nástrojov, vrátane:

- **Investičné náklady (Capital Cost Expenditure) (C₀)[CAPEX]:** To zahŕňa výpočet počiatočnej investície potrebnej na realizáciu rekonštrukcie, integrácie a modernizácie existujúcej sústavy centralizovaného zásobovania teplom, vrátane nákladov na zariadenia, projektovanie, výstavbu, obstaranie pozemku (napr. pre integráciu solárnej energie) a pripojenie na distribučnú sieť. Tieto náklady sú výrazne ovplyvnené zvoleným zdrojom NPOZE a môžu byť obzvlášť nízke, ak zariadenie využíva existujúci fosílny zdroj, ktorý má byť čiastočne doplnený inými zdrojmi. Spomedzi využiteľných zdrojov môže prítomnosť priemyselného zdroja tepla alebo zdroja tepla pre obytné budovy (s vhodnou výstupnou teplotou) v blízkosti zariadenia ďalej znížiť investičné náklady.
- **Prevádzkové a údržbové náklady (Operating and Maintenance Costs) [OPEX]:** Odhad priebežných nákladov súvisiacich s palivom, pracovnou silou, údržbou, administratívnymi réžiami a ďalšími prevádzkovými činnosťami je kľúčový pre pochopenie dlhodobých finančných nárokov..
- **Predikcia výnosov:** Odhad potenciálnych príjmov z predaja tepelnej energie zákazníkom. To zahŕňa zohľadnenie rôznych tarifných štruktúr, možných dotácií a stimulov poskytovaných vládami alebo regulačnými orgánmi. V konkrétnych prípadoch, ktoré budú rozpracované, sa tieto príjmy nebudú brať do úvahy, keďže cieľom analýzy je určiť rádovú hodnotu priemerných nákladov na výrobu tepelnej energie (LCOH). Ostatné ukazovatele, ktoré sú tu uvedené pre úplnosť, sa nebudú uvádzať, pretože sú silne ovplyvnené aktuálnymi trhovými podmienkami a možnými stimulmi, ktoré musia byť špecifikované v podrobnejšej finančnej analýze. Tieto údaje budú potrebné pri návrhu konkrétnych riešení v jednotlivých krajinách. Taktiež sa predpokladá,

že referenčné zariadenie bude vyrábať rovnaké množstvo tepla, a bude sa počítať iba priemerná cena výroby tepla (LCOH).

- **Čistá súčasná hodnota (Net Present Value) (NPV) a Vnútorné výnosové percento (Internal Rate of Return) (IRR):** Tieto finančné ukazovatele sú kľúčové pre posúdenie ziskovosti projektu. NPV (čistá súčasná hodnota) vypočítava rozdiel medzi súčasnou hodnotou peňažných príjmov a výdavkov. Je potrebné zohľadniť investičné náklady aj náklady na demontáž. Keďže výpočet NPV zohľadňuje časovú hodnotu peňazí, budúce náklady na demontáž musia byť diskontované na ich súčasnú hodnotu pomocou príslušnej diskontnej sadzby.

Strana | 110

IRR určuje diskontnú sadzbu, pri ktorej sa NPV rovná nule, čo naznačuje očakávaný výnos projektu.

Použité boli nasledujúce vzorce:

$$NPV = -C_0 + \sum_{k=1}^N \frac{C_k}{(1+r)^k} \quad ,\text{M€} \quad (18)$$

$$0 = -C_0 + \sum_{k=1}^N \frac{C_k}{(1+IRR)^k} \quad (19)$$

C_0 predstavuje počiatočné investičné náklady projektu a C_k sú peňažné toky vzťahujúce sa k roku k . r je diskontná sadzba.

- **Index ziskovosti (Profitability Index) (PI):** Je definovaný ako súčasná hodnota budúcich peňažných tokov vydelená počiatočnými nákladmi projektu a predstavuje užitočný nástroj na hodnotenie projektov, keďže umožňuje kvantifikovať množstvo vytvorenej hodnoty na jednotku investície. Index ziskovosti s hodnotou 1 označuje bod zvratu. Akákoľvek hodnota pod 1 znamená, že súčasná hodnota budúcich peňažných tokov projektu je nižšia než počiatočná investícia. So zvyšujúcou sa hodnotou indexu ziskovosti rastie aj finančná atraktivnosť navrhovaného projektu.

$$PI = \frac{\sum_{k=1}^N \frac{C_k}{(1+r)^k}}{C_0} \quad (20)$$

- **Diskontovaná doba návratnosti (Discounted Payback Period) (DPP):** Odhad trvania potrebného na to, aby investícia vygenerovala dostatočný peňažný tok na návratnosť počiatočných kapitálových výdavkov. Pri výpočte sa diskontujú budúce peňažné toky, čím sa zohľadňuje časová hodnota peňazí. Diskontovaná doba návratnosti (DPP) sa neodporúča pri výbere vzájomne sa vylučujúcich alternatív, keďže nezohľadňuje rozdielnu veľkosť investícií.

$$0 = -C_0 + \sum_{k=1}^{DPP} \frac{C_k}{(1+r)^k} \quad ,\text{rokov} \quad (21)$$

- **Priemerné náklady na výrobu tepla (Levelized Cost of Heat) (LCOH):** LCOH je relevantný a často používaný ukazovateľ pre sústavy centralizovaného zásobovania teplom. Predstavuje priemerné náklady na jednotku vyrobeného tepla počas celej životnosti tepelného systému, pričom zohľadňuje všetky náklady spojené s jeho inštaláciou, prevádzkou, údržbou a prípadne aj demontážou. Tento komplexný prístup umožňuje lepšie pochopiť skutočné náklady na dodávku tepla počas životnosti systému. LCOH umožňuje porovnanie rôznych technológií výroby tepla a palivových zdrojov na jednotnom základe. Zainteresované strany tak môžu posúdiť ekonomickú životaschopnosť projektu centralizovaného zásobovania teplom, keďže LCOH pomáha určiť, či dokáže projekt dodávať teplo za konkurencieschopnú cenu v porovnaní s alternatívnymi spôsobmi vykurovania.

$$LCOH = \frac{-C_0 + \sum_{k=1}^N \frac{S_k}{(1+r)^k}}{\sum_{k=1}^N \frac{H_k}{(1+r)^k}} \quad , \text{€/MWh}_{Th} \quad (22)$$

Kde C_0 predstavuje počiatočné investičné náklady projektu S_k sú výdavky v roku k , a H_k je množstvo vyrobeného tepla v danom roku. V prípade súčasnej výroby elektrickej energie (napr. zdroj KVET) sa na rozdelenie a priradenie výdavkov používajú rôzne metódy. LCOH sa zvyčajne uvádza v jednotkách €/MWh_{Th} a predstavuje náklady v eurách na 1 tepelnú MWh dodanú do siete. Typicky rádoá hodnota LCOH sa pohybuje v rozmedzí od 30 do 100 €/MWh, v závislosti od krajiny, energetickej politiky, hlavných tepelných zdrojov a ďalších faktorov.

V tomto kontexte bude výstup analýzy obmedzený na nasledujúce parametre:

- CAPEX
- LCOH

Na výpočet kapitálových výdavkov (CAPEX) sa predpokladajú nasledujúce číselné údaje, pričom sa uvažujú rovnaké priemerné hodnoty pre Litvu, Poľsko a Slovensko. Všetky údaje sú špecifické vo vzťahu k inštalovanému výkonu zariadenia – k dodanému tepelnému výkonu pre všetky vykurovacie systémy a k elektrickému výkonu v prípade zariadení na kombinovanú výrobu elektriny a tepla.

Kapitálové výdavky (CAPEX) zahŕňajú náklady na komponenty zahrnuté v zariadeniach a náklady na projektovanie a výstavbu. Predpokladá sa, že tieto položky tvoria 60 % a 40 % z celkových kapitálových výdavkov. Ročné náklady na údržbu sa ďalej odhadujú ako 2 % z hodnoty CAPEX.

Pri navrhovaných výpočtoch sa vychádzalo z hodnôt CAPEX uvedených v Tabuľka 8 (European Commission, DG JRC,, 2017).

Tabuľka 8 – Kapitálové výdavky (CAPEX) pre jednotlivé analyzované technológie.

Uvažované technológie	CAPEX (€/kW)
<i>NPOZE</i>	
Parabolický solárny kolektor	2000
Fotovoltický panel	560
Plytký geotermálny systém	1200
Hlbinný geotermálny systém	3000
Odpadové teplo	400
<i>Referenčný vykurovací systém</i>	
Kotol	100
KVET (Expanzia)	1350
KVET (Protitlak)	1000
<i>Zlepšujúca technológia</i>	
TČ-PK	600
Parné TČ	700
ABS-TČ	400
MRP	550

Uvažované prevádzkové náklady (OPEX) zahŕňajú náklady na údržbu, palivo, elektrickú energiu a emisné povolenky na CO₂. V závislosti od konkrétneho prípadu môžu byť prítomné len niektoré z týchto položiek. Diskontná sadzba je stanovená na **pevnú ročnú hodnotu 5 %, pričom pre palivo a CO₂ sa uvažuje s ročným nárastom nákladov vo výške 0,5 %**. Finančné výsledky sa môžu meniť v závislosti od predpokladov o raste nákladov.

Údaje o nákladoch na energiu, palivá a CO₂ boli získané a upravené zo zdrojov (ENERDATA, 2023) a Eurostatu. Čo sa týka fosílnych palív, uvažuje sa iba uhlie alebo zemný plyn, keďže ide o najčastejšie používané palivá v sústavách CZT. V praxi sa však môžu použiť aj iné palivá, ako je uvedené v predchádzajúcich tabuľkách.

Tabuľka 9 – Náklady na energiu pre jednotlivé cieľové trhy.

NÁKLADY NA ENERGIU	Litva	Poľsko	Slovensko
Elektrická energia [€/kWh _{EL}]	0,15	0,18	0,19
Zelená elektrina s certifikátmi RECS [€/kWh _{EL}]	0,18	0,216	0,228
Uhlie [€/kWh _{TH}]	0,025	0,025	0,025
Zemný plyn [€/kWh _{TH}]	0,0357	0,0413	0,0634
CO ₂ emisie [€/ton]	70	70	70

ÚVOD

Z pôvodného súboru 24 možných stratégií integrácie existujúcich sústav CZT (centralizovaného zásobovania teplom) bolo z energetického a ekonomického hľadiska bližšie preskúmaných 10 prípadov. Konkrétne sa podrobné analýzy týkajú nasledujúcich riešení:

Strana | 113

5, 11, 13, 17, 18, 19, 20, 21, 22, a 24.

Prvé **dve** riešenia predstavujú modernizáciu s využitím existujúcej jednotky KVET (kombinovanej výroby elektriny a tepla) zapojenej do siete centralizovaného zásobovania teplom. Nasledujúce **štyri** riešenia sú vhodné pre sústavy pozostávajúce z kotlov, zatiaľ čo posledné **štyri** zahŕňajú čiastočnú alebo úplnú náhradu primárneho zdroja za NPOZE (nízkopotenciálny obnoviteľný zdroj energie).

Týchto 10 prípadov prešlo podrobnejšou energetickou a ekonomickou analýzou pomocou modelového prístupu opísaného v predchádzajúcej časti. Pozornosť sa sústredila na identifikáciu riešení, ktoré môžu dosiahnuť úspory fosílnych palív (%) a čo najnižšiu hodnotu priemerných nákladov na výrobu tepla (LCOH) (€/MWh_{TH}) spolu so znížením priamych emisií CO₂ (vyjadrených pomocou parametra uhlíkovej intenzity, ton/GWh_{TH}/rok). Zároveň sa skúmal vplyv externej spotreby elektrickej energie potrebnej pre technológie zvyšovania teploty, keďže tento parameter priamo ovplyvňuje spotrebu elektriny, a teda aj uhlíkové emisie a prevádzkové náklady. Zohľadnila sa aj možnosť využitia „zelenej elektriny s certifikáciou“, čo má priamy vplyv na zníženie uhlíkových emisií, ale zároveň zvyšuje náklady na elektrinu – a teda aj celkové prevádzkové náklady modernizovaného riešenia. Táto potreba elektriny, typická pre tepelné čerpadlá, si vyžaduje rozšírenie analýzy o zohľadnenie rozdielnych charakteristík energetického mixu v troch uvažovaných krajinách – Litve, Poľsku a Slovensku – a ich príslušných trhových podmienok.

Každá súhrnná tabuľka uvádza všeobecné údaje o konkrétnej sústave CZT (požiadavka na tepelnú energiu odberateľa, prevádzková teplota NPOZE, požadovaný tepelný príspevok z NPOZE – Elgeres, percentuálny podiel overenej zelenej elektriny – REC %, lokálne používané palivo – zemný plyn alebo štandardné uhlie, priemerný počet prevádzkových hodín ročne a veľkosť zásobníka tepelnej energie, ak je prítomný, vyjadrená ako tepelná kapacita v MWh).

DETAILNÁ ANALÝZA Č.1 (TECHNICKÉ RIEŠENIE Č. 05) – **EXTRAKČNÁ KJET: SOLÁRNA KONCENTRÁCIA**
VYSOKEJ TEPLoty ČIASTOČNÁ ALEBO ÚPLNÁ NÁHRADA VYSOKOTLAKOVÉHO EKONOMIZÉRA

PR. Č. 1

Základná referenčná technológia

- ☐ Kotel ☒ KJET ☐ Nové
Bod integrácie/ Teploty CZT
☐ Prívod/ 120°C ☐
Vrátno/ 60°C
☒ Žiadne (v rámci KJET)

Hlavné využívané NPOZE

- ☒ Solár ☐ Geotermál
☐ Odpad ☐ Biomasa
☐ Iné

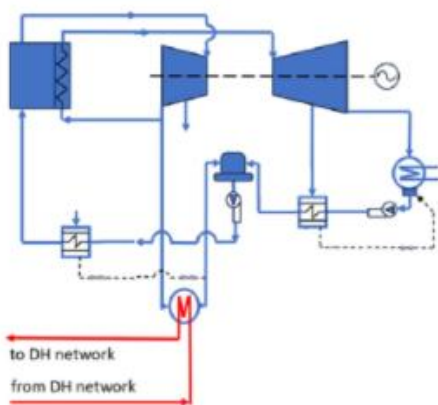
Zlepšujúca technológia

- ☒ ATE + ☐ TČ-PK
☐ MRP ☐ ABS-TČ
☐ Iná ☒ Žiadna

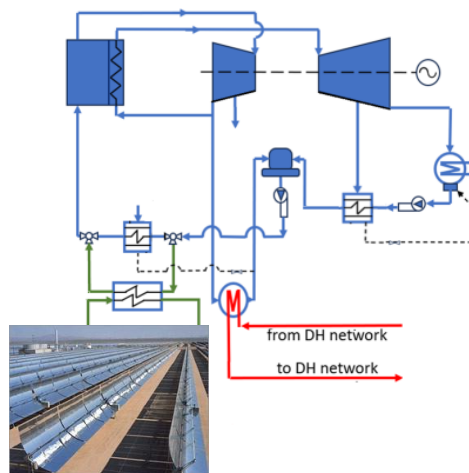
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie –
extrakčná/kondenzačná KJET (zjednodušená)



Nová koncepcia s priamou solárnou integráciou



Základný systém určený na modernizáciu využíva odber pary pred nízkotlakovou turbínou na pokrytie potreby tepla z CZT. Nové riešenie využíva vysokoteplotné solárne pole zapojené paralelne k sústave vysokoteplotných ohrievačov napájacej vody, čím pokrýva požadované percento tepelných nárokov KJET kotla (predohrev kotla). Riešenie môže zabezpečiť jednoduchý predohrev kotla, ak je dostupná teplota NPOZE do 150 °C, alebo hĺbkový predohrev pri vyššej teplote. Na tento účel musí byť výparný tlak KJET nastavený tak, aby zodpovedal teplote nasýtenia 230–240 °C (30–35 bar), čo umožní, aby horúce médium z NPOZE spôsobilo fázovú premenu v kotle. Za týchto podmienok je možné dosiahnuť úsporu paliva až 50 % a viac.

Podobné výsledky možno dosiahnuť aj v prípade dostupnosti vysokoteplotného odpadového tepla. Hlavný rozdiel spočíva v prípadnej potrebe zásobníka tepelnej energie, ak ide o prerušovaný (intermitentný) zdroj.

Uvažovaný NPOZE nevyžaduje špeciálnu technológiu na zvyšovanie teploty, keďže prevádzková teplota je zvyčajne dostatočne vysoká vďaka solárnej koncentrácii. Na správne prispôbenie tepelným nárokom zariadenia je však potrebné použiť TES (zásobník tepelnej energie), ak ide o zdroj s časovo

premenlivým výkonom (napr. solárny zdroj).

Uvažovaná konfigurácia KVET (tradičná technológia spaľovania uhlia, znázornená vľavo) využíva odber pary z parnej turbíny pred vstupom do nízkotlakovej turbíny na pokrytie potreby tepla z CZT. Je možné inštalovať tepelné pole NPOZE (znázornené zelenou farbou v schéme vpravo) na vysokotlakovom okruhu, paralelne so sústavou vysokoteplotných ohrievačov napájacej vody, čím sa pokryje požadované percento tepelných nárokov kotla. Príspevok ohrievačov napájacej vody možno úplne vylúčiť.

Táto konfigurácia môže fungovať ako predohrev kotla, ak je realizovaná s NPOZE zdrojmi schopnými dodávať teplotu v rozsahu od 130 °C do 250 °C. Ak však dodatočný zdroj dokáže zabezpečiť teploty až do maximálnej prevádzkovej teploty zariadenia (napr. 500 °C až 600 °C), môže čiastočne alebo úplne nahradiť kotol. Miera integrácie tak môže byť aj veľmi vysoká.

Skutočné zníženie emisií a úspory fosílnych palív (ÚFP) – ktoré sú spravidla vysoké – budú závisieť od zvoleného režimu prevádzky: predohrev kotla alebo jeho náhrada. V prípade predohrevu možno dosiahnuť zvýšenie ÚFP základného systému až približne o 30 %.

Pri úplnej náhrade kotla zdrojom NPOZE úspora fosílnych palív logicky dosiahne 100 %.

Finančný odhad nezahŕňa náklady na pozemok spojené s inštaláciou solárneho poľa.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: Parabolický solárny žľab

STP: 10 – Dobré zavedená a dostupná technológia

Prevádzková teplota NPOZE: do 260 °C.

Prevádzková teplota integrácie: do 250 °C (predohrev) / 500 °C (náhrada kotla).

Údaje o CZT

Potreba tepla odberateľov CZT (MW)	T _{lgeres} (°C)	Q _{lgeres} (MW)	RECs %	Miestne palivo	Prevádzkové hodiny (h/rok)	Kapacita ATE (MWh)
10.0	200	5	0%	zemný plyn	4380	15

KPIs	Litva		Poľsko		Slovensko	
	NPOZE	BS	NPOZE	BS	NPOZE	BS
El _{RES_in} (*) (GWh/rok)	0,00	0	0,00	0	0,00	0
El _{NRES_in} (*) (GWh/rok)	0,00	0	0,00	0	0,00	0
Podiel OZE (%)	19,7%	0	19,7%	0	19,7%	0
ÚFP (%)	19,7%	0	19,7%	0	19,7%	0
Cl _{loc} (tCO ₂ /GWh _{th})	457,9	570,1	457,9	570,1	457,9	570,1
Cl _{glob} (*) (tCO ₂ /GWh _{th})	457,9	570,1	457,9	570,1	457,9	570,1
CAPEX (M€/MW _t)	1,03	1,35	1,03	1,35	1,03	1,35

LCOH (€/MWh _t) – 20rokov	60	51	63	54	78	71
(*)vrátane dodávky elektrickej energie s certifikáciou zelenej energie NPOZE = Nízkopotenciálny obnoviteľný zdroj energie BS = Bežný stav (referenčný scenár)						
Silné stránky			Slabé stránky			
- Môže úplne nahradiť využívanie fosílnych palív - Výborné ukazovatele úspor			- Ťažko realizovateľné ako integrácia na vratnej strane CZT (vyžaduje výrazné úpravy v KVET zariadení). - Neposkytuje možnosť využitia nízkoteplotných zdrojov.			
Hlavné odporúčania						
- Odporúčané tak na úplné, ako aj čiastočné nahradenie fosílnych palív. - Vyžaduje stredne až vysokoteplotné zdroje (neaplikovateľné pre zdroje so strednou teplotou, <140°C).						

DETAILNÁ ANALÝZA Č. 2 (TECHNICKÉ RIEŠENIE Č. 11) - **EXTRAKČNÁ KVET**: PLOCHÝ SOLÁRNY PANEL +
PARNÉ TČ-PK NA VRATNEJ STRANE CZT A VRATNY/PRÍVODNÝ OBTOK

PR. č. 2

Základná referenčná
technológia

☐ Kotel ☒ KVET ☐ Nové
Bod integrácie/ Teploty CZT
☐ Prívod/ 120°C ☒ Vratne/
60°C ☐ Žiadne

Hlavné využívané
NPOZE

☒ Solár ☐ Geotermál
☐ Odpad ☐ Biomasa
☐ Iné

Zlepšujúca
technológia

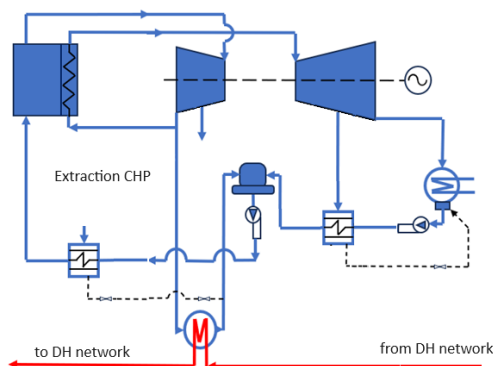
☒ ATE + ☒ TČ-PK
☒ MRP ☐ ABS-TČ
☐ Iná ☐ Žiadna

Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

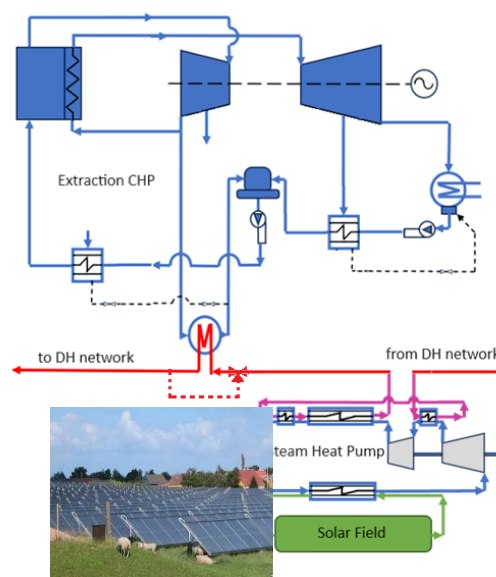
Strana | 117

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie –
extrakčná/kondenzačná KVET (zjednodušená)



Nová koncepcia so **solárnym poľom + parné TČ**



Uvažovaná konfigurácia KVET (tradičná technológia spaľovania uhlia, znázornená vľavo) využíva odber pary z parnej turbíny pred vstupom do nízkotlakovej turbíny na pokrytie tepelnej potreby CZT. Nové riešenie využíva pole plochých solárnych kolektorov (s priemernou teplotou okolo 50 °C) v kombinácii s parným výparníkovým tepelným čerpadlom (TČ-PK, uzavretý cyklus s mechanickým stláčaním pary – MRP), ktoré zabezpečuje zvýšenie teploty až na približne 100 až 120 °C na vratnom potrubí CZT. Možné sú aj samostatné riešenia (TČ-PK až do 140 °C) s využitím obtokovej regulácie medzi vratným a výstupným potrubím. Potreba technológie na zvýšenie teploty vyplýva z nízkej výstupnej teploty tohto NPOZE, ktorá je nižšia než teplota vratného potrubia CZT.

Takýmto spôsobom je časť tepelného výkonu CZT zabezpečená zo solárneho zdroja, časť z výkonu kompresora a zvyšok z odberového kondenzátora KVET. Znížením odberu tepla z KVET sa zároveň zvyšuje dostupný elektrický výkon turbíny, čo čiastočne kompenzuje spotrebu elektrickej energie kompresora. Axiálne parné kompresory používané v tomto type tepelných čerpadel dosahujú typicky účinnosť okolo 0,8, čo vedie k hodnote COP (výkonového čísla) v rozsahu od 3,5 do 4. Systém zvyšovania teploty môže

pokryť aj potrebu tepla z CZT, pričom dosahuje výraznú úsporu paliva. V tomto prípade (integrácia solárneho poľa s výkonom 5 MW) dosahuje úspora fosílnych palív (ÚFP) viac než 65 %. Podiel obnoviteľnej energie možno ďalej zvýšiť zapojením dodávky elektriny s certifikáciou zelenej energie (v tomto prípade RECs = 50 %). Vďaka schopnosti parného tepelného čerpadla zvyšovať teplotu môže byť sústava CZT realizovaná aj ako samostatné riešenie, nezávislé od existujúceho KVET. V prípade využitia NPOZE s obtokovou reguláciou možno systémy posudzovať samostatne, s výkonnosťou porovnateľnou s prípadmi 7 a 8. V tomto scenári už maximálna kapacita systému NPOZE nezávisí od kapacity KVET a môže zásobovať aj ďalšiu sieť CZT.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: ploché solárne kolektory alebo kolektory s vákuovými trubicami + parné tepelné čerpadlo (uzavretý cyklus MRP) + akumulácia tepelnej energie (ATE)

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia. Vyžaduje presný inžiniersky návrh.

Prevádzková teplota NPOZE: spodný stupeň solárneho poľa s výstupnou teplotou do 50–60 °C, parné tepelné čerpadlo so zvyšovaním teploty až na 120–140 °C (COP približne 4 pri štandardnom zariadení – exergetická účinnosť 0,5). Konkrétne výkonnostné parametre je potrebné určiť na základe podrobnej analýzy.

Prevádzková teplota integrácie: až do 120°C (môže byť využitá v podobe integrácie ekonomizéra KVET, alebo ako samostatné riešenie).

Finančný odhad nezahŕňa náklady na pozemok spojené s inštaláciou solárneho poľa.

Údaje o CZT

Potreba tepla odberateľov CZT (MW)	T _{Igeres} (°C)	Q _{Igeres} (MW)	RECs %	Miestne palivo	Prevádzkové hodiny (h/rok)	Kapacita ATE (MWh)
10,0	55	5	50%	zemný plyn	4380	21

KPIs	Litva		Poľsko		Slovensko	
	NPOZE	BS	NPOZE	BS	NPOZE	BS
El _{RES_in} (*) (GWh/rok)	7,57	0	5,46	0	7,96	0
El _{NRES_in} (*) (GWh/rok)	1,03	0	3,14	0	0,65	0
Podiel OZE (%)	42,2%	0	35,9%	0	43,4%	0
ÚFP (%)	66,9%	0	66,9%	0	66,9%	0
Cl _{loc} (tCO ₂ /GWh _{th})	189,0	570,1	189,0	570,1	189,0	570,1
Cl _{glob} (*) (tCO ₂ /GWh _{th})	208,1	570,1	265,6	570,1	201,6	570,1
CAPEX (M€/MW _t)	0,51	1,35	0,51	1,35	0,51	1,35
LCOH (€/MWh _t) – 20rokov	70	51	80	54	87	71

(*)vrátane dodávky elektrickej energie s certifikáciou zelenej energie NPOZE = Nízkopotenciálny obnoviteľný zdroj energie BS = Bežný stav (referenčný scenár)						
Silné stránky			Slabé stránky			
- Jednoduchá integrácia s existujúcou sústavou CZT a možnosť inštalácie ako samostatné riešenie v sieti CZT - Možnosť zvýšiť tepelný výkon dodávaný užívateľom - Dobré ukazovatele úspor (najmä pre samostatné riešenie)			- Vyžaduje dodatočný elektrický zdroj pre kompresor. - Musí sa spájať s nízkymi teplotami			
Hlavné odporúčania						
- Odporúča sa na použitie pri nízkych teplotách (<60°C). - Odporúča sa aj v prípade, že je potrebné zvýšiť tepelný výkon v CZT.						

DETAILNÁ ANALÝZA Č. 3 (TECHNICKÉ RIEŠENIE Č. 13) – PREDOHREV KOTLA ALEBO NÁHRADA S
INTEGRÁCIOU SOLÁRNYCH PARABOLICKÝCH KOLEKTOROV

PR. č. 3

Základná referenčná
technológia
☒ Kotel ☐ KVET ☐ Nové
Bod integrácie/ Teploty CZT
☐ Prívod/ 120°C ☐
Vrátno/ 60°C ☒ Žiadne (v
rámci kotlového systému)

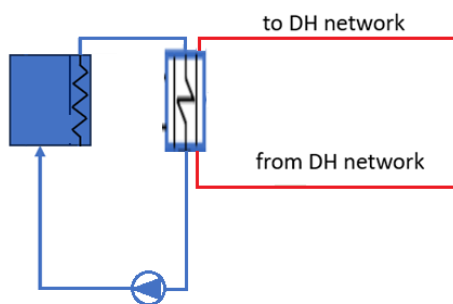
Hlavné využívané
NPOZE
☒ Solár ☐ Geotermál
☐ Odpad ☐ Biomasa
☐ Iné

Zlepšujúca
technológia
☒ ATE + ☐ TČ-PK
☐ MRP ☐ ABS-TČ
☐ Iná ☒ Žiadna

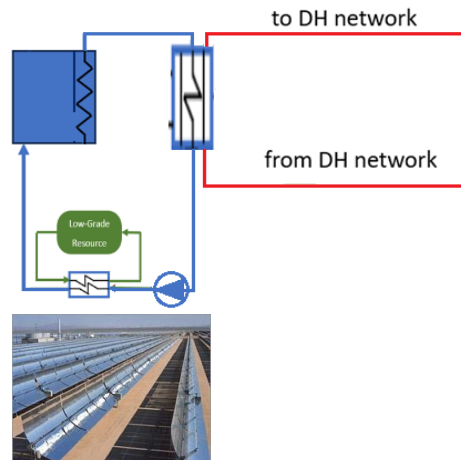
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – jednoduchý kotel
(zjednodušená)



Kotel s vysokoteplotným solárnym poľom
(parabolické kolektory)



Uvažovaná konfigurácia kotla (tradičná technológia spaľovania uhlia alebo plynu, znázornený vľavo) je systém s tlakovou vodou, ktorý dodáva vodu s teplotou približne 130 °C do hlavného výmenníka tepla (napr. rúrkový výmenník s plášťom a špirálou), zatiaľ čo sekundárny okruh zabezpečuje dodávku tepla do CZT pri teplote približne 110 °C až 120 °C. Na rozdiel od konfigurácií KVET tu nedochádza k výrobe elektrickej energie, čo znamená, že vykurovací systém je jednoduchší a ľahšie riaditeľný. Prevádzkové teploty a tlaky sú zároveň nižšie.

Nové riešenie využíva vysokoteplotné solárne pole (parabolický solárny kolektor – potenciálne až do 250 °C) na predohrev vody v kotle, čím pokrýva požadované percento tepelnej potreby CZT. Aby takáto prevádzka bola možná, musia byť zdroje NPOZE schopné dodávať teploty v rozsahu 90 °C až 110 °C, pričom pri teplote okolo 140 °C môže tento zdroj kotol úplne nahradiť. Miera náhrady fosilnej energie tak môže byť veľmi vysoká. V takomto prípade je potrebné nasadiť aj systém akumulácie tepelnej energie (ATE). Ak však integrácia slúži len ako predohrev, ATE nie je nevyhnutná a kotel môže modulovať svoj výkon tak, aby dodal zvyšné teplo, ktoré nie je pokryté solárnym zdrojom. Výber konkrétnej konfigurácie bude závisieť predovšetkým od ekonomických úvah. Tento typ integrácie možno realizovať ako v okruhu

kotla, tak aj priamo v rozvodnej vetve siete CZT (pozri prípad 4).

Veľkosť NPOZE nemôže presiahnuť kapacitu pôvodného systému, pretože by nemohla byť plne využitá výmenníkom tepla. Úspory fosílnych palív (ÚFP) pôvodného kotla môžu dosiahnuť až 100 % v závislosti od zvoleného režimu prevádzky – predohrev alebo náhrada kotla. Pri úplnej náhrade kotla (čo nie je jednoduché pri využití solárnej energie, ale môže byť realizovateľné napríklad pri niektorých priemyselných odpadových teplách) môžu úspory aj zníženie emisií dosiahnuť 100 %.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: koncentrované parabolické solárne kolektory + vysokoteplotná ATE

STP:10 – Dobre zavedená a dostupná solárna technológia

Prevádzková teplota NPOZE: až do 220÷240°C

Prevádzková teplota integrácie: až do 140°C, v závislosti od konfigurácie hlavného výmenníka tepla.

Finančný odhad nezahŕňa náklady na pozemok spojené s inštaláciou solárneho poľa.

Výpočet priemerných nákladov na výrobu tepla (LCOH) je výrazne ovplyvnený energetickou a palivovou politikou jednotlivých krajín.

Údaje o CZT

Potreba tepla odberateľov CZT (MW)	T _{Igeres} (°C)	Q _{Igeres} (MW)	RECs %	Miestne palivo	Prevádzkové hodiny (h/rok)	Kapacita ATE (MWh)
10,0	140	5	0%	zemný plyn	4380	15

KPIs	Litva		Poľsko		Slovensko	
	NPOZE	BS	NPOZE	BS	NPOZE	BS
El _{RES_in} (*) (GWh/rok)	0,00	0	0,00	0	0,00	0
El _{NRES_in} (*) (GWh/rok)	0,00	0	0,00	0	0,00	0
Podiel OZE (%)	48,0%	0	48,0%	0	48,0%	0
ÚFP (%)	48,0%	0	48,0%	0	48,0%	0
Cl _{loc} (tCO ₂ /GWh _{th})	121,6	233,8	121,6	233,8	121,6	233,8
Cl _{glob} (*) (tCO ₂ /GWh _{th})	121,6	233,8	121,6	233,8	121,6	233,8
CAPEX (M€/MW _t)	1,03	0,1	1,03	0,1	1,03	0,1
LCOH (€/MWh _t) – 20rokov	51	53	54	59	68	81

(*)vrátane dodávky elektrickej energie s certifikáciou zelenej energie

NPOZE = Nízkopotenciálny obnoviteľný

zdroj energie	
BS = Bežný stav (referenčný scenár)	
Silné stránky	Slabé stránky
- Jednoduchá integrácia s existujúcim CZT zariadením - Môže nahradiť viac než 50 % spotreby fosílnych palív - Veľmi dobré ukazovatele úspor	- Má úzke rozpätie prevádzkových teplôt - Integrácia ATE a kotla (aspoň menšieho) je kľúčová - Je potrebná kvalitná údržba
Hlavné odporúčania	
- Odporúčané najmä na čiastočnú náhradu fosílnych palív. - Vyžaduje zdroje so strednou teplotou (nie je vhodné na využitie so zdrojmi s miernou teplotou (<80 °C)).	

DETAILNÁ ANALÝZA Č.4 (TECHNICKÉ RIEŠENIE Č. 17) – **INTEGRÁCIA ALEBO NÁHRADA** KOTLA
VYSOKOTEPLNOTNÝMI PARABOLICKÝMI SLNEČNÝMI KOLEKTORMI S VYSOKOTEPLNOTNOU ATE

PR. č. 4

Základná referenčná technológia

- ☒ Kotel ☐ KVET ☐ Nové
Bod integrácie/ Teploty CZT
☐ Prívod/ 120°C ☒
Vrátne/ 60°C
☐ Žiadne

Hlavné využívané NPOZE

- ☒ Solár ☐ Geotermál
☐ Odpad ☐ Biomasa
☐ Iné

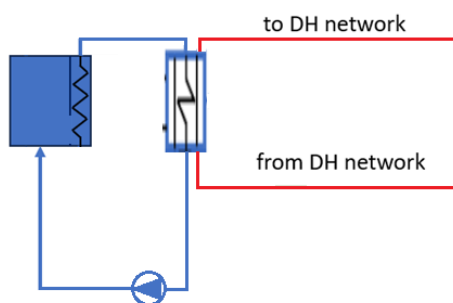
Zlepšujúca technológia

- ☒ ATE + ☐ TČ-PK
☐ MRP ☐ ABS-TČ
☐ Iná ☒ Žiadna

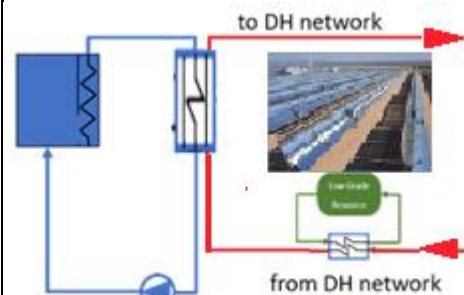
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☒ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – jednoduchý kotel (zjednodušená)



Integrácia kotla so **solárnym poľom a vysokoteplotnou ATE**



Uvažovaná konfigurácia kotla (tradičný kotel na plyn alebo uhlie, znázornená vľavo) je systém s tlakovou vodou, ktorý dodáva vodu s teplotou približne 130 °C do hlavného výmenníka tepla (napr. rúrkový výmenník s plášťom a vinutím), zatiaľ čo sekundárny okruh zabezpečuje dodávku tepla do CZT pri teplote približne 110 °C až 120 °C.

Je možné inštalovať tepelné pole NPOZE (znázornené zelenou farbou v schéme vpravo) na predohrev vratného potrubia CZT. Ak sa ako zdroj využíva solárne pole s parabolickými kolektormi, môže byť miera tepelnej integrácie veľmi vysoká – za predpokladu, že je nainštalované zariadenie na akumuláciu tepelnej energie (ATE).

Úspora fosílnych palív (ÚFP) môže byť zvýšená až na 100 %. Príspevok kotla sa úmerne znižuje so zvyšujúcim sa výkonom NPOZE. V extrémnom prípade môže byť kotel úplne odstavený a slúžiť len ako doplnkový zdroj tepla. Solárne systémy tak môžu prispievať k celkovému výkonu a v prípade potreby aj k zvýšeniu celkovej kapacity CZT.

Toto riešenie je možné aplikovať aj lokálne – v decentralizovaných odovzdávacích staniciach.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: parabolické žľabové solárne kolektory + akumulácia tepelnej energie (ATE)

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia. Vyžaduje presné technické navrhnutie.

Prevádzková teplota NPOZE: až do 180-240°C. Špecifické výkonnostné parametre je potrebné stanoviť v rámci podrobnej analýzy.

Prevádzková teplota integrácie: Až do 140 °C (možno využiť vo forme integrácie s horákom ako v prípade 3, alebo ako samostatné riešenie s malou doplnkovou integráciou horáka).

Finančný odhad nezahŕňa náklady na pozemok spojené s inštaláciou solárneho poľa.

Výpočet priemerných nákladov na výrobu tepla (LCOH) je výrazne ovplyvnený energetickou a palivovou politikou jednotlivých krajín.

Použitie uhlia ako fosílného paliva – na rozdiel od zemného plynu v prípade 3 – výrazne znižuje prevádzkové náklady (OPEX) a prináša rovnaké výsledky pre všetky tri krajiny, keďže sa predpokladajú rovnaké náklady na uhlie.

Údaje o CZT

Potreba tepla odberateľov CZT (MW)	T _{Igeres} (°C)	Q _{Igeres} (MW)	RECs %	Miestne palivo	Prevádzkové hodiny (h/rok)	Kapacita ATE (MWh)
10,0	140	5	0%	uhlie	4380	15

KPIs	Litva		Poľsko		Slovensko	
	NPOZE	BS	NPOZE	BS	NPOZE	BS
El _{RES_in} (*) (GWh/rok)	0,00	0	0,00	0	0,00	0
El _{NRES_in} (*) (GWh/rok)	0,00	0	0,00	0	0,00	0
Podiel OZE (%)	48,0%	0	48,0%	0	48,0%	0
ÚFP (%)	48,0%	0	48,0%	0	48,0%	0
Cl _{loc} (tCO ₂ /GWh _{th})	213,1	409,7	213,1	409,7	213,1	409,7
Cl _{glob} (*) (tCO ₂ /GWh _{th})	213,1	409,7	213,1	409,7	213,1	409,7
CAPEX (M€/MW _t)	1,03	0,1	1,03	0,1	1,03	0,1
LCOH (€/MWh _t) – 20rokov	51	53	51	53	51	53

(*)vrátane dodávky elektrickej energie s certifikáciou zelenej energie

NPOZE = Nízkopotenciálny obnoviteľný zdroj energie

BS = Bežný stav (referenčný scenár)

Silné stránky	Slabé stránky
- Jednoduchá integrácia s existujúcim CZT - Potenciálne môže nahradiť používanie fosílnych palív až do 80 % - Veľmi dobré ukazovatele úspor	- Vyžaduje presný inžiniersky návrh - Integrácia ATE a kotla (aspoň menšieho) je kľúčová - Je potrebná kvalitná údržba
Hlavné odporúčania	
- Odporúčané ako pri čiastočnej, tak aj pri úplnej náhrade fosílnych palív. - Odporúčané aj v prípadoch, keď je požadované zvýšenie tepelného výkonu CZT.	

DETAILNÁ ANALÝZA Č. 5 (TECHNICKÉ RIEŠENIE Č. 18) – INTEGRÁCIA ALEBO NÁHRADA KOTLA
PRIEMYSELNÝM ODPADOVÝM TEPLOM + ABS-TČ NA VRATNEJ STRANE CZT

PR. č. 5

Základná referenčná technológia

☒ Kotel ☐ KVET ☐ Nové
Bod integrácie/ Teploty CZT
☐ Prívod/ 120°C ☒
Vrátne/ 60°C
☐ Žiadne

Hlavné využívané NPOZE

☐ Solár ☐ Geotermál
☒ Odpad ☐ Biomasa
☐ Iné

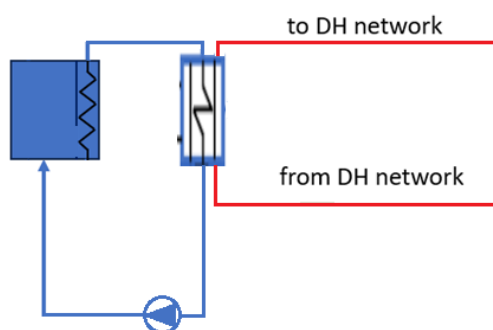
Zlepšujúca technológia

☐ ATE + ☐ TČ-PK
☐ MRP ☒ ABS-TČ
☐ Iná ☒ Žiadna

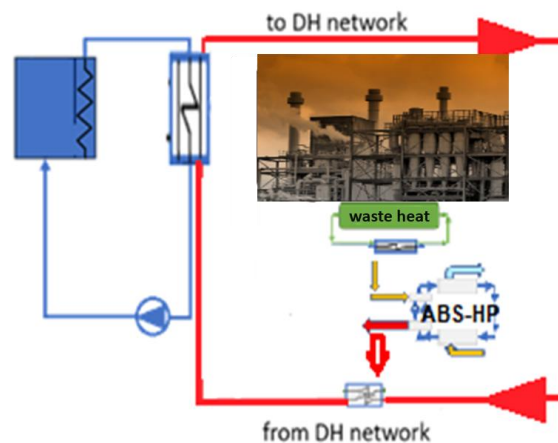
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☒ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – jednoduchý kotel



Integrácia kotla s odpadovým teplom + ABS-TČ



Uvažovaná konfigurácia kotla (tradičný kotel na uhlie alebo plyn, znázornený vľavo) je systém s tlakovou vodou, ktorý dodáva vodu s teplotou približne 130 °C do hlavného výmenníka tepla (napr. rúrkový výmenník s plášťom a vinutím), zatiaľ čo sekundárny okruh zabezpečuje dodávku tepla do CZT pri teplote približne 110 °C až 120 °C.

Nové riešenie využíva priemyselné odpadové teplo na predohrev vratného potrubia CZT. Pri tejto integrácii (s teplotou približne 70 °C) je potrebná vhodná technológia na zvýšenie teploty. V tomto prípade možno použiť absorpčný tepelný transformátor (ABS-HP) s maximálnou prevádzkovou teplotou približne 100 °C až 115 °C. Použitie akumulácie tepelnej energie (ATE) je voliteľné, ale môže prispieť k regulácii systému. Tepelný výkon dodaný z odpadového tepla sa využíva na prevádzku ABS-TČ v rámci desorpčného procesu, pričom nie je potrebná významná spotreba elektrickej energie, no systém vyžaduje veľké množstvo pomocného tepla. Zníženie potreby spaľovania v kotli vedie k veľmi dobrej výkonnosti systému. Nevýhodou však je, že ABS-TČ vyžaduje veľké množstvo tepelnej energie s teplotou okolo 60 °C, a teda veľký objem priemyselného odpadového tepla. Pri uvedených teplotách sa COP systému pohybuje v rozmedzí 0,35 až 0,5, čo znamená, že ak je potrebný výkon napr. 1 MW_{th}, zdroj musí poskytnúť približne 5 MW_{th} tepla, z ktorého sa 4 MW_{th} odvádzajú späť do prostredia.

Napriek tomu, ak systém čerpá teplo z veľkého priemyselného zdroja odpadu, poskytne teplo so zvýšenou teplotou za veľmi nízke náklady. Samostatná konfigurácia (bez kotla) nie je jednoducho realizovateľná, keďže výstupná teplota ABS-TČ pravdepodobne nebude postačujúca pre vysokoteplotné CZT (napr. 120 °C).

Úspora fosílnych palív (ÚFP) v systéme môže byť zvýšená až na 100 %. Príspevok kotla sa úmerne znižuje so zvyšujúcim sa výkonom NPOZE. Tieto systémy môžu prispieť k celkovému výkonu a v prípade potreby možno zvýšiť aj celkovú kapacitu CZT.

Toto riešenie je možné aplikovať aj lokálne – v decentralizovaných odovzdávacích staniciach.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: odpadové teplo + absorpčné tepelné čerpadlo (ABS-TČ)

STP: 9÷10 – Dobre overená a dostupná technológia, ktorá však čelí určitým ťažkostiam pri aplikácii v súčasných riešeniach zvyšovania teploty. Pilotné projekty s ABS-TČ by mali byť zvážené a sú veľmi vítané.

Prevádzková teplota NPOZE: predpokladá sa, že odpadové teplo je dostupné pri teplote 70 °C, takže je možné použiť tepelný transformátor s výstupnou teplotou 110–115 °C (s exergetickou účinnosťou približne 0,15).

Prevádzková teplota integrácie: až do 110°C, čím sa znižuje potrebné teplotné zdvíhanie v kotle.

Prevádzka ABS-TČ si vyžaduje veľké množstvo tepla, ktoré musí byť odvádzané do prostredia (v tomto konkrétnom prípade ide o 51,6 % vstupného tepla). Z tohto dôvodu je potrebné nadimenzovanie zdroja NPOZE.

Predpokladaná dostupnosť 10 MW odpadového tepla pri 70 °C sa redukuje na iba 4,8 MW užitočného výkonu v sieti CZT pri 115 °C.

Údaje o CZT

Potreba tepla odberateľov CZT (MW)	T _{Igeres} (°C)	Q _{Igeres} (MW)	RECs %	Miestne palivo	Prevádzkové hodiny (h/rok)	Kapacita ATE (MWh)
10,00	70	10	0%	zemný plyn	4380	0

KPIs	Litva		Poľsko		Slovensko	
	NPOZE	BS	NPOZE	BS	NPOZE	BS
El _{RES_in} (*) (GWh/rok)	0,00	0	0,00	0	0,00	0
El _{NRES_in} (*) (GWh/rok)	0,00	0	0,00	0	0,00	0
Podiel OZE (%)	64,2%	0	64,2%	0	64,2%	0
ÚFP (%)	46,4%	0	46,4%	0	46,4%	0

Cl _{loc} (tCO ₂ /GWh _{th})	125,2	233,8	125,2	233,8	125,2	233,8
Cl _{glob} (*) (tCO ₂ /GWh _{th})	125,2	233,8	125,2	233,8	125,2	233,8
CAPEX (M€/MW _t)	0,59	0,1	0,59	0,1	0,59	0,1
LCOH (€/MWh _t) – 20rokov	43	53	47	59	60	81

(*)vrátane dodávky elektrickej energie s certifikáciou zelenej energie
NPOZE = Nízkopotenciálny obnoviteľný zdroj energie
BS = Bežný stav (referenčný scenár)

Silné stránky	Slabé stránky
- Jednoduchá integrácia s existujúcim CZT - Potenciálne môže nahradiť používanie fosílnych palív až do 85 % - Veľmi dobré ukazovatele úspor	- Vyžaduje presný inžiniersky návrh - Používanie tepelných transformátorov nie je zatiaľ rozšírené - Cena je výrazne ovplyvnená konfiguráciou zemného výmenníka tepla

Hlavné odporúčania
- Primerane odporúčané na čiastočnú náhradu fosílnych palív. - Odporúčané v prípade potreby zvýšenia tepelného výkonu CZT - Na prevádzku ABS-TČ je potrebný veľmi vysoký inštalovaný tepelný výkon odpadového zdroja.

DETAILNÁ ANALÝZA Č. 6 (TECHNICKÉ RIEŠENIE Č. 19) – **INTEGRÁCIA ALEBO NÁHRADA KOTLA**
(NÍZKOTEPLNOTNÝM ODPADOVÝM TEPLOM + TEPELNÉ ČERPADLO S PARNOU KOMPRESIOU))

PR. č. 6

Základná referenčná technológia

- ☒ Kotel ☐ KVET ☐ Nové
Bod integrácie/ Teploty CZT
☐ Prívod/ 120°C ☒
Vrátne/ 60°C
☐ Žiadne

Hlavné využívané NPOZE

- ☐ Solár ☐ Geotermál
☒ Odpad ☐ Biomasa
☐ Iné

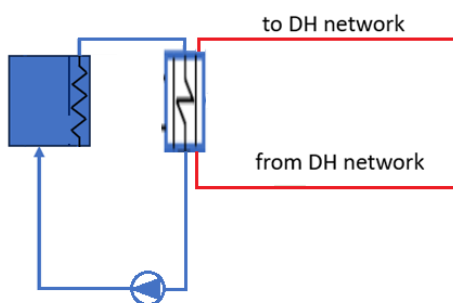
Zlepšujúca technológia

- ☐ ATE + ☒ TČ-PK
☐ MRP ☐ ABS-TČ
☐ Iná ☐ Žiadna

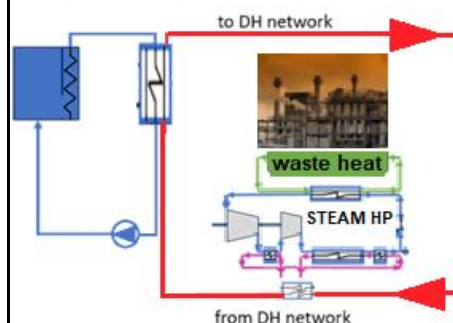
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☒ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – jednoduchý kotel (zjednodušená)



Integrácia kotla so strdno/nízokoteplotným priemyselným odpadovým teplom + parné TČ + ATE (voliteľné)



Uvažovaná konfigurácia kotla (tradičný kotel na plyn alebo uhlie, znázornený vľavo) je systém s tlakovou vodou, ktorý dodáva vodu s teplotou približne 130 °C do hlavného výmenníka tepla (napr. rúrkový výmenník s plášťom a vinutím), zatiaľ čo sekundárny okruh zabezpečuje dodávku tepla do sústavy CZT pri teplote približne 110 °C až 120 °C.

Je možné inštalovať tepelné pole NPOZE (znázornené zelenou farbou v schéme vpravo) na predohrev vratného potrubia CZT. Aby takéto riešenie fungovalo, musia byť zdroje NPOZE schopné dodávať teploty v rozsahu 90 °C až 115 °C, čo je typické pre stredne až vysokoteplotné priemyselné odpadové teplo (napr. spaliny z motorov a turbín, teplo zo sušiacich pecí, chemických reaktorov a kondenzát strednotlakovej pary). Ak však dodatočný zdroj nedosiahne približne 130 °C, kotel nemôže byť úplne nahradený. Navyše, výkon prepojeného priemyselného zdroja musí byť dostatočný. V prípade, že ide o nízko- alebo strednoteplotné priemyselné odpadové teplo, tepelná integrácia bude nízka, a preto je potrebná vhodná technológia na zvýšenie teploty. V tomto prípade možno využiť parné tepelné čerpadlo s kompresiou pary (s maximálnou prevádzkovou teplotou do približne 150 °C). Použitie ATE je voliteľné a závisí od toho, či je zdroj odpadového tepla dostupný nepretržite alebo len prerušovane.

Úspora fosílnych palív (ÚFP) v systéme môže byť zvýšená až na 100 %. Príspevok kotla sa úmerne znižuje so zvyšujúcim sa výkonom NPOZE. V optimálnom prípade môže byť kotel úplne odstavený. V

opačnom prípade môžu oba systémy – kotol aj NPOZE – prispievať k celkovému výkonu, pričom v prípade potreby je možné zvýšiť aj celkovú kapacitu sústavy CZT.

Toto riešenie je možné aplikovať aj lokálne – v decentralizovaných odovzdávacích staniciach v blízkosti zdroja odpadového tepla.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: zdroje odpadového tepla + parné tepelné čerpadlo (uzavretý okruh MRP) + akumulácia tepelnej energie (ATE)

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia. Vyžaduje presný inžiniersky návrh.

Prevádzková teplota NPOZE: zdroj odpadového tepla v rozsahu 60–90 °C, parné tepelné čerpadlo do 120–140 °C (COP približne 4,5 pri štandardnom zariadení – za predpokladu exergetickej účinnosti 0,5).

Tepelný výkon požadovaný od zdroja odpadového tepla je v tomto prípade nižší než v prípade 5 – na dosiahnutie rovnakého vstupného tepelného výkonu do CZT siete (4,8 MW) postačuje 3,8 MW odpadového tepla namiesto 10 MW. V tomto prípade 6 totiž použitie parného tepelného čerpadla s kompresiou pary (TČ-PK) prináša dodatočný tepelný výkon vďaka spotrebe elektrickej energie (1 MW).

Výrazné rozdiely medzi jednotlivými krajinami sú spôsobené rozdielnou energetickou politikou.

Údaje o CZT

Potreba tepla odberateľov CZT (MW)	T _{Igeres} (°C)	Q _{Igeres} (MW)	RECs %	Miestne palivo	Prevádzkové hodiny (h/rok)	Kapacita ATE (MWh)
10,00	70	3,8	0%	zemný plyn	4380	0

KPIs	Litva		Poľsko		Slovensko	
	NPOZE	BS	NPOZE	BS	NPOZE	BS
El _{RES_in} (*) (GWh/rok)	3,41	0	1,21	0	3,81	0
El _{NRES_in} (*) (GWh/rok)	1,08	0	3,27	0	0,67	0
Podiel OZE (%)	44,0%	0	39,1%	0	44,8%	0
ÚFP (%)	46,3%	0	46,3%	0	46,3%	0
Cl _{loc} (tCO ₂ /GWh _{th})	125,5	233,8	125,5	233,8	125,5	233,8
Cl _{glob} (*) (tCO ₂ /GWh _{th})	145,4	233,8	205,4	233,8	138,7	233,8
CAPEX (M€/MW _t)	0,49	0,1	0,49	0,1	0,49	0,1
LCOH (€/MWh _t) – 20rokov	62	53	71	59	84	81

(*)vrátane dodávky elektrickej energie s certifikáciou zelenej energie

NPOZE = Nízkopotenciálny obnoviteľný zdroj energie BS = Bežný stav (referenčný scenár)	
Silné stránky	Slabé stránky
- Jednoduchá integrácia s existujúcim CZT - Potenciálne môže nahradiť používanie fosílnych palív až do 100 % - Veľmi dobré ukazovatele úspor	- Vyžaduje presný inžiniersky návrh - Ťažko dostupné zdroje odpadového tepla s vysokým výkonom a vysokou teplotou - Vzdialenosť medzi CZT sieťou a zdrojom odpadového tepla
Hlavné odporúčania	
- Odporúčané na čiastočnú aj úplnú náhradu fosílnych palív.	

DETAILNÁ ANALÝZA Č. 7 (TECHNICKÉ RIEŠENIE Č. 20) –NÁHRADA KOTLA NPOZE SO STREDNOU TEPLOTOU A VODNOPARNÝM TČ)

PR. č. 7

Základná referenčná technológia

☒ Kotel ☐ KVET ☒ Nové
Bod integrácie/ Teploty CZT
☐ Prívod/ 120°C ☒
Vrátne/ 60°C
☐ Žiadne

Hlavné využívané NPOZE

☐ Solár ☐ Geotermál
☒ Odpad ☐ Biomasa
☐ Iné

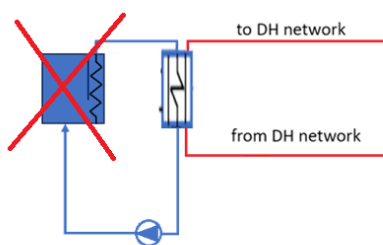
Zlepšujúca technológia

☒ ATE + ☐ TČ-PK
☒ MRP ☐ ABS-TČ
☐ Iná ☐ Žiadna

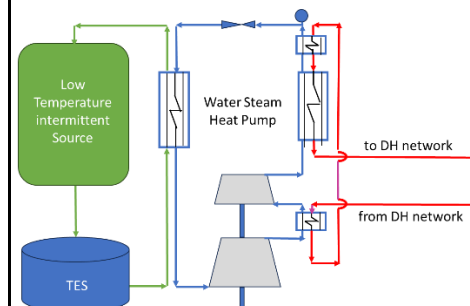
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☐ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – kotol na fosílné palivá určený na vyradenie (zjednodušená)



Náhrada kotla strednoteplotným NPOZE + parné TČ + ATE



Tento technický list zhrňuje možnosti nahradenia tradičných horákov úplným využitím NPOZE so strednou teplotou (nie nižšou ako 60÷70°C).

Zvažovaná tradičná konfigurácia spaľovania uhlia je úplne nahradená zdrojom NPOZE. Je možné nainštalovať nízkopotenciálny tepelný zdroj, napríklad nízkotepelné solárne pole (60–70 °C), znázornené zelenou farbou v schéme vpravo, ktoré slúži na ohrev vratného potrubia CZT a pokrýva požadované percento tepelnej potreby CZT. Keďže teplota dodávaná NPOZE je nižšia než teplota vratnej vody, je potrebné nasadiť technológiu zvyšovania teploty – konkrétne parné tepelné čerpadlo – ktoré zvýši teplotu vratnej vody až do rozsahu 110–120 °C, potrebného pre dodávku do siete CZT. Týmto spôsobom je časť tepelného výkonu zabezpečená zo solárneho zdroja a časť z elektrického výkonu kompresora. Zvýšenie vstupnej teploty zo strany NPOZE zabezpečuje dobrú prevádzku a účinnosť mechanického stláčania pary (MRP). Axiálne parné kompresory používané v tomto type tepelných čerpadiel dosahujú typicky účinnosť okolo 0,8, čo vedie k hodnote COP v rozsahu od 3,5 do 4. Napriek tomu, že sa využíva „bezplatné“ teplo z obnoviteľného zdroja, samotný proces zvyšovania teploty je energeticky náročný – na každý 1 MWth dodaný do siete je potrebné približne 0,3 MWe elektrického výkonu pre kompresor zariadenia.

Použitie kvalitného vysokoteplotného zásobníka tepelnej energie (ATE) je nevyhnutné v prípade, že sa využívajú prerušované (intermitentné) zdroje odpadového tepla.

Systém môže fungovať aj s inými nízkopotenciálnymi zdrojmi, ako je solárna energia alebo

prerušované odpadové teplo napríklad z obchodných centier. Toto riešenie je možné aplikovať aj lokálne – v decentralizovanej odovzdávacej stanici, ktorá funguje ako nezávislá podsieť CZT.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: NPOZE so strednou teplotou + parné tepelné čerpadlo (uzavretý okruh MRP) + akumulácia tepelnej energie (ATE)

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia. Vyžaduje presný inžiniersky návrh.

Prevádzková teplota NPOZE: minimálne 60÷70°C, parné TČ do 110-130°C (COP približne 4.0 pri štandardnom zariadení, za predpokladu exergetickej účinnosti 0,5).

Údaje o CZT

Potreba tepla odberateľov CZT (MW)	T _{Igeres} (°C)	Q _{Igeres} (MW)	RECs %	Miestne palivo	Prevádzkové hodiny (h/rok)	Kapacita ATE (MWh)
10,00	65	7,75	0%	zemný plyn	4380	250

KPIs	Litva		Poľsko		Slovensko	
	NPOZE	BS	NPOZE	BS	NPOZE	BS
El _{RES_in} (*) (GWh/rok)	9,06	0	3,22	0	10,13	0
El _{NRES_in} (*) (GWh/rok)	2,86	0	8,70	0	1,79	0
Podiel OZE (%)	93,8%	0	81,0%	0	96,1%	0
ÚFP (%)	100,0%	0	100,0%	0	100,0%	0
Cl _{loc} (tCO ₂ /GWh _{th})	0,0	233,8	0,0	233,8	0,0	233,8
Cl _{glob} (*) (tCO ₂ /GWh _{th})	52,9	233,8	212,3	233,8	35,1	233,8
CAPEX (M€/MW _t)	1,31	0,1	1,31	0,1	1,31	0,1
LCOH (€/MWh _t) – 20rokov	83	53	96	59	95	81

(*)vrátane dodávky elektrickej energie s certifikáciou zelenej energie

NPOZE = Nízkopotenciálny obnoviteľný zdroj energie

BS = Bežný stav (referenčný scenár)

Silné stránky	Slabé stránky
- Jednoduchá integrácia s existujúcim CZT - Náhrada používania fosílnych palív až do 80 % - Veľmi dobré ukazovatele úspor	- Vyžaduje presný inžiniersky návrh - Vyžaduje elektrickú energiu (pre kompresory) - Potrebná ATE
Hlavné odporúčania	
- Odporúčané na rozsiahlu náhradu fosílnych palív.	

DETAILED ANALYSIS N.8 (TECH. SOL. N. 21) – NÁHRADA KOTLA AERÓBNYM DIGESTOROM A VODNOPARNÝM TČ)

PR. č. 8

Základná referenčná technológia

- ☒ Kotel ☐ KVET ☒ Nové
Bod integrácie/ Teploty CZT
☐ Prívod/ 120°C ☒ Vrátno/ 60°C
☐ Žiadne

Hlavné využívané NPOZE

- ☐ Solár ☐ Geotermál
☐ Odpad ☒ Biomasa
☐ Iné

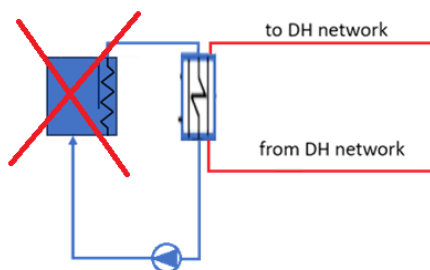
Zlepšujúca technológia

- ☐ ATE + ☒ TČ-PK
☒ MRP ☐ ABS-TČ
☐ Iná ☐ Žiadna

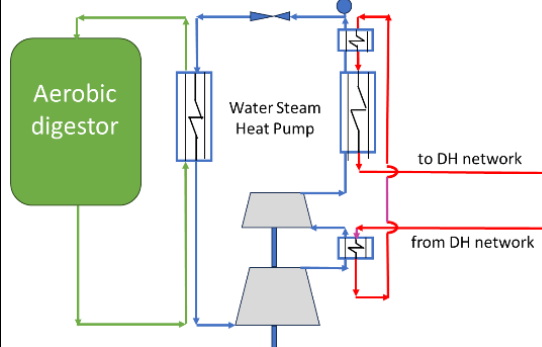
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☒ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – kotel na fosílné palivá určený na vyradenie (zjednodušená)



Nová koncepcia: Náhrada kotla aeróbnym digestorom so strednou teplotou + parné TČ + ATE



Zvažovaná tradičná konfigurácia kotla spaľujúceho uhlie je úplne nahradená NPOZE, ktorým je aeróbnym digestor. Ide o nízkopotenciálny tepelný zdroj s teplotou približne 60 °C – 70 °C. Keďže teplota dodávaná z NPOZE je podobná teplote vratného potrubia CZT, je potrebné nasadiť technológiu na zvýšenie teploty – konkrétne parné tepelné čerpadlo – ktoré zvýši teplotu vody na rozsah 110 °C až 120 °C. Týmto spôsobom je časť tepelného výkonu CZT zabezpečená z digestora a zvyšná časť z elektrickej energie poháňajúcej kompresor. Axiálny parný kompresor používaný v tomto type tepelného čerpadla má typickú účinnosť približne 0,8, čo zodpovedá hodnote COP v rozsahu 3,5 až 4. Vďaka relatívne vysokej teplote zdroja je potrebný elektrický výkon na zvýšenie teploty v rozsahu približne 0,25 MWe na každý 1 MWth dodaný do CZT.

V dôsledku oxidačných procesov vzniká oxid uhlíčitý (CO₂) a oxid dusný (N₂O), pričom CO₂ je takisto emitovaný pri výrobe energie potrebnej na prevádzku systému. Na zníženie týchto emisií a ich zachytávanie môžu byť potrebné dodatočné opatrenia. Globálne emisie CO₂ spôsobené spotrebou elektrickej energie možno zmierniť využitím dodávky elektriny s certifikáciou zelenej energie, čo však prináša vyššie prevádzkové náklady (OPEX) a priemerné náklady na výrobu tepla (LCOH). V tomto konkrétnom prípade 8 sa predpokladá podiel zelenej elektriny (RECs) na úrovni 50 %. Toto riešenie je možné aplikovať aj lokálne – v decentralizovanej odovzdávacej stanici fungujúcej ako nezávislá podsieť CZT. Použitie zásobníka tepelnej energie (ATE) nemusí byť nevyhnutné, vzhľadom na nepretržitú prevádzku digestora.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: aeróbný digestor + parné tepelné čerpadlo (uzavretý okruh MRP) + akumulácia tepelnej energie (ATE), voliteľné.

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia. Vyžaduje presný inžiniersky návrh.

Prevádzková teplota NPOZE: Digestor pri 60–70 °C, parné tepelné čerpadlo (steam HP) až do 110–130 °C (COP približne 4 pri štandardnom zariadení, za predpokladu exergetickej účinnosti 0,5). Konkrétne výkonnostné parametre je potrebné stanoviť na základe podrobnej analýzy.

Prevádzková teplota zvyšovania teploty: Až do 130 °C. Použitie kvalitného vysokoteplotného zásobníka tepelnej energie (TES) nie je nevyhnutné (a nie je zobrazené na schéme), ale je vítané.

Údaje o CZT

Potreba tepla odberateľov CZT (MW)	T _{lgeres} (°C)	Q _{lgeres} (MW)	RECs %	Miestne palivo	Prevádzkové hodiny (h/rok)	Kapacita ATE (MWh)
10,00	65	7,75	50%	uhlie	4380	250

KPIs	Litva		Poľsko		Slovensko	
	NPOZE	BS	NPOZE	BS	NPOZE	BS
El _{RES_in} (*) (GWh/rok)	10,49	0	7,57	0	11,03	0
El _{NRES_in} (*) (GWh/rok)	1,43	0	4,35	0	0,89	0
Podiel OZE (%)	93,8%	0	81,0%	0	96,1%	0
ÚFP (%)	100,0%	0	100,0%	0	100,0%	0
Cl _{loc} (tCO ₂ /GWh _{th})	0,0	409,7	0,0	409,7	0,0	409,7
Cl _{glob} (*) (tCO ₂ /GWh _{th})	26,5	409,7	106,2	409,7	17,5	409,7
CAPEX (M€/MW _t)	1,31	0,1	1,31	0,1	1,31	0,1
LCOH (€/MWh _t) – 20rokov	80	53	91	53	92	53

(*)vrátane dodávky elektrickej energie s certifikáciou zelenej energie

NPOZE = Nízkopotenciálny obnoviteľný zdroj energie

BS = Bežný stav (referenčný scenár)

Silné stránky	Slabé stránky
- Veľmi dobré ukazovatele úspor - V zásade nevyžaduje zásobník tepla	- Vyžaduje elektrickú energiu (pre kompresory) - Produkovaný CO₂ by mal byť zachytávaný

Hlavné odporúčania

Odporúčané len v prípade existujúceho aeróbného digestora

DETAILNÁ ANALÝZA Č. 9 (TECHNICKÉ RIEŠENIE Č. 22) – **NÁHRADA KOTLA S GEOTERMÁLNYM TEPELNÝM ČERPADLOM + TEPELNÉ ČERPADLO S PARNOU KOMPRESIOU (MRP UZAVRETÝ OKRUH))**

PR. č. 9

Základná referenčná technológia

- ☒ Kotel ☐ KVET ☒ Nové
Bod integrácie/ Teploty CZT
☐ Prívod/ 120°C ☒ Vrátno/ 60°C
☐ Žiadne

Hlavné využívané NPOZE

- ☐ Solár ☒
Geotermál
☐ Odpad ☐ Biomasa
☐ Iné

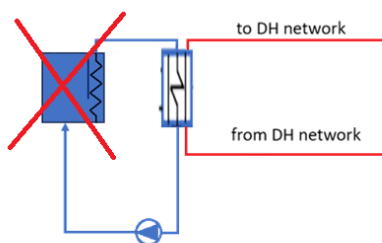
Zlepšujúca technológia

- ☐ ATE + ☒ TČ-PK
☒ MRP ☐ ABS-TČ
☐ Iná ☐ Žiadna

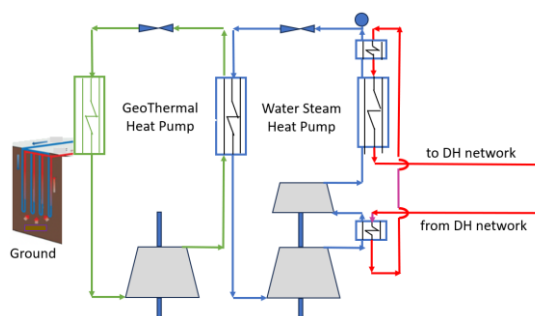
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☒ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – kotol na fosilné palivá určený na vyradenie (zjednodušená)



Nová koncepcia: Náhrada kotla integráciou **zemného tepelného čerpadla + parného tepelného čerpadla** (uzavretý okruh MRP)



Tento technický list zhrňuje možnosti úplnej náhrady tradičných horákov zdrojmi NPOZE s nízkou teplotou (až do 5÷10°C).

Zvažovaná tradičná konfigurácia kotla spaľujúceho uhlie je v tomto prípade úplne nahradená NPOZE, ktorým je geotermálne teplo zo zeme, podporené geotermálnym tepelným čerpadlom. Tento systém premieňa a zvyšuje teplotu okolitého tepla zo zeme (približne 10 °C) na využiteľnejšiu hodnotu 50–60 °C, pričom priemerná sezónna teplota podložia je okolo 10 °C – stále ide o nízkopotenciálny tepelný zdroj. Výstup z tohto prvého stupňa je následne ďalej zvyšovaný pomocou vodno-parného tepelného čerpadla (znázorneného na schéme), aby sa dosiahli vyššie teploty požadované pre sieť CZT – až do 120 °C až 130 °C. Časť tepelného výkonu CZT je tak dodávaná z geotermálneho zdroja, zvyšok je zabezpečený elektrickou energiou potrebnou pre chod kompresorov. Hoci moderné tepelné čerpadlá dosahujú vysoké hodnoty COP, kombinácia dvoch stupňov zvyšovania teploty zvyčajne vedie k celkovému COP nepresahujúcemu hodnotu 2,5. Použitie dvojitého zvýšenia teploty na transformáciu veľmi nízkej vstupnej teploty (10 °C) znamená aj vyššiu hodnotu priemerných nákladov na výrobu tepla (LCOH). Toto technické riešenie je možné aplikovať aj lokálne – v decentralizovaných odovzdávacích staniciach fungujúcich ako nezávislé podsiete CZT.

Toto technické riešenie je možné aplikovať aj lokálne – v decentralizovaných odovzdávacích staniciach

fungujúcich ako samostatné podsiete CZT.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: zemné tepelné čerpadlo (TČ-PK) + tepelné čerpadlo s parnou kompresiou (MRP uzavretý okruh)

STP: 10 – Dobré zavedená a dostupná technológia, no vyžaduje detailný inžiniersky návrh.

Prevádzková teplota NPOZE s integráciou: prvý stupeň – geotermálne tepelné čerpadlo dosahuje 50–60 °C, druhý stupeň – uzavretý MRP cyklus (mechanické stláčanie pary) dosahuje 120–130 °C.

Údaje o CZT

Potreba tepla odberateľov CZT (MW)	T _{lgeres} (°C)	Q _{lgeres} (MW)	RECs %	Miestne palivo	Prevádzkové hodiny (h/rok)	Kapacita ATE (MWh)
10,00	10	5,49	0%	uhlie	4380	0

	Litva		Poľsko		Slovensko	
KPIs	NPOZE	BS	NPOZE	BS	NPOZE	BS
El _{RES_in} (*) (GWh/rok)	16,43	0	5,84	0	18,37	0
El _{NRES_in} (*) (GWh/rok)	5,19	0	15,78	0	3,24	0
Podiel OZE (%)	88,6%	0	65,4%	0	92,9%	0
ÚFP (%)	100,0%	0	100,0%	0	100,0%	0
Cl _{loc} (tCO ₂ /GWh _{th})	0,0	409,7	0,0	409,7	0,0	409,7
Cl _{glob} (*) (tCO ₂ /GWh _{th})	96,0	409,7	385,0	409,7	63,6	409,7
CAPEX (M€/MW _t)	1,86	0,1	7,78	0,1	7,78	0,1
LCOH (€/MWh _t) – 20rokov	140	53	164	53	162	53

(*)vrátane dodávky elektrickej energie s certifikáciou zelenej energie

NPOZE = Nízkopotenciálny obnoviteľný zdroj energie

BS = Bežný stav (referenčný scenár)

Silné stránky	Slabé stránky
- Dobré ukazovatele úspor - Overená a etablovaná technológia - Nezávisí od zásobníka tepla, pokiaľ sa nepoužívajú iné prerušované zdroje (napr. solárne, odpadové)	- Vyžaduje externý elektrický zdroj pre kompresory. - Komplexná technológia zvyšovania teploty (vyžaduje detailný inžiniersky návrh)
Hlavné odporúčania	
- Odporúčané na využitie s veľmi nízkoteplotnými zdrojmi (10 °C)	

DETAILNÁ ANALÝZA Č. 10 (TECHNICKÉ RIEŠENIE Č. 24) –CZT INTEGRÁCIA S TEPLOM Z ODPADOVÝCH VÔD + SYSTÉMOM TČ-PK + TEPELNÝM ČERPADLOM S PARNOU KOMPRESIOU (MRP UZAVRETÝ OKRUH)

PR. č. 10

Základná referenčná technológia

☒ Kotel ☐ KVET ☒

Nové

Bod integrácie/ Teploty CZT

☐ Prívod/ 120°C ☒

Vrátne/ 60°C

☐ Žiadne

Hlavné využívané NPOZE

☐ Solár ☐

Geotermál

☒ Odpad ☐ Biomasa

☐ Iné

Zlepšujúca technológia

☐ ATE + ☒ TČ-PK

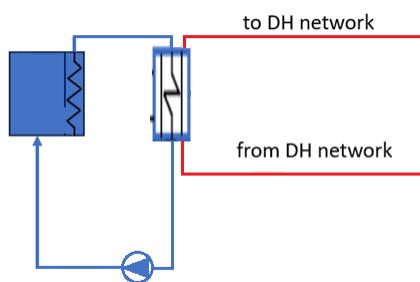
☒ MRP ☐ ABS-TČ

☐ Iná ☐ Žiadna

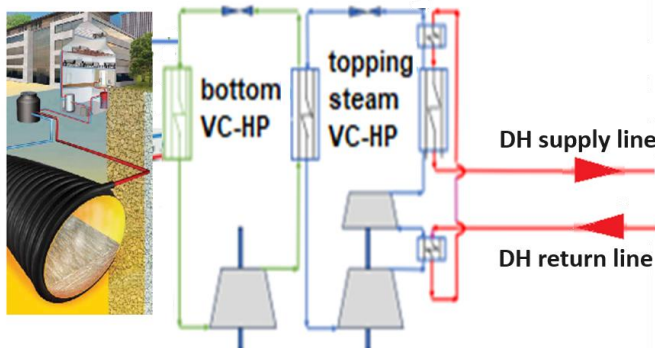
Intervenčná stratégia (lokalita): ☒ centrálna tepelná stanica ☒ Rozmiestnené pozdĺž siete CZT

Popis celkového systému

Koncepcia existujúcej inštalácie – kotel na fosílné palivo na vyradenie (zjednodušene)



Nová koncepcia: CZT integrácia s **teplom z odpadových vôd** + **tepelné čerpadlo** + **parné TČ** (uzavretý okruh MRP)



Tento technický list zhrňuje možnosti úplnej náhrady tradičných horákov NPOZE s nízkou teplotou (až do 15÷20°C).

Uvažovaná integrácia je založená na rúrkovom výmenníku tepla na využitie tepla z odpadových vôd (typicky v rámci miestnych CZT riešení alebo jednotlivých budov), ktorý je spojený so systémom TČ-PK (tepelné čerpadlo s mechanickou kompresiou pary). Teplota odpadových vôd býva zvyčajne vyššia než teplota okolitého prostredia – v priemere približne 20 °C – a TČ-PK môže dosahovať výstupné teploty približne 70 °C. Keďže miestna teplota zodpovedá teplote vratného potrubia CZT, možno zaradiť nadstavbové parné TČ-PK (v uzavretom MRP cykle) s výstupnou teplotou až 120 °C, a to buď v centrálnej stanici, alebo lokálne. Dostupnosť odpadového tepla zo splaškovej vody sa predpokladá na úrovni približne 15 % z požiadavky tepelného výkonu CZT.

Napriek dostupnosti „bezplatného“ tepla z výmenníka tepla napojeného na odpadové vody je proces zvyšovania teploty energeticky náročný – na každý 1 MWth tepla dodaného užívateľovi je potrebné približne 0,3 až 0,4 MWe elektrickej energie pre kompresory zariadení.

Na maximalizáciu výkonu je potrebná určitá modernizácia zariadenia. Použitie veľkého zásobníka

tepelnej energie (ATE) je nevyhnutné z dôvodu prerušovanej dostupnosti energie z odpadových vôd. Keďže je potrebná elektrická energia, úspora fosílnych palív sa pohybuje v rozmedzí 20 % až 30 %. Táto hodnota však môže byť vyššia, ak je elektrina využívaná na pohon kompresorov vyrobená z obnoviteľných zdrojov („zelená“ elektrina).

Toto technické riešenie je možné aplikovať aj lokálne – v decentralizovaných odovzdávacích staniciach fungujúcich ako samostatné podsiete CZT.

Hlavné parametre

Technológia NPOZE: tepelné čerpadlo (TČ-PK) + tepelné čerpadlo s parnou kompresiou (MRP, uzavretý cyklus)

STP: 10 – Dobre zavedená a dostupná technológia, no vyžaduje podrobný inžiniersky návrh.

Prevádzková teplota zdroja NPOZE s integráciou: prvý stupeň – geotermálne tepelné čerpadlo dosahuje 50–60 °C, druhý stupeň – uzavretý MRP cyklus (mechanické stláčanie pary) môže dosiahnuť 100–120 °C.

Údaje o CZT

Potreba tepla odberateľov CZT (MW)	T _{ligeres} (°C)	Q _{ligeres} (MW)	RECs %	Miestne palivo	Prevádzkové hodiny (h/rok)	Kapacita ATE (MWh)
10,0	20	1,5	0%	uhlie	4380	61

KPIs	Litva		Poľsko		Slovensko	
	NPOZE	BS	NPOZE	NPOZE	BS	NPOZE
El _{RES_in} (*) (GWh/rok)	3,49	0	1,24	0	3,90	0
El _{NRES_in} (*) (GWh/ rok)	1,10	0	3,35	0	0,69	0
Podiel OZE (%)	22,0%	0	17,1%	0	22,9%	0
ÚFP (%)	24,5%	0	24,5%	0	24,5%	0
Cl _{loc} (tCO ₂ /GWh _{th})	309,5	409,7	309,5	409,7	309,5	409,7
Cl _{glob} (*) (tCO ₂ /GWh _{th})	329,9	409,7	391,2	409,7	323,0	409,7
CAPEX (M€/MW _t)	0,43	0,1	0,43	0,1	0,43	0,1
LCOH (€/MWh _t) - 20 rokov	74	53	79	53	79	53

(*)vrátane dodávky elektrickej energie s certifikáciou zelenej energie

NPOZE = Nízkopotenciálny obnoviteľný zdroj energie

Silné stránky	Slabé stránky
- Dobré ukazovatele úspor - Overená a etablovaná technológia - Nezávisí od zásobníka tepla, pokiaľ sa nepoužívajú iné prerušované zdroje (napr. solárne, odpadové)	- Vyžaduje externý elektrický zdroj pre kompresory. - Komplexná technológia zvyšovania teploty (vyžaduje detailný inžiniersky návrh)
Hlavné odporúčania	
- Odporúčané na využitie s veľmi nízkoteplotnými zdrojmi (10 °C).	

ZÁVER

Sústavy centralizovaného zásobovania teplom (CZT) zohrávajú kľúčovú úlohu pri zabezpečovaní udržateľného vykurovania mestských oblastí, najmä v kontexte prechodu Európy na nízkouhlíkové hospodárstvo. Ako ukazuje táto správa, nízkopotenciálne obnoviteľné zdroje energie (NPOZE) predstavujú sľubnú cestu na zníženie uhlíkovej stopy sietí CZT prostredníctvom integrácie obnoviteľných zdrojov, ako sú solárna tepelná energia, geotermálna energia, biomasa a priemyselné odpadové teplo. Napriek tomu, že potenciál týchto obnoviteľných zdrojov je významný, úplná náhrada tradičných fosílnych palív obnoviteľnými zdrojmi prináša zásadné technické, finančné a prevádzkové výzvy.

Strana | 141

Prechod na sústavy CZT založené na obnoviteľných zdrojoch energie nie je priamočiary proces, najmä pokiaľ ide o vysokoteplotné sústavy CZT (VT-CZT), ktoré boli tradične závislé od uhlia a zemného plynu. Mnohé existujúce siete CZT – najmä v krajinách ako Litva, Poľsko a Slovensko – boli navrhnuté podľa sovietskeho modelu, čo ich robí výrazne závislými od fosílnych palív a menej flexibilnými na okamžitú integráciu obnoviteľných zdrojov energie. Preto sa ako praktická stratégia na najbližšie obdobie odporúča hybridný prístup, ktorý vyvažuje pokračujúce využívanie fosílnych palív so zvyšujúcou sa integráciou obnoviteľných zdrojov. Takýto postupný prechod umožňuje modernizáciu infraštruktúry krok za krokom, pričom zároveň zachováva spoľahlivosť a efektívnosť dodávky tepla.

Tabuľka 10 - Súhrn vypracovaných prípadových štúdií.

#	Uvažované prípady
1	Extrakčná KVET: Solárna koncentrácia vysokej teploty čiastočná alebo úplná náhrada vysokotlakového ekonomizéra
2	Extrakčná KVET: plochý solárny panel + parné TČ-PK na vratnej strane CZT a vratny/prívodný obtok
3	Predohrev kotla alebo náhrada s integráciou solárnych parabolických kolektorov
4	Integrácia alebo náhrada kotla vysokoteplotnými parabolickými slnečnými kolektormi s vysokoteplotnou ATE
5	Integrácia alebo náhrada kotla priemyselným odpadovým teplom + ABS-TČ na vratnej strane CZT
6	Integrácia alebo náhrada kotla nízokoteplotným odpadovým teplom + tepelné čerpadlo s parnou kompresiou
7	Náhrada kotla NPOZE so strednou teplotou a vodnoparným TČ
8	Náhrada kotla aeróbnym digestorom a vodnoparným TČ
9	Náhrada kotla s geotermálnym tepelným čerpadlom + tepelné čerpadlo s parnou kompresiou (MRP uzavretý okruh)
10	CZT integrácia s teplom z odpadových vôd + systémom TČ-PK + Tepelným čerpadlom s parnou kompresiou (MRP uzavretý okruh)

Z analýz vyplynula potreba rozlišovať medzi typmi zásahov pri prechode z fosílnych palív na obnoviteľné zdroje energie v sústavách CZT. Vymedzujú sa dva hlavné prístupy: integrácia obnoviteľných zdrojov do existujúcich systémov založených na fosílnych palivách, alebo úplná náhrada týchto systémov obnoviteľnými alternatívami. Druhá možnosť si však často vyžaduje sprievodné technológie (napr. tepelné čerpadlá), ktoré dokážu zabezpečiť požadovanú výstupnú teplotu, najmä v prípade integrácie do vysokoteplotných sústav CZT.

Kľúčovou súčasťou tohto prechodu je nasadenie modernizačných technológií, ako sú tepelné čerpadlá, mechanická rekompresia pary (MRP) a akumulácia tepelnej energie (ATE), ktoré sú nevyhnutné na premenu nízko-teplotných obnoviteľných zdrojov na vyššie teploty požadované v sieťach CZT. Správa poskytuje podrobnú analýzu 24 technológií a stratégií na integráciu NPOZE do existujúcich sústav CZT, z ktorých 10 prípadov bolo detailne preskúmaných a zhrnutých v Tabuľka 10.

Tabuľka 11 – Súhrn predbežných odhadov podielu OZE a priemerných nákladov na výrobu tepla (LCOH), ktoré je možné dosiahnuť pri jednotlivých navrhovaných riešeniach s využitím NPOZE.

Prípad #	Indicator	Litva		Poľsko		Slovensko	
		NPOZE	BS	NPOZ	BS	NPOZE	BS
1	Podiel OZE (%)	19,7%	0	19,7%	0	19,7%	0
	LCOH (€/MWh _t)	60	51	63	54	78	71
2	Podiel OZE (%)	42,2%	0	35,9%	0	43,4%	0
	LCOH (€/MWh _t)	70	51	80	54	87	71
3	Podiel OZE (%)	48,0%	0	48,0%	0	48,0%	0
	LCOH (€/MWh _t)	51	53	54	59	68	81
4	Podiel OZE (%)	48,0%	0	48,0%	0	48,0%	0
	LCOH (€/MWh _t)	51	53	51	53	51	53
5	Podiel OZE (%)	64,2%	0	64,2%	0	64,2%	0
	LCOH (€/MWh _t)	43	53	47	59	60	81
6	Podiel OZE (%)	44,0%	0	39,1%	0	44,8%	0
	LCOH (€/MWh _t)	62	53	71	59	84	81
7	Podiel OZE (%)	93,8%	0	81,0%	0	96,1%	0
	LCOH (€/MWh _t)	83	53	96	59	95	81
8	Podiel OZE (%)	93,8%	0	81,0%	0	96,1%	0
	LCOH (€/MWh _t)	80	53	91	53	92	53
9	Podiel OZE (%)	88,6%	0	65,4%	0	92,9%	0
	LCOH (€/MWh _t)	140	53	164	53	162	53
10	Podiel OZE (%)	22,0%	0	17,1%	0	22,9%	0
	LCOH (€/MWh _t)	74	53	79	53	79	53

Tieto prípady poukazujú na rôzne prístupy k integrácii – od kombinácie solárneho alebo geotermálneho tepla so systémami kombinovanej výroby elektriny a tepla (KVET), až po využitie odpadového tepla na zvýšenie účinnosti systému. Tabuľka 11 sumarizuje dva kľúčové ukazovatele výkonnosti: podiel energie z obnoviteľných zdrojov (OZE) a priemerné náklady na výrobu tepla (LCOH).

Z finančného hľadiska je priemerný náklad na výrobu tepla (LCOH) kľúčovým ukazovateľom pri hodnotení realizovateľnosti jednotlivých riešení. Zatiaľ čo obnoviteľné zdroje ako odpadové teplo predstavujú nákladovo najefektívnejšie možnosti, iné technológie – ako napríklad geotermálna energia alebo niektoré modernizácie KVET – môžu viesť k výraznému nárastu nákladov, niekedy až o 300 %.

Napriek týmto nákladovým výzvam zostáva LCOH riešení založených na obnoviteľných zdrojoch konkurencieschopný v rámci širšieho európskeho energetického trhu, najmä pri zohľadnení dlhodobých prínosov, ako je zníženie emisií skleníkových plynov (greenhouse gas - GHG) a závislosti od fosílnych palív. Navyše, pre komplexnejšiu analýzu by bolo vhodné zahrnúť aj ekonomické hodnotenie na základe úspor externých nákladov.

Zistenia tejto správy zároveň zdôrazňujú význam zosúladenia technologických modernizácií s konkrétnymi potrebami sústav CZT v jednotlivých krajinách. Stratégie, ktoré sú efektívne v jednom

kontexte, môžu byť menej účinné alebo ekonomicky nevýhodné v inom, a to v dôsledku miestnych klimatických podmienok, štruktúry energetického trhu či pripravenosti infraštruktúry. Preto sú nevyhnutné riešenia šité na mieru, ktoré zohľadňujú tak energetickú výkonnosť, ako aj finančnú realizovateľnosť. Na získanie presnejších odporúčaní je potrebné analyzovať konkrétne lokality CZT a posúdiť rôzne technológie a stratégie osobitne.

Na záver možno konštatovať, že integrácia NPOZE do sústav CZT predstavuje sľubnú cestu k dosiahnutiu cieľov udržateľnej energetiky. Tento prechod si však vyžaduje komplexný prístup, ktorý spája technologické inovácie, strategické plánovanie a finančné investície. Napriek dosiahnutému pokroku bude úplná dekarbonizácia sietí CZT závisieť od ďalšieho rozvoja technológií na zvyšovanie teploty a od postupného, regionálne prispôbeného prechodu od fosílnych palív k obnoviteľným zdrojom energie. Zavedením flexibilného a postupného plánu transformácie môže Európa účinne napredovať smerom k ekologickejším a nákladovo efektívnejším sústavám CZT, čím prispeje k zmierňovaniu klimateckej zmeny a zároveň zachová spoľahlivosť a odolnosť dodávok energie.

Referencie

Alva, G., Lin, Y. & Fang, G., 2018. An overview of thermal energy storage systems. *Energy*, 144(February), pp. 341-378. DOI: 10.1016/j.energy.2017.12.037.

Atienza-Márquez, A., Brun, J. C. & Coronas, A., 2020. Recovery and Transport of Industrial Waste Heat for Their Use in Urban District Heating and Cooling Networks Using Absorption Systems. *Applied Science*, 10(291), pp. 1-20. DOI: 10.3390/app10010291.

Camia, A. et al., 2020. *The use of woody biomass for energy production in the EU, EUR 30548 EN*, Luxembourg: Publication Office of the European Union.

Cudok, F. et al., 2021. Absorption heat transformer - state-of-the-art of industrial applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141(110757), pp. 1-18. DOI: 10.1016/j.rser.2021.110757.

ENERDATA, 2023. *carbon price forecast under the EU ETS*. [Online]
Available at: <https://www.enerdata.net/publications/executive-briefing/carbon-price-projections-eu-ets.html>
[Accessed 28 July 2024].

EU_Parliament, 2009. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources. *Official Journal of the European Union*, pp. 16-62.

EU_Parliament, 2018. DIRECTIVE (EU) 2018/2001 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. *Official Journal of the European Union*, Volume L 328, pp. 82-205.

European Commission, DG JRC,, 2017. *Long term (2050) projections of techno-economic performance of large-scale heating and cooling in the EU*, s.l.: Joint Research Centre.

Gil, A. et al., 2010. State of the art on high temperature thermal energy storage for power generation. Part 1—Concepts, materials and modellization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), pp. 31-55. DOI: 10.1016/j.rser.2009.07.035.

Int_Energy_Agency, 2024. *IEA DHC - District heating network generation definitions*, s.l.: IEA DHC, 1-3..

Koch, K., Alt, B. & Gaderer, M., 2020. Dynamic Modeling of a Decarbonized District Heating System with CHP Plants in Electricity-Based Mode of Operation. *Energies*, 13(4134), pp. 1-14. DOI: 10.3390/en13164134.

Lund, H. et al., 2014. 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*, 68(April), pp. 1-11. DOI: 10.1016/j.energy.2014.02.089.

Lund, R. & Persson, U., 2016. Mapping of potential heat sources for heat pumps for district heating in Denmark. *Energy*, 110(September, Supplement C), pp. 129-138. DOI: 10.1016/j.energy.2015.12.127.

Ommen, T., Thorsen, J. E., Markussen, W. B. & Elmegaard, B., 2017. Performance of ultra low temperature district heating systems with utility plant and booster heat pumps. *Energy*, 137(October), p. 544–555. DOI: 10.1016/j.energy.2017.05.165.

- Østergaard, P. & Andersen, A., 2016. Booster heat pumps and central heat pumps in district heating. *Applied Energy*, 184(December), p. 1374–1388. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.02.144.
- Persson, U. & Münster, M., 2016. Current and future prospects for heat recovery from waste in European district heating systems: A literature and data review. *Energy*, 110(September, Supplement C), p. 116–128. DOI: 10.1016/j.energy.2015.12.074.
- Ramboll, 2020. *WEdistric - D2.3 District Heating and Cooling Stock at EU level*, s.l.: EU Commission - EU Horizo 2020 n. 857801.
- Rasmussen, J. F., 2024. *The role of district heating in the energy system*, s.l.: Danish District Heating Association.
- Scarpa, F., Tagliafico, L. A. & Bianco, V., 2013. Inverse cycles modeling without refrigerant property specification. *International Journal of Refrigeration*, 6(36), pp. 1716-1729. DOI: 10.1016/j.ijrefrig.2013.04.003.
- Scarpa, F., Tagliafico, L. & Bianco, V., 2013. A novel steady-state approach for the analysis of gas-burner supplemented direct expansion solar assisted heat pumps. *Solar Energy*, Issue 96, pp. 227-238. DOI: 10.1016/j.solener.2013.07.016.
- Sipra, A. T., Gao, N. & Sarwar, H., 2018. Municipal solid waste (MSW) pyrolysis for bio-fuel production: A review of effects of MSW components and catalysts. *Fuel Processing Technology*, 175(June), pp. 131-147. DOI: 10.1016/j.fuproc.2018.02.012.
- Sokolovs, A. et al., 2015. Heat Recovery Technologies from Aerobic Bio-degradation: From Theoretical Finding to Modeling Results. *Procedia Computer Science*, Volume 77, pp. 141-150. DOI: 10.1016/j.procs.2015.12.371.
- Tagliafico, L., Scarpa, F. & Valsuani, F., 2014. Direct expansion solar assisted heat pumps - A clean steady state approach for overall performance analysis. *Applied Thermal Engineering*, 66(1-2), pp. 216-226. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2014.02.016.
- Toppi T, Aprile, M., Abrami, G. & Motta, M., 2021. *Compressor-assisted heat transformer for waste-heat powered district*. ISHPC 2021, Berlin, August 22nd to 25th, s.n.
- Werner, S., 2006. *Possibilities with more district heating in Europe, WP4 report from the IEE Ecoheatcool project*, Brussels: s.n.
- Wu, J. & Han, Y., 2023. Integration strategy optimization of solar-aided combined heat and power (CHP) system. *Energy*, 263(125875), pp. 1-17. DOI: 10.1016/j.energy.2022.125875.
- Zeh, R. et al., 2021. Large-Scale Geothermal Collector Systems for 5th Generation District Heating and Cooling Networks. *Sustainability*, 13(6035), pp. 1-18. DOI: 10.3390/su13116035.
- Zeng, Z. et al., 2021. Parametric analysis and system optimization of a novel steam production system by synthetic cascade utilization of industrial waste heat. *Energy Reports*, Volume 7, p. 5909–5921. DOI: 10.1016/j.egyr.2021.08.178.

Zhao, S., Wang, W. & Ge, Z., 2019. Energy and Exergy Evaluations of a Combined Heat and Power System with a High Back-Pressure Turbine under Full Operating Conditions. *Energies*, 13(4484), pp. 1-18. DOI: 10.3390/en13174484.

Zhu, T. et al., 2023. Integration of booster heat pumps in ultra-low temperature district heating network: Prototype demonstration and refrigerant charge investigation. *Energy and Buildings*, 298(113516), pp. 1-14. DOI: 10.1016/j.enbuild.2023.113516.