

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**CENTRALIZOVANÉ ZÁSOBOVÁNÍ TEPEM
S OBNOVITELNÝMI ZDROJI ENERGIE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

ŠIMON ŠVIHEL

7–TZSI–2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Švihel** Jméno: **Šimon** Osobní číslo: **483940**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Centralizované zásobování teplem s obnovitelnými zdroji energie

Název bakalářské práce anglicky:

District Heating with Renewable Energy Sources

Pokyny pro vypracování:

Proveďte rešerši evropských systémů využívajících solární tepelné kolektory a tepelná čerpadla pro centralizované zásobování teplem. Uvádějte vždy princip a hlavní energetické charakteristiky instalace. Na závěr uveďte hlavní předpoklady zavádění OZE do soustav CZT.

Seznam doporučené literatury:

Přednášky z předmětu Základy zásobování teplem.
Internetové informační zdroje (Sciencedirect, web IEA-Solar Heating and Cooling Programme)

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D. ústav techniky prostředí FS

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

Datum zadání bakalářské práce: **20.03.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14.06.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Souhrn

Bakalářská práce se zaměřuje na využití obnovitelných zdrojů energie v soustavách centralizovaného zásobování teplem. V práci jsou popsány vybrané evropské systémy využívající solární kolektory, tepelná čerpadla a komplexní systémy, kde je propojeno více technologií s obnovitelnými zdroji. Cílem práce je získat povědomí o možnostech využití obnovitelných zdrojů energie a jejich implementaci v soustavách centrálního zásobování teplem.

Summary

This bachelor's thesis focuses on use of renewable energy sources in district heating. The work describes selected european systems using solar collectors, heat pumps and complex systems, where multiple technologies using renewable sources are connected. The aim of the thesis is to gain awareness of the possibilities of using renewable energy sources and their implementation in central heat supply systems.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Centralizované zásobování teplem s obnovitelnými zdroji energie“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Tomáše Matušky, PhD., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 14.06.2023

Šimon Švihel

Obsah

1. Úvod	1
2. Solární systémy	2
2.1 Eibiswald	2
2.2 Vojens	3
2.5 Senftenberg	8
2.6 Fernheizwerk	10
2.6 Silkeborg	11
2.7 Akershus	12
2.8 Chemnitz (Saská Kamenice)	13
2.9 Jelling	14
2.10 Shrnutí	16
3. Systémy s tepelnými čerpadly.....	19
3.1 Stockholm „Oppen fjarrvarme“ - Pionen	19
3.2 Stockholm Värtaverket	20
3.3 Wasserverbund Bachstrasse	21
3.4 Aumatt	22
3.5 Klagenfurt	23
3.6 Marienhütte, Graz	25
3.7 Thisted	27
3.8 Sig	29
3.9 Gammel Rye.....	30
3.10 Hallein	31
3.11 Krumpendorf	33
3.12 Kalundborg.....	34
3.13 Bergheim	35
3.14 Shrnutí	37
4. Komplexní systémy	40
4.1 Dronninglund	40
4.2 Marstal.....	43
4.3 Gram	47
4.4 Brædstrup.....	50
4.5 Brønderslev.....	54
5. Závěr	57
6. Seznam literatury a použitých pramenů	59

1. Úvod

Centralizované zásobování teplem (CZT) lze definovat jako systém sloužící k výrobě tepla v jednom nebo více zdrojích a následný rozvod tepla tepelnými sítěmi do větších celků, jako jsou obytné nebo obchodní čtvrti či celé obce. V Evropě jsou systémy CZT velmi populární, často v kombinaci společné výroby tepla a elektřiny za účelem šetření paliv. Systémy CZT však mají i své nevýhody, především náklady na výstavbu nejen výtopen/tepláren, ale i distribuční sítě. Jako teplonosná látka pro distribuci se používá voda nebo vodní pára.

Využití obnovitelných zdrojů energie je v posledních letech stále více probíraným tématem. Ať už se jedná o výrobu elektřiny nebo tepla, lidstvo se stále více snaží oprostit od fosilních paliv. Důvody mohou být ekologické, politické i ekonomické. Mezi obnovitelné zdroje energie pro získání tepla řadíme především sluneční energii, biomasu a teplo okolního prostředí, jako je například vzduch či podzemní voda.

Průkopníky v použití obnovitelných zdrojů energie pro výrobu tepla pro systémy CZT jsou především severské státy, jako je Dánsko a Švédsko. Politické směřování těchto zemí umožňuje kvůli danění uhlíkatých paliv a s pomocí dotací stavět účinné systémy, a naopak odrazuje od využívání fosilních paliv. Tyto země inspirují i další evropské státy k zapojení obnovitelných zdrojů energie do svých infrastruktur.

Cílem této práce je představit vybrané inovativní projekty, které využívají k dodávce tepla pro systémy CZT právě obnovitelné zdroje energie, konkrétně solární tepelné systémy a systémy s tepelnými čerpadly. Součástí práce jsou technické informace projektů, jejich podoba a struktura, výhody či nevýhody systémů a podíl OZE v systémech CZT v Evropě.

2. Solární systémy

2.1 Eibiswald

Eibiswald je obec s necelými 6 500 obyvateli ležící na jihu Rakouska. Místní síť CZT se skládá z potrubí o délce 10,5 km a zásobuje více jak 600 domácností. Pracovní teploty v síti se pohybují v rozsahu 75 až 95 °C (přívodní) a 45 až 50 °C (vratná). Roční požadavek na dodávku tepla činí 8,8 GWh/rok. [1]



Obr. 2.1 – Umístění solárních kolektorů v obci Eibiswald [1]

O dodávky tepla do sítě se stará pole solárních kolektorů o celkové ploše 2 450 m² společně se dvěma kotli na dřevní štěpku o výkonech 700 kW a 2 300 kW. Systém je také podpořen pohotovostním zásobníkem tepla o objemu 173,5 m³. [1]

Začlenění solárních kolektorů do sítě začalo v roce 1997, kdy bylo instalována prvních 1 250 m² plochých solárních kolektorů společně s pohotovostním zásobníkem tepla. K rozšíření došlo v roce 2012, kdy bylo přidáno 1 200 m² solárních kolektorů a byl rozšířen i zásobník tepla. Použito je celkem přibližně 1 070 kolektorů firmy Ökotech Gluatmugl. Jedná se o ploché kolektory s dvojitým zasklením, popřípadě jednoduchým zasklením s fólií. Kolektory jsou umístěny na střechy budov. Jako teplonosná látka je zde použita směs glykolu a vody

(35 %, Tyfocor L). Roční solární podíl činí asi 11,5 %, přičemž v letních měsících je až 100 %. Maximální pracovní teplota je 95 °C. Roční provozní doba kolektorů je přibližně 3 000 hodin. Díky instalaci došlo ke snížení emisí CO₂ o 300 tun/rok. Cena tepla se pohybuje kolem 35 EUR/MWh. [1, 2]

2.2 Vojens

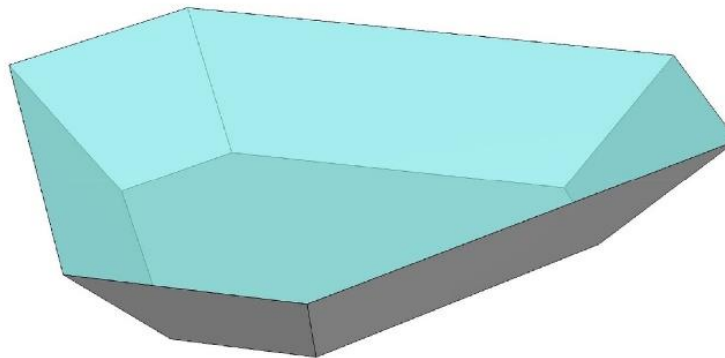
Solární výtopna ve Vojens se nachází na jihu Dánska v regionu Syddanmark. Celková plocha solárních kolektorů 70 000 m² patří mezi největší na světě. Systém používá ploché kolektory firmy Arcon. [3] Do provozu byla solární soustava uvedena v roce 2016 a zásobuje přibližně 2000 místních obyvatel. Celková roční potřeba tepla v síti CZT činí přibližně 62 GWh/rok. Roční dodávka tepla ze solární soustavy je 27,8 GWh/rok při průměrné účinnosti kolektorů 42 %. [3]



Obr. 2.2 – Pohled na kolektorové pole, Vojens [4]

Solární soustava je doplněna vodním výkopovým zásobníkem pro dlouhodobou akumulaci tepla (typu PTES) s objemem 203 000 m³. Zásobník má tvar komolého jehlanu (viz. Obr. 2.4).

Hloubka zásobníku je 15 m. Místo vedení trubek s difuzéry od spodu bylo zvoleno vedení trubek ze stran, což mírně redukuje tepelnou ztrátu. Jako izolační materiál byla zvolena Leca (umělé kamenivo) o tloušťce vrstvy 400 mm kvůli lehké instalaci a ohebnosti. Leca má tepelnou vodivost v rozmezí 0,09 až 0,101 W/mK. [3]



Obr. 2.3 – Tvar zásobníku ve Vojens [3]

Součástí systému je také tepelné čerpadlo o topném výkonu 5,1 MW, elektrický kotel o výkonu 10 MW a plynový kotel s výkonem 5,5 MW.

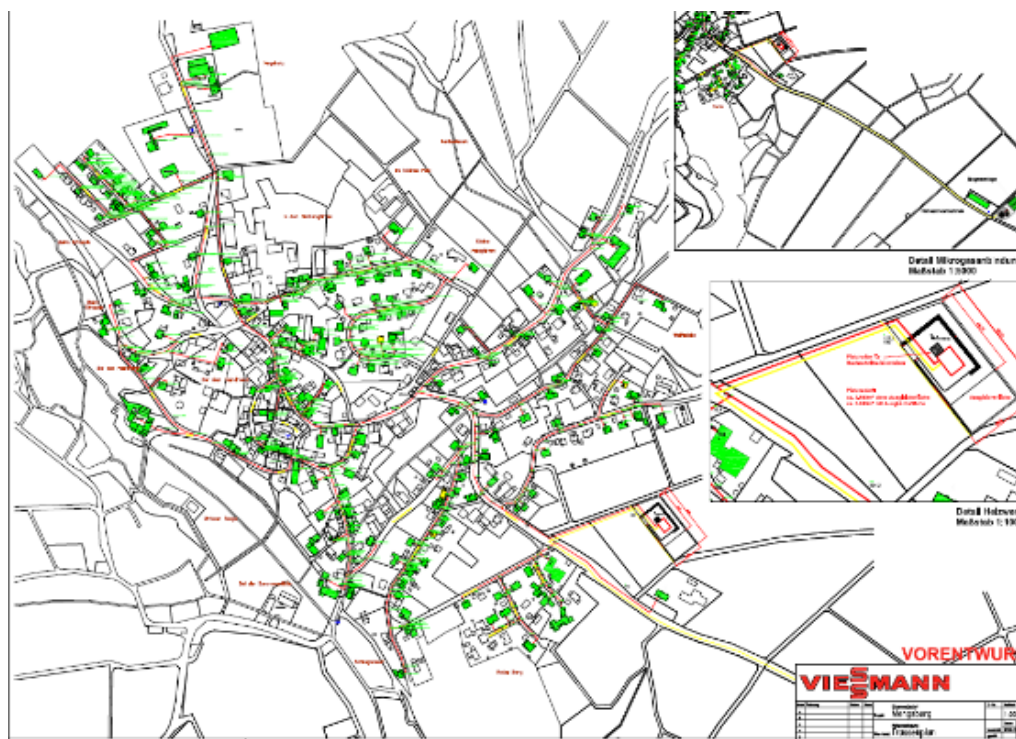
Cena instalace dosáhla 120 milionů dánských korun (16 milionů EUR). Nejnákladnější částí byly solární kolektory s rozvody, výměníky tepla, podpůrná infrastruktura a s tím spojené práce (58 %), dále akumulční nádrž a konzultační a stavební náklady. [4]

2.3 Mengersberg

Mengersberg je malá obec ležící ve spolkové zemi Hesensko ve středním Německu. Počet obyvatel nedosahuje ani jednoho tisíce. Obec má dlouholetou historii, s čímž je spojeno množství historických budov, které jsou z hlediska úspor tepla komplikovaným problémem. [5]

I přesto se však obyvatelé rozhodli zbavit závislosti na fosilních palivech v oblasti vytápění a v roce 2012 vznikla myšlenka na zásobování obce teplem pomocí obnovitelných zdrojů energie. Prvoplánové návrhy přišly s možností bioplynové stanice, nicméně při zhotovení studie na zapojení solárních kolektorů bylo rozhodnuto právě pro tuto možnost. V roce 2018 byl tedy projekt solární a bioenergetické vesnice Mengersberg uveden v provoz. [5]

Ve vesnici byl tedy zprovozněn systém se 150 smluvními odběrateli s celkovým odběrem tepla 4,9 GWh. K tomu slouží tepelná síť dlouhá přes 9 kilometrů. Provozní teplota sítě je odlišná pro zimní a letní období, tedy v zimě se jedná o teploty 85/55 °C a v létě o teploty nižší, konkrétně 70/40 °C. [6]



Obr. 2.4 – Mapa residencí zúčastněných v projektu [6]

System je tvořen solárními kolektory pro letní zásobování teplem, dále kotlem na dřevní štěpku pro základní dodávku tepla a doplňkovým kotlem na bioplyn pro špičkový odběr tepla. System je dále doplněn krátkodobým akumulacním zásobníkem o vodním objemu 300 m³ a dobou akumulace pět až sedm dní. [5]



Obr 2.5 – Pohled na kolektorové pole, Mengersberg [5]

Plocha pole solárních kolektorů čítá 2 950 m². Výkon pole solárních kolektorů je 2,1 MW při solárním pokrytí 17 %, výkon kotle na dřevní štěpku 1,1 MW a výkon bioplynového kotle 1,6 MW. [5]

Celková cena investice činí přibližně 6 milionů EUR. Pro jednotlivé občany je vklad pro zavedení potrubí do domu v hodnotě 4000 EUR. Výsledná cena tepla činila v listopadu 2022 112 EUR/MWh. [6]

2.4 Grenaa

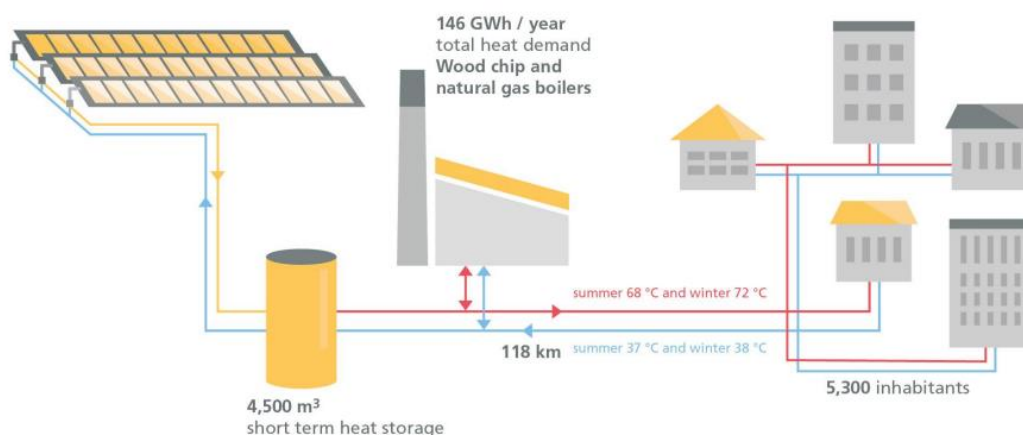
Grenaa je město na východě Dánska s 14 000 obyvateli. Součástí města je i systém CZT zásobující 5 300 místních obyvatel s celkovým ročním odběrem tepla 146 GWh. Provozní teplota sítě je rozdílná pro letní a zimní období, tedy v létě se jedná o teploty 68/37 °C, v zimě 72/38 °C. Systém byl uveden do provozu mezi lety 2018-2019. [6]



Obr. 2.6 – Pohled na kolektorové pole, Grenaa [6]

Systém je tvořen polem solárních kolektorů napojených na krátkodobý akumulční zásobník o vodním objemu 4 500 m³. Kromě solárních kolektorů je v systému zabudováno také tepelné čerpadlo, kotel na dřevní štěpku a kotel na zemní plyn. K rozvodu tepla slouží tepelná síť s celkovou délkou 118 km (viz Obr. 2.7). [6]

FLAT PLATE
20,673 m², 14.5 MW
Savosolar, Finland



Obr. 2.7 – Zjednodušené schéma, Grenaa [6]

Pro solární pole jsou užity kolektory finské firmy Savosolar typu Savo 15 SG-M. Celková plocha kolektorů je 20 673 m². Výkon pole kolektorů je 14,5 MW při solárním pokrytí 7 %. V roce 2021 byl zisk z pole solárních kolektorů 10,2 GWh/rok, což znamená zisk 493 kWh/m². Investice do pole solárních kolektorů a s nimi spojenými technologie byla 4,7 milionů EUR. Co se samotných kolektorů týká, výsledná cena byla 227 EUR/m² a jejich roční údržba stojí 12 500 EUR. [6, 7]

2.5 Senftenberg

Senftenberg je německé město s 25 000 obyvateli na jihu Braniborska. V době NDR byla oblast významná kvůli velkému nalezišti hnědého uhlí, nicméně v roce 1999 byla činnost dolů ukončena a obec se postupně stala průkopníkem v oblasti využití obnovitelných energií. Již v roce 2006 vzbudila pozornost do té doby největší bioplynová stanice na německém území. V roce 2016 poté představila další krok na cestě k využívání pouze obnovitelných energií; do provozu byl uveden největší německý solární tepelný systém. [8, 9]

Solární systém byl vybudován na ploše 22 000 m² a ročně má vyrobit kolem 4 GWh tepla, tedy 4 % z celkové roční potřeby tepla města. Jedná se o čistě letní systém, tedy v létě stačí na pokrytí celé potřeby tepla a nemusí být doplňován žádným dalším zdrojem. Zároveň není vzhledem k povaze sítě třeba žádná akumulční nádrž. [8]

Celková plocha kolektorů je 8 300 m². Celkový počet kolektorů je 1680. Jedná se o trubkové vakuové kolektory XL 19/49 P německé firmy Ritter. [8]



Obr. 2.8 – Pohled na kolektorové pole, Senftenberg [8]

Síť dálkového vytápění pro město Senftenberg je dlouhá téměř 33 km s připojeným výkonem téměř 50 MW a roční potřebou tepla na vytápění přibližně 100 GWh. Základní odběr tepla v létě je přibližně 3,8 MW. Teplota v síti se během sezóny pohybuje mezi 85 a 105 °C. Špičkový výkon solárního systému je přibližně 4,5 MW. V létě tedy přes den generuje přebytek téměř 20 %, což je vyřešeno instalací bypassu tak, aby až 2000 m³ vody v síti mohlo při extrémně slunečných dnech absorbovat přebytečné teplo a slouží tak k vyrovnávání, díky čemuž systém nepotřebuje akumulční nádrž. Letní teplota sítě je 85/65 °C a zimní 105/55 °C. [8, 10]

2.6 Fernheizwerk

Solární výtopna Fernheizwerk se nachází v rakouském městě Graz, česky Štýrském Hradci. Město se nachází ve Štýrsku na jihu Rakouska a má téměř 300 000 obyvatel. Je nedílnou a největší solární součástí celkového centralizovaného systému zásobování teplem města. Systém byl navržen v roce 2006 firmou S.O.L.I.D. [11]

Celková potřeba pro město Graz je až 1200 GWh se špičkovým výkonem 550 MW při délce potrubí přibližně 370 km. O to se kromě solárních systémů starají také kogenerační jednotky a plynové kogenerační jednotky v zimě. Kvůli požadavkům na snížení emisí se tedy zkoumá a pracuje se stále větším podílem solárních kolektorů. Jen systém Fernheizwerk ročně uspoří 740 tun CO₂ ročně. [11]

Systém o celkové ploše solárních kolektorů 8 215 m² je schopen dosáhnout výkonu až 5 MW. Původně spíše vědecký projekt sestával z přibližně 5 000 m² kolektorové plochy na střechách a využíval kolektory různých výrobců, aby mohl porovnávat výkony a účinnost jednotlivých z nich, zatímco se plně podílí na dodávce tepla do města. V následujících letech byla získána vhodná plocha a k systému bylo přidáno i dalších více jak 3 000 m² kolektorů a byl zhotoven do dnešní podoby. Teploty sítě jsou pro letní období 75/60 °C a v zimním období síť dosahuje až 120/60 °C. [11, 12]



Obr. 2.9 – Pohled na kolektorové pole, Fernheizwerk [11]

Do budoucna byl vytvořen projekt, jehož účelem je zvětšit podíl solární energie na dodávce tepla do CZT. V plánu je celková plocha od 200 000 m² do 1 000 000 m² plochy kolektorů s dlouhodobou akumulací nádrží od objemu mezi 200 000 m³ až 2 000 000 m³ s použitím tepelných čerpadel. Při této ploše by byl podíl tepla získávaného pro CZT solárními kolektory až 55 %. [12]

2.6 Silkeborg

Silkeborg je dánské město ležící uprostřed Jutského poloostrova, tedy ve středu Dánska. Má necelých 50 000 obyvatel a roční potřebu tepla na vytápění 400 GWh. Na pokrytí potřeb se podílí i největší komplex solárních kolektorů v Evropě postavený v roce 2016. Provozní teploty sítě se v létě pohybují mezi 65 až 68 °C a v zimě poté 85 až 90 °C. Celková délka potrubní sítě je 22 km. Kromě solárních kolektorů jsou součástí systému i dvě plynové turbíny a jedna parní. Již při návrhu se plánovalo připojení elektrického kotle a systému na zpětné získávání tepla ze spalin. Dříve byl systém složen z kotlů a kogeneračních jednotek. [13]



Obr. 2.10 – Pohled na kolektorové pole, Silkeborg [50]

Solární systém má celkovou plochu kolektorů 156 694 m² tvořenou více než 12 000 kolektory. Systém užívá kolektory firmy Arcon-Sunmark, konkrétně typy Arcon-Sunmark HT-HEATstore 35/10, které tvoří 70 % kolektorů a zbylých 30 % je tvořeno kolektory Arcon-Sunmark HT-HEATboost 35/10. Je schopen ročně dodat 80 GWh tepla při maximálním výkonu 110 MW, což tvoří 20 % roční spotřeby města. Kvůli své velikosti je rozdělen do čtyř částí. Zároveň je schopen pokrýt veškeré letní potřeby. Systém nemá dlouhodobou akumulární nádrž, má však čtyři nádrže pro krátkodobou akumulaci každou o objemu 16 000 m³. Životnost solárního kolektorového systému se předpokládá nejméně 25 let. [13]

Teplárna v Silkeborgu si dala za cíl být do roku 2030 uhlíkově neutrální, a i díky instalaci solárních kolektorů a nahrazení starých systémů je na správné cestě. Solární systém snížil emise CO₂ o přibližně 15 000 t/rok. Instalace tepelného čerpadla a systému na kondenzaci spalin následující rok dále snížila emise CO₂ o 14 000 t/rok. Tím se systém přiblížil cíli uhlíkové neutrality již z 45 %. [14]

Celkové náklady na solární systém činily 230 milionů DKK a 450 milionů DKK pro tepelné čerpadlo, nádrže a kondenzaci spalin. Cena produkce tepla po úpravách klesla až o 20 %. [15]

2.7 Akershus

Solární výtopna Akershus leží v norském městě Lillestrom nedaleko Osla. Město má přes 14 000 obyvatel. Solární výtopna je největším takovým komplexem na území Norska. Uvedena byla do provozu na podzim roku 2012, nicméně z důvodu pokrytí kolektorů sněhovou vrstvou se stala užitečnou součástí sítě až na jaře 2013. Do sítě CZT má ročně dodávat 4,2 GWh solárního tepla, což odpovídá 3 % požadavků sítě. Během léta zvládne pokrýt 20 až 30 % požadovaného tepla. Celková délka sítě činí 39 km. [16, 17]

Systém je vybudován na ploše o rozloze 30 akrů. Celková plocha kolektorů činí 13 000 m² při roční produkci 323 kWh/m². Je zde umístěno 915 solárních kolektorů, každý o ploše 14 m². Jedná se o kolektory dánské firmy Sunmark. Kolektory jsou napojeny na krátkodobou akumulární nádrž o objemu 1 200 m³, která zvládne uchovat teplo produkované během dvou až tří dnů. Kolektory dodávají do sítě teplo přímo o požadované pracovní teplotě, tedy mezi 85 až 90 °C. [16, 17]



Obr. 2.11 – Pohled na kolektorové pole, Akershus [17]

Lillestrom produkuje veškeré teplo pro CZT z obnovitelných zdrojů energie. Kromě solárních kolektorů je zde využíván také kotel na dřevní štěpku, pro který lze palivo získávat z místních lesů. Dřevní štěpka je užívána jako základ pro vytápění a pro špičkové zatížení kotel na bioolej. Dále užívá plyn ze skládky a tepelné čerpadlo, které získává teplo z odpadních vod města. V Norsku je vysoká koncentrace vodních elektráren, což umožňuje městu získávat veškeré teplo právě z obnovitelných zdrojů. [16]

Celková cena solárního systému byla asi 4 miliony EUR, přičemž státní příspěvky pokryly 50 % nákladů. Majitel, firma Akershus Energi, plánuje v oblasti, kde vlastní i další CZT vytápny, investovat do systémů s obnovitelnými zdroji dalších až 135 milionů EUR, což by mělo snížit produkci emisí CO₂ až o 120 000 tun. [16]

2.8 Chemnitz (Saská Kamenice)

Saská Kamenice je s téměř 250 000 obyvateli třetí největší město německé spolkové země Sasko. Leží kousek od severozápadní hranice s Českou republikou na severním úpatí Krušných hor. Zatímco v minulých desetiletích se město potýkalo s poklesem počtu obyvatel, v posledních letech se začíná více zalidňovat. Správa města se snaží vybudovat poblíž centra atraktivnější místa pro život. Součástí těchto snah je i část města Brühl, která se jednu dobu potýkala s dokonce 50 % neobývaných prostor. Nové projekty na centralizované zásobování teplem jsou jednou z cest, jak tuto problematiku řešit. [18]

Síť Brühl zásobuje na 250 budov s celkovou roční potřebou tepla mezi 17 a 18 GWh a celkovým připojeným výkonem 15 MW. Součástí tohoto systému je i pole solárních kolektorů

a vodní nádrž na krátkodobou akumulaci o objemu 1 000 m³. Do provozu byl systém uveden v roce 2016. [18]

Celková plocha solárních kolektorů je 2 230 m² typu WRG80 a WGK133 rakouského výrobce Greenonetec. Podle původních plánů mělo pole kolektorů pokrýt asi 5 % potřeby, nicméně v první fázi spuštění dosahovalo až 11 % solárního pokrytí s výkonem 1 560 kW. Teploty v síti jsou 75/45 °C. Teploty v akumulční nádrži dosahují až 108 °C. [18, 19]



Obr. 2.12 – Pohled na systém CZT, Saská Kamenice [19]

Cena celého systému byla přibližně 10 milionů EUR, kdy 1,7 milionů EUR bylo zaplaceno z části městem, dále Saskem a federální vládou Německa. Instalace systému se zasloužila o pokles emisí CO₂ o asi 313 t/ročně. [18, 19]

2.9 Jelling

Jelling je Dánská obec ležící v regionu Syddanmark a má mírně přes 3 500 obyvatel. Obec je známá především zde vztyčenými runovými kameny z konce prvního tisíciletí našeho letopočtu, které jsou na seznamu světového dědictví UNESCO. Kvůli historickému významu bylo třeba více dbát vzhled kolektorového pole postaveného v roce 2016, aby nebyl poškozen celkový historický vjem obce. Celková potřeba tepla pro obec bývá ročně přes 40 GWh. Místní solární systém je po rozšíření v roce 2019 schopný pokrýt až 25 % potřeb. [20, 21]



Obr. 2.13 – Pohled na kolektorové pole, Jelling [20]

Původní projekt v roce 2016 sestával z kolektorového pole o ploše 15 289 m² s produkcí tepla 8,5 GWh ročně. Při rozšíření v roce 2019 bylo přidáno dalších 4 836 m². V součtu je tedy výsledná plocha kolektorového 20 125 m² s roční produkcí tepla 11,2 GWh. Použité kolektory jsou Savo 15 SG finské firmy Savosolar. Panely jsou postavená v řadách tak, aby bylo možné připojit vždy dvě řady k jedné trubce a tím se snížili tepelné ztráty a cena. Systém je doplněn třemi akumulacími nádržemi, jedné o objemu 1 500 m³ a dvěma o objemu 2 500 m³. Další zdroje pro získání tepla jsou kotel na dřevní štěpku o výkonu 1 MW, absorpční tepelné čerpadlo o výkonu 1,5 MW, kogenerační jednotka o výkonu 8 MW tepla a 6 MW elektřiny a kotle na zemní plyn. [20, 21]

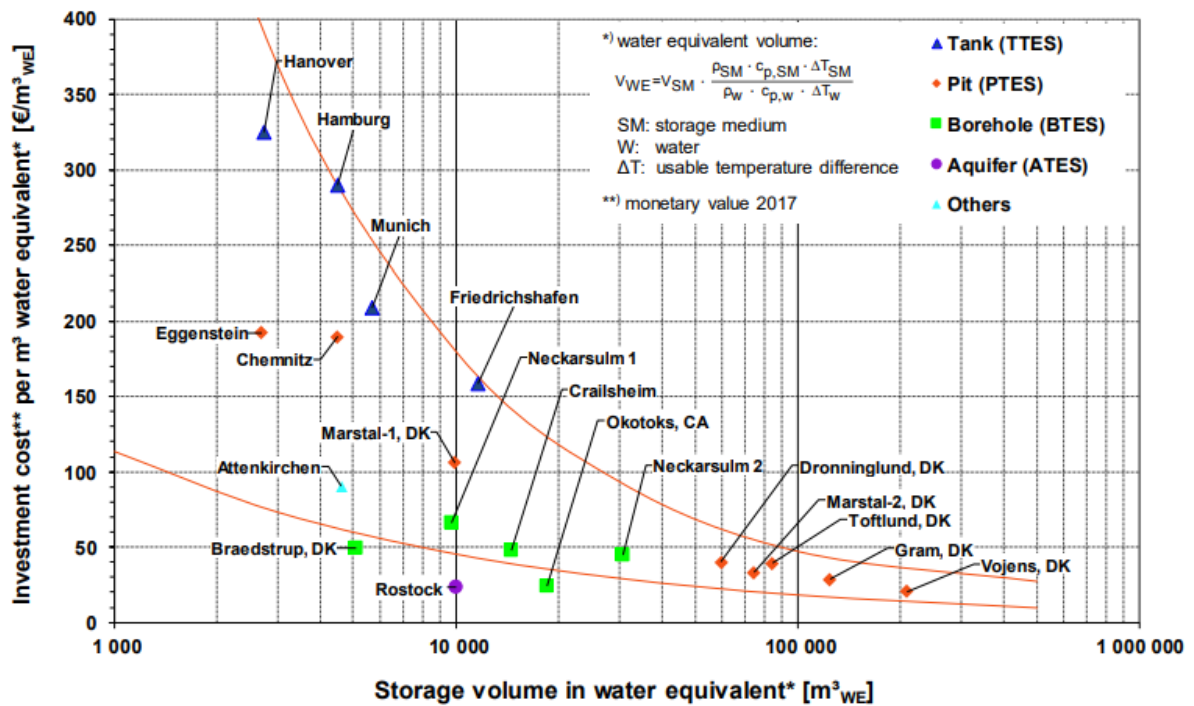
2.10 Shrnutí

Solární systémy jsou v posledních letech stále více využívanou součástí systémů CZT. Díky vysokým měrným ziskům jsou výhodné především v letních měsících. Systémy můžeme dělit podle typu akumulace – dlouhodobá (Vojens), krátkodobá (Eibiswald) nebo bez akumulace (Seftenberg). V tabulce níže jsou shrnuty základní parametry uvedených systémů.

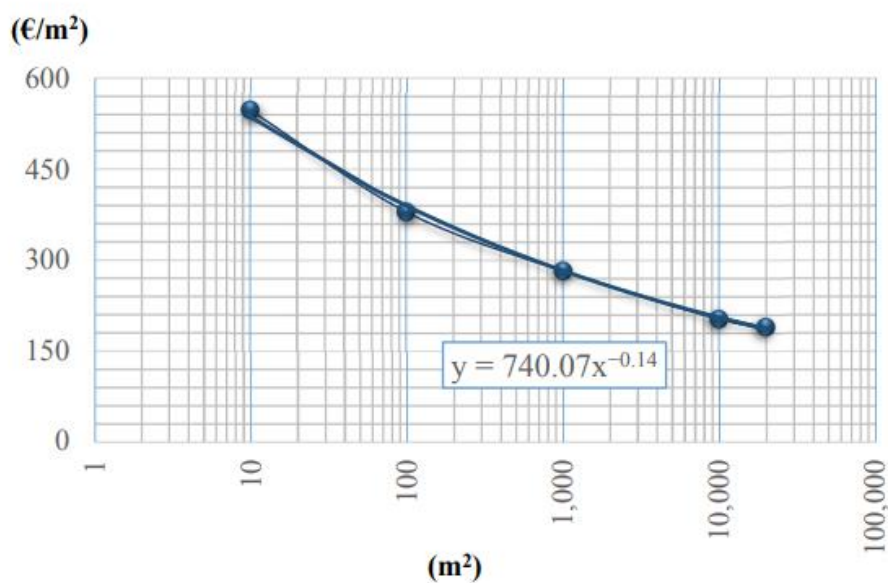
Tab. 2.1 – Shrnutí základních parametrů uvedených systémů

Název	Plocha [m ²]	Objem akumulace [m ³]	Výkon [MW]	Měrné zisky [kWh/m ²]	Solární podíl [%]
Eibiswald	2 450	173,5	1,7	413	11,5
Vojens	70 000	203 000	49	397	50
Mengsberg	2 950	300	2,1	282	17
Grenaa	20 673	4 500	14,5	493	7
Senftenberg	8 300	N/A	4,5	506	4,2
Fernheizwerk	8 215	N/A	5,75	N/A	N/A (plánováno rozšíření s podílem 55 %)
Silkeborg	156 694	4x16 000	110	510	20
Akershus	13 000	1 200	9,1	323	3
Chemnitz	2 230	1 000	1,5	392	5
Jelling	20 125	1x1 500, 2x2 500	14	556	25

Instalace solárních systémů je poměrně nákladná, ať už se jedná o kolektorová pole nebo akumulční nádrže. Cena obou vztahená na měrnou jednotku však poměrně výrazně klesá, je tedy finančně výhodnější stavba větších systémů s dlouhodobou akumulací. [22, 23]

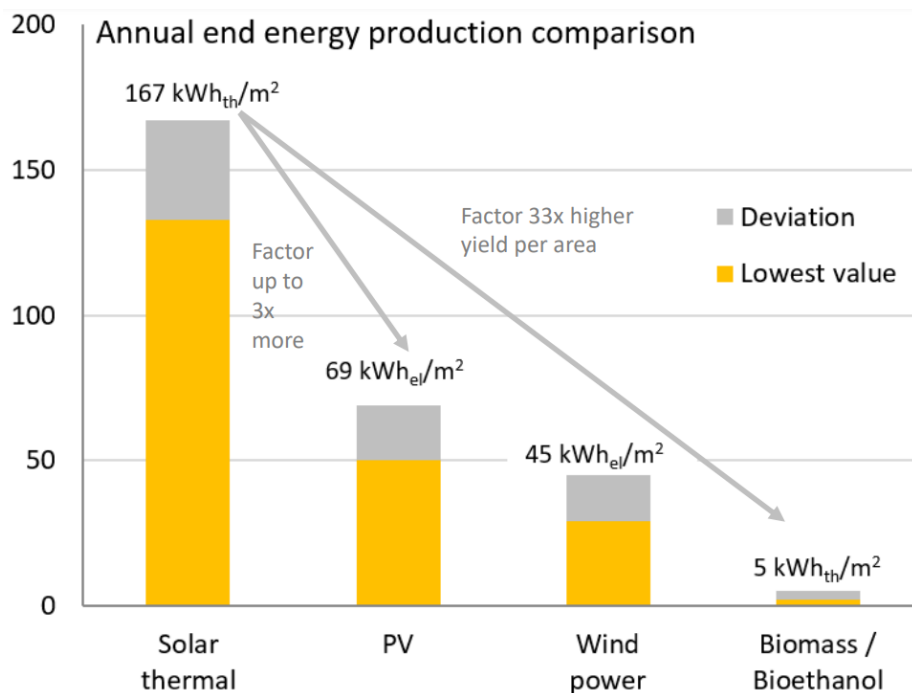


Obr. 2.14 – Vzájemný vztah investice vztahené na ekvivalent m³ vody a objemu akumulční nádrže v ekvivalentu m³ vody [23]



Obr. 2.15 – Vzájemný vztah ceny za m² vztahený na velikost systému včetně akumulčního zásobníku [22]

Solární kolektory jsou také velmi výhodné k zisku energie vztaheném na m² instalovaného systému. Na obrázku níže je porovnání proti fotovoltaice (3x víc), větrným elektrárnám (3 až 4x více) a biomase (až 33x více). [6]



Obr. 2.16 – Porovnání vyrobené energie vztahené na m² systému [6]

V následující tabulce je soupis některých dalších významných evropských systémů se solárními kolektory, které nebyly zahrnuty v práci. [24]

Tab. 2.10 – Další solární systémy v Evropě

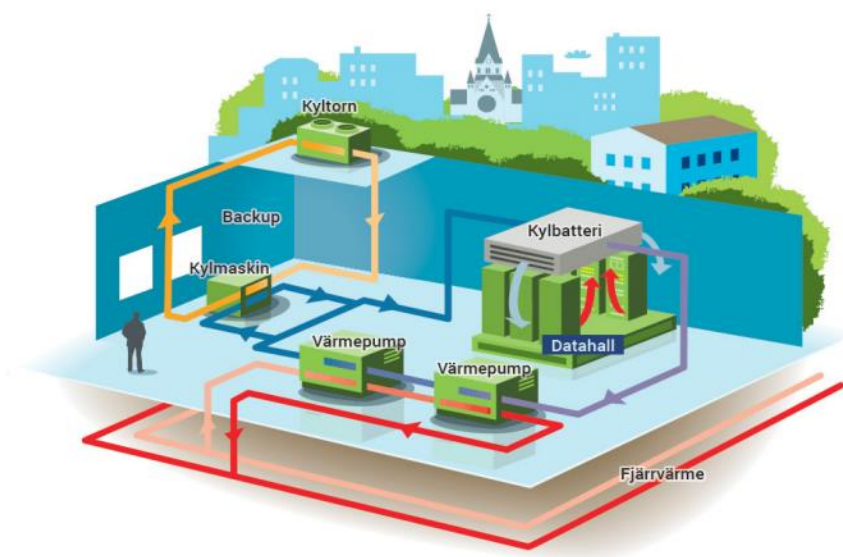
Název	Země	Město	Plocha [m ²]	Výkon [kW]
Wasserwerk Andritz	Rakousko	Graz	3 860	2 702
Salzburg	Rakousko	Salzburg	2 150	1 505
Toftlund	Dánsko	Toftlund	26 000	18 200
Gram	Dánsko	Gram	44 836	31 385
Hadsund	Dánsko	Hadsund	20 513	14 360
Aalestrup	Dánsko	Aalestrup	24 129	16 900
Vildbjerg	Dánsko	Vildbjerg	21 244	14 900
Hautepierre	Francie	Strasbourg	4 311	3 018
Crailsheim	Německo	Crailsheim	7 500	5 110
Almere	Nizozemsko	Almere	7 000	4 900

3. Systémy s tepelnými čerpadly

3.1 Stockholm „Öppen fjärrvarme“ - Pionen

Jedním z projektů řešících problematiku využívání obnovitelných zdrojů energie pro získávání tepla je i projekt firmy Stockholm Exergi Öppen fjärrvarme, volně přeloženo jako „otevřené zásobování teplem“. Dodávaná teplota v síti CZT ve Stockholmu se pohybuje mezi 68 °C a 103 °C v závislosti na ročním období. V tomto projektu může libovolná firma či organizace připojená do sítě CZT města prodávat své zbytkové teplo za tržní cenu. Jedná se o velký projekt zpětného získávání tepla, kterého se může účastnit kdokoliv.

Chladicí systém datového centra Pionen se skládá ze dvou do série zapojených tepelných čerpadel s chladicím výkonem 694 kW a tepelným výkonem 975 kW. Systém je postaven větší pro případné budoucí rozšiřování. Při běžném provozu je do sítě CZT dodáváno 600 kW tepla při teplotě vody 68 °C. Pro chlazení datového centra je užitá voda. Pokud datové centrum produkuje tolik tepla, že nový systém není schopen udržovat dostatečně nízkou teplotu, spustí se záložní chladicí systém, viz Obr 3.1.



Obr. 3.1 – Schéma zapojení odpadního tepla z datového centra do CZT ve Stockholmu [25]

Kromě datového centra Pionen jsou v systému zapojena i další zařízení, ať už další datová centra nebo obchody. Celý systém je schopen dodat teplo pro vytápění stovek bytových jednotek. [25]

3.2 Stockholm Värtaverket

Värtaverket ve Stockholmu je jedním z největších energetických systémů pro dodávku tepla, chladu a elektřiny v CZT v Evropě. Do provozu byl uveden v roce 1969 a dodává většinu potřebného tepla v rámci Stockholmu. Teplota v tepelné síti se v závislosti na ročním období pohybuje mezi 68 °C a 103 °C.

S celkovou délkou potrubí 470 km a celkovým objemem vody v síti přes 35 400 m³ se systém stará o celoroční dodávku tepla. Výroba tepla probíhá především kogeneračními jednotkami a/nebo tepelnými čerpadly, což závisí na aktuální situaci ceny tepla, paliv a elektřiny. Systém je také doplněn akumulátorem o velikosti 40 000 m³ s akumulační kapacitou až 2 GWh tepla.

Součástí systému jsou čtyři teplárny s kotli (816_{el} + 153_{th} MW), tři kogenerační jednotky na olej/bioolej (607 MW), uhlí (454 MW) a bioplyn (380 MW), jedna plynová turbína pro produkci elektřiny (180 MW), dvě tepelná čerpadla na elektřinu a teplo ze spalin s celkovou produkcí 50 MW, 10 tepelných čerpadel, která jako zdroj tepla využívají blízké moře, 4 chladiče a dva elektrické kotle s výkonem 80 MW.

Celkový výkon tepelných čerpadel využívajících moře dosahuje až 220 MW. Instalovaný tepelný výkon čtyř chladičů lze v zimě využít k dodávce tepla. V létě zvládnou čtyři chladiče produkovat výkon 48 MW na chlazení a v zimě výkon 24 MW na chlazení a 36 MW pro vytápění. Odpadní teplo z procesu chlazení je v zimě tepelnými čerpadly využito jako doplňkový zdroj k dodávce tepla do CZT a v létě je odváděno do moře. Tepelná čerpadla a chladiče používají chladivo R134a, kterého bylo využito přibližně 208 tun.



Obr. 3.2 – Pohled na Värtaverket [26]

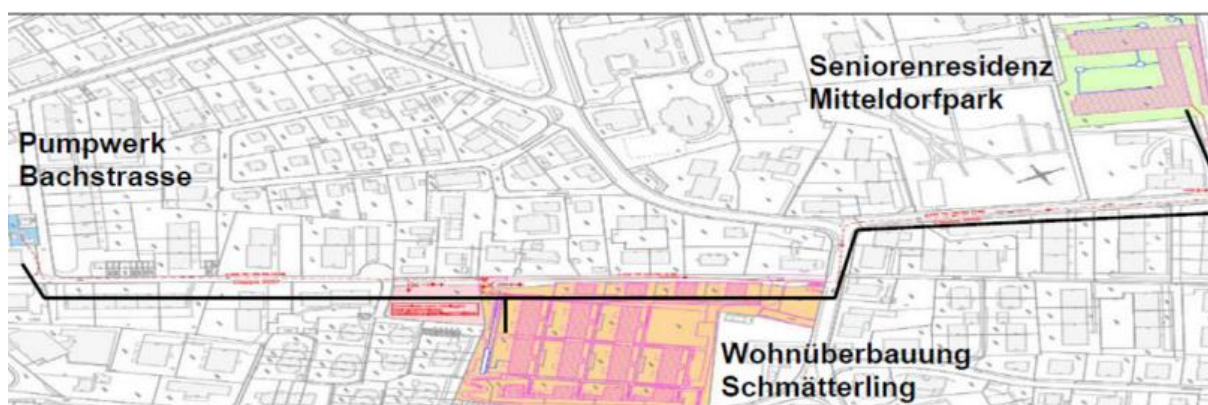
Teplárna Värtaverket produkuje teplo z obnovitelných zdrojů, které zvládne zásobovat přibližně 190 000 bytových jednotek a generuje elektřinu pro nabíjení 150 000 elektromobilů. Instalace snížila produkci emisí CO₂ ve Stockholmu o 130 000 tun za rok. [26]

3.3 Wasserverbund Bachstrasse

Projekt Wasserverbund Bachstrasse vznikl v kantonu švýcarského Bernu. Menší síť na zásobování vody zde z důvodů zvyšujících se nároků na kvalitu pitné vody přestaly být užívány a postupně byly přetvořeny v síť pro dodávku tepla a teplé vody. Čerpací stanice podzemní vody Bachstrasse v obci Ostermundigen se nachází v obytné čtvrti. V roce 2004 bylo ukončeno čerpání pitné vody. Následně byla bývalá stanice na pitnou vodu přestavěna pro účely dodávek tepla a teplé vody s použitím tepelných čerpadel, které jako zdroj tepla používají podzemní vodu.

Systém zásobuje dvě zařízení; rezidenční komplex Schmätterling a domov pro seniory Mitteldorfpark. Celkový instalovaný tepelný výkon pro vytápění je 1,5 MW při ročním požadavku 3 450 MWh/rok. COP se pohybuje mezi 3,5 a 4.

Při přestavbě bylo třeba dbát na maximální objemové průtoky původní instalace. Tepelná čerpadla byla zvolena podle předpokládaného maximálního objemového průtoku asi 1 800 l/min. Podle licence na těžbu podzemní vody je maximální povolená hranice 2 700 l/min, zbývá tedy 900 l/min pro případné budoucí rozšiřování komplexu.



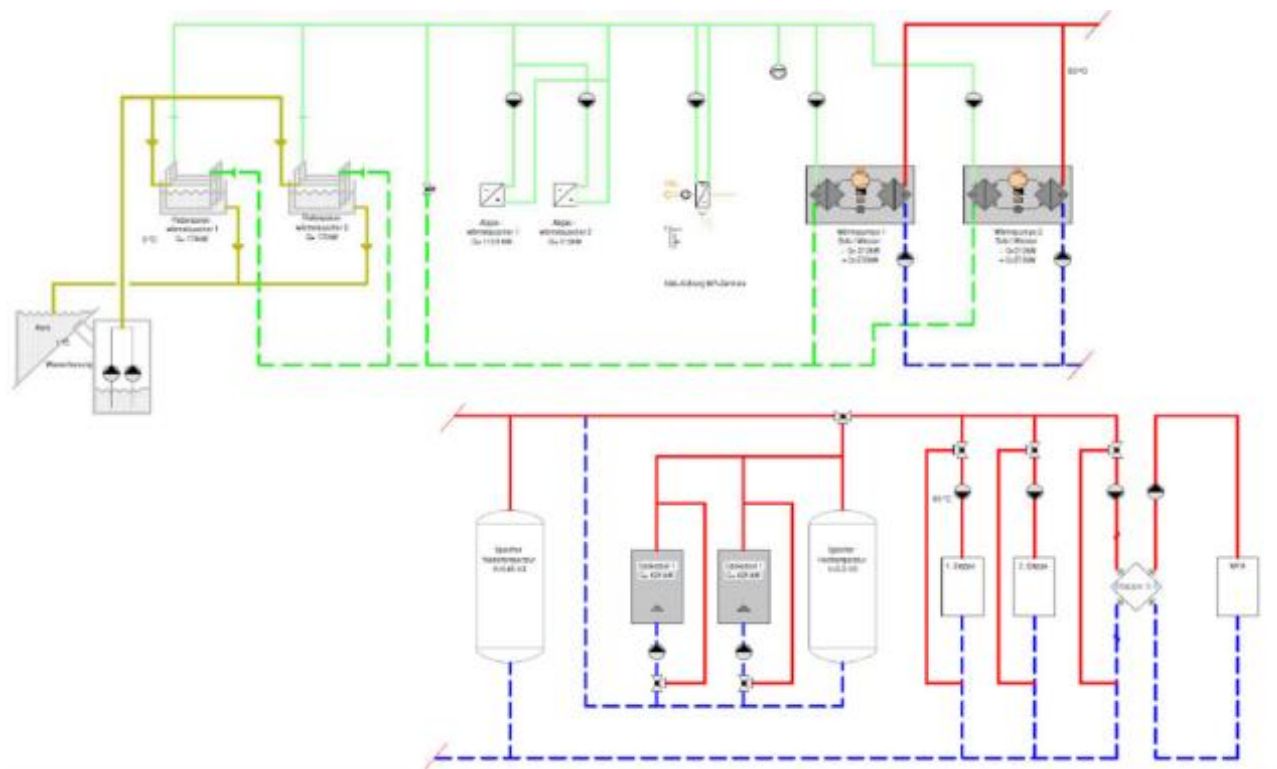
Obr. 3.3 – Mapa potrubí zásobujícího komplex Schmäatterling a domov důchodců Mitteldorfpark [27]

Investiční náklady byly 575 000 švýcarských franků. Je plánováno připojení dalších uživatelů, což by zrychlilo ekonomickou návratnost a projekt by se stal výdělečným. [27]

3.4 Aumatt

Residenční komplex Hintere Aumatt v Hinterkappelen leží nedaleko Bernu. Výstavba komplexu byla zahájena v roce 1980 a celkem bylo v pěti etapách zhotoveno 187 bytových jednotek a 57 ateliérů. Komplex byl dokončen v roce 1994.

Pro dodávku tepla do komplexu byla instalována tepelná čerpadla, která jako zdroj tepla užívají místní řeku Aare. Původní plynové tepelné čerpadlo bylo na konci svého životního cyklu nahrazeno v letech 2012-2013 dvěma elektrickými čpavkovými tepelnými čerpadly. Tepelná čerpadla slouží k pokrytí základní potřeby tepla a jsou v provozu do venkovní teploty až přibližně 7,5 °C při dodávané teplotě 50 °C. Jako špičkové zdroje jsou instalovány dva plynové kotle, které při poklesu venkovní teploty pracují v sérii s tepelnými čerpadly. COP se v průměru pohybuje mezi 3,5 a 3,9.



Obr. 3.4 – Schéma systému vytápění komplexu Aumatt [28]

Zbytkové teplo z výfukových plynů po spalování zemního plynu a zbytkové teplo z kompresorů je vedeno do okruhu tepelných čerpadel. Zde se výfukové plyny ochladí ze 145 °C na 17 °C a teplo je tak opětovně užíváno.

Instalovaný tepelný výkon tepelných čerpadel je 2x260 kW a u kotlů na zemní plyn je 2x550 kW. Celkový roční požadavek na vytápění je 2 750 MWh/rok. Investiční náklady byly 1 500 000 švýcarských franků. [28]

3.5 Klagenfurt

Klagenfurt je město ležící na jihu Rakouska. Soustava CZT zásobuje s délkou potrubí 165 km na 27 000 připojených zákazníků. Teplota dodávané vody v soustavě CZT se podle ročního období pohybuje mezi 85 °C a 120 °C. Objemový průtok je mezi 800 m³/h a 1 600 m³/h při teplotě vratné vody 60 °C. Při nízkých odběrech tepla ze sítě však může být teplota vratné vody až 80 °C.



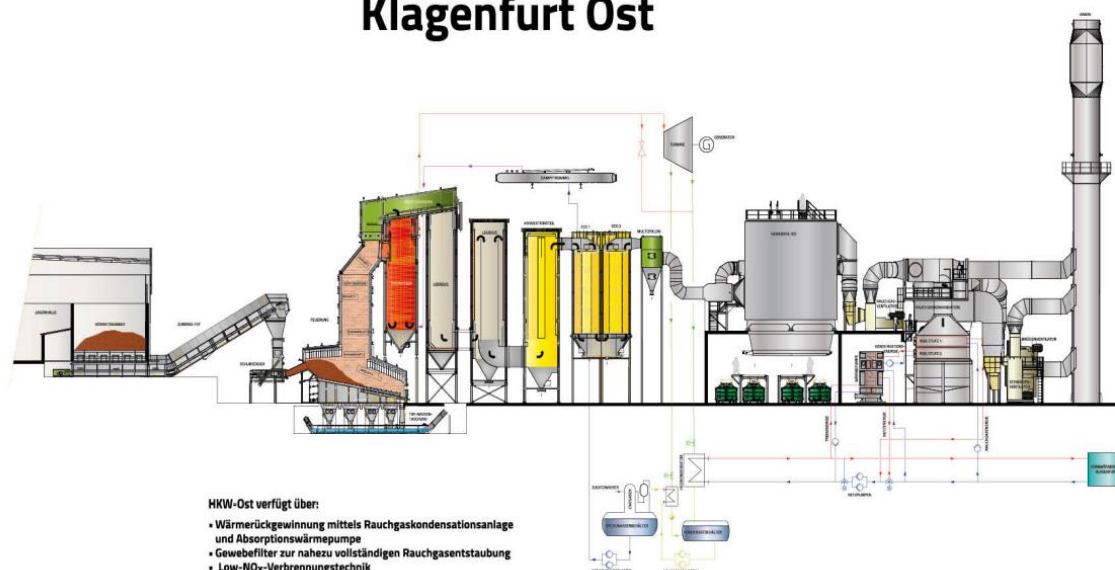
Obr. 3.5 – Teplárna s kogenerační jednotkou a tepelným čerpadlem Klagenfurt-východ [29]

Celkem 90 % požadovaného tepla je dodáváno třemi kogeneračními jednotkami na biomasu s výkony 50 MW tepla a 10 MW elektřiny (Klagenfurt-východ), 16 MW tepla a 5 MW elektřiny (Klagenfurt-jih) a 20 MW tepla a 5 MW elektřiny (Klagenfurt-sever). Od instalace nových jednotek slouží předchozí kogenerační jednotka na zemní plyn jen jako špičkový zdroj pro při výkonech 120 MW tepla a 34 MW elektřiny.

Součástí systému je i absorpční tepelné čerpadlo čínské firmy EBARA. Tepelné čerpadlo užívá jako zdroj odpadní teplo spalin z biomasových kogeneračních jednotek. S tepelným výkonem 20 MW jako pracovní látky používá vodu a bromid lithný. Při teplotách na výparníku 45/35 °C je COP 1,77. Teplotní rozdíl na chladiči je 60/70 °C (vtok na absorbéru/výtok na kondenzátoru) a teplotní rozdíl zdroje pro generátor je 130/120 °C.

Vratná voda je ohřívána tepelným výměníkem pro přímou kondenzaci spalin a absorbérem a kondenzátorem tepelného čerpadla. Dále je vratná voda ohřívána kondenzátorem parního cyklu pro dosažení požadované teploty, viz Obr. 3.6.

Biomasse-Heizkraftwerk Klagenfurt Ost



Obr. 3.6 – Schéma teplárny Klagenfurt-východ [29]

Optimální pracovní teplota na vstupu generátoru je 130 °C a minimální povolená pracovní teplota absorpčního tepelného čerpadla je 110 °C. [29]

3.6 Marienhütte, Graz

V městě Graz na jihovýchodě Rakouska došlo po dlouho leté spolupráci firem Energie Graz GmbH & Co KG, která zprostředkovává zásobování teplem a ocelárnou a válcovnou Marienhütte GmbH k vytvoření společného programu pro využití odpadního tepla z ocelárny k dodávce do systémů CZT.

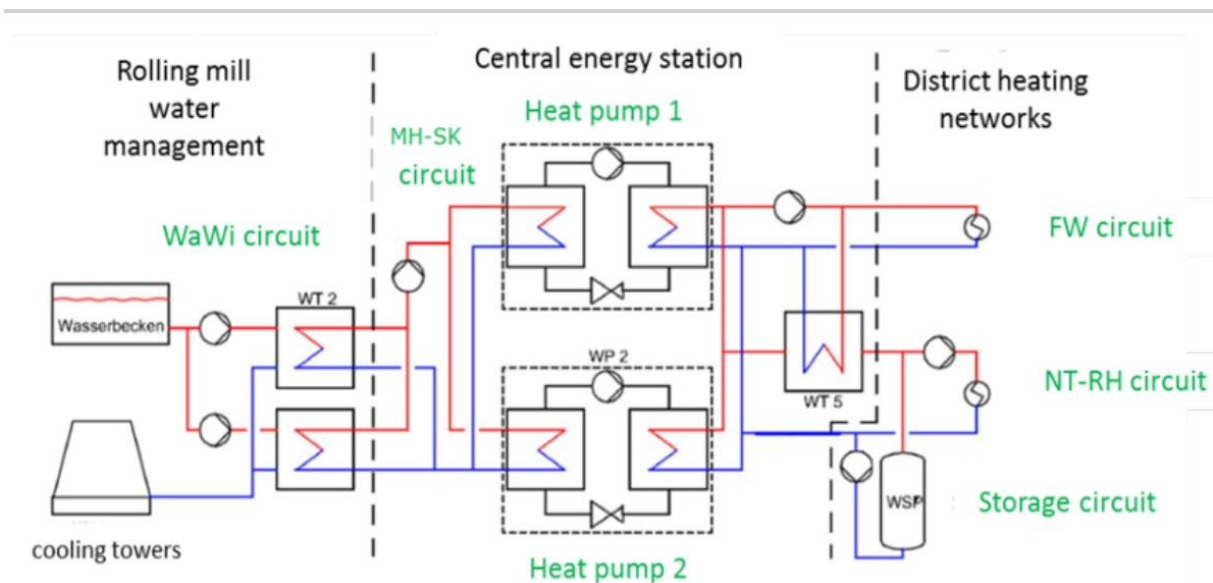
Energie Graz dodává teplo pro zhruba 65 000 domácností s ročním požadavkem na vytápění 1 200 GWh a maximálním tepelným výkonem 455 MW (v roce 2017). Potrubí soustavy má délku 790 km a pracuje s teplotami přívodu od 75 °C do 120 °C. Teplota vratné vody je v zimě 55 °C a v létě 65 °C.



Obr. 3.7 – Tepelné čerpadlo v zařízení Marienhütte [30]

Na rok 2018 byla plánovaná přístavba bytů pro až 12 000 obyvatel s teplotami v rozvedech 70/40 °C. Dodávky tepla zajišťují tepelná čerpadla instalovaná v roce 2016. Součástí systému jsou také akumulční nádrže využívané pro překlenutí odstávek tepelných čerpadel.

Na Obr. 3.8 je schéma systému. Tepelná čerpadla užívají odpadní teplo z válcovny (WaWi). Připojení na výparníky je realizováno pomocí vloženého teplosměnného okruhu (MH-SK), který je oddělen dvěma výměníky tepla (WT). Voda proudící v CZT (FW) a voda nového nízkoteplotního systému (NT-RH) protéká přímo kondenzátory tepelných čerpadel.



Obr. 3.8 – Schéma systému Marienhütte [30]

Instalovaná tepelná čerpadla jsou typu Unitop firmy Friotherm. Jedno váží přibližně 30 tun a používá cca dvě tuny chladiva R1234ze. V každém tepelném čerpadle jsou dva turbo kompresory, které mohou pracovat v paralelním i sériovém zapojení, prohození je však možné pouze při odstávce. Maximální teplota vody na výstupu kondenzátoru je 95 °C a je jí dosaženo při sériovém zapojení. Při sériovém zapojení jsou pracovní teploty 63/90 °C s tepelným výkonem jednoho tepelného čerpadla 3,3 MW. V paralelním zapojení jsou teploty 43/69 °C s maximálním tepelným výkonem 5,75 MW jednoho tepelného čerpadla. Navržené teploty na výparníku jsou 33,8/29 °C při sériovém zapojení a 33/25 °C při zapojení paralelním. [30]

3.7 Thisted

Thisted je dánské město, ležící v jihozápadní části Severojutského poloostrova s celkovým počtem kolem 13 000 obyvatel. Díky své pobřežní poloze může město pro dodávky tepla užívat geotermální tepelná čerpadla, která zvládnou pokrýt 16 % celkové roční potřeby města. Jedná se o nízkoteplotní síť s teplotami 80/40 °C. Síť zásobuje přes 5 000 místních odběratelů.

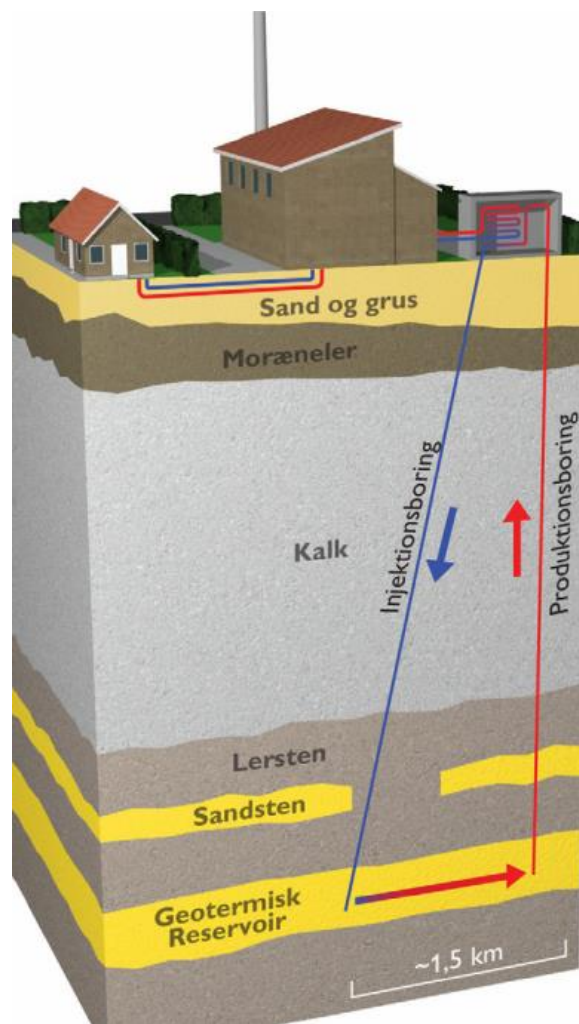


Obr. 3.9 – Systém geotermálního dálkového vytápění ve městě Thisted [31]

Hloubka vrtu dosahuje 1,25 km. Voda z vrtu je čerpána čerpadly a následně je využita dvěma absorpčními tepelnými čerpadly. Z podzemního vrtu je získáváno 7,7 MW tepla. K tepelným

čerpadlům je dále doplněno o asi 10,8 MW tepelného výkonu ze spalovny odpadů a kotle na slámu. Součástí systému je také kotel na zemní plyn pro špičkový provoz.

Teplota čerpané geotermální vody dosahuje 43 °C. Následně v tepelných čerpadlech předá teplo, je ochlazená na 12 °C a následně vrácena do podzemní zásoby vody. Tepelná čerpadla obvykle pracují pouze na částečný výkon společně s teplem dodaným z ostatních zdrojů.



Obr. 3.10 – Schéma vrtu [31]

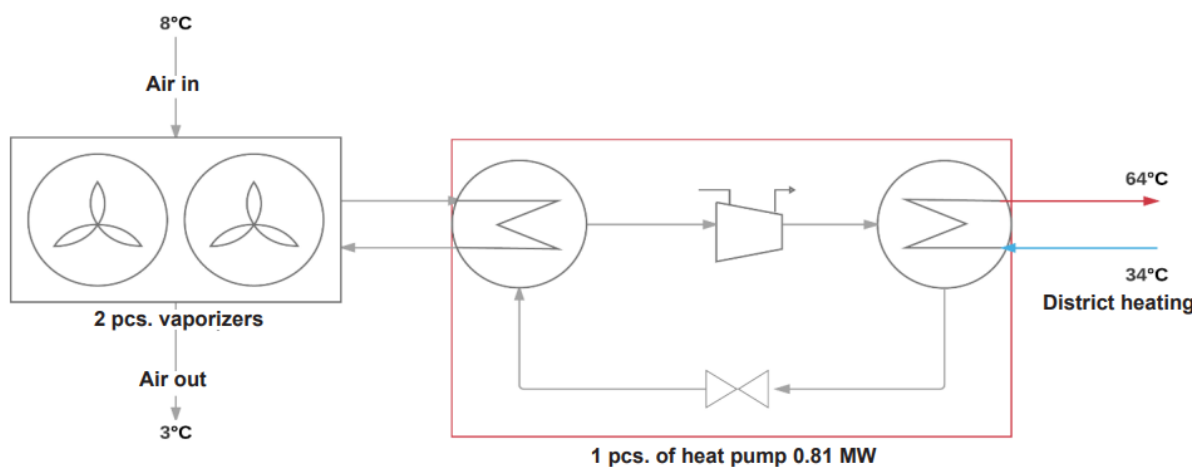
Geotermální energie zde nahrazuje jak energii biomasy, tak zemního plynu. Tomu odpovídá i celkové snížení uvolňovaného CO₂. Díky nízkým nákladům na získávání tepla jsou ceny tepla v Thistedu jedny z nejnižších v celém Dánsku.

Instalace tepelných čerpadel proběhla mezi lety 1988-2000. Za dobu provozu nedošlo k žádným vážným poruchám či výměně hlavních částí. I díky tomu získal provozovatel povolení k rozšíření, tedy zřízení třetí studny. Ta by měla pomoci ke zvýšení produkce tepla až o 50 %. Cena rozšíření je 38 milionů DKK. [31]

3.8 Sig

Sig je vesnice ležící na západě Dánska s celkovým počtem asi 300 odběratelů a ročním požadavkem na vytápění 6,5 GWh. Centralizované zásobování teplem bylo dříve zprostředkováno pomocí jednotek na zemní plyn. Teploty v síti jsou 64/34 °C.

S cílem snížit emise CO₂ a cenu tepla byla roku 2013 instalována 3 500 m² solárních kolektorů. Jako další krok bylo roku 2017 instalováno elektricky poháněné tepelné čerpadlo vzduch/voda. Tepelné čerpadlo pokryje přibližně 46 % roční potřeby a nahrazuje tedy zemní plyn. Bylo postaveno vedle solárních kolektorů, aby mohlo sdílet část rozvodného potrubí.



Obr. 3.11 – Schéma tepelného čerpadla vzduch/voda ve vesnici Sig [32]

Tepelné čerpadlo má instalovaný výkon 810 kW a průměrný roční COP 3,48. Provozní firmě se také podařilo snížit teploty rozvodů v síti, a COP tepelného čerpadla tedy může být významně zvýšen. V určitých časových úsecích byla teplota dodávané vody snížena na teploty kolem 60 °C místo běžných 64 °C. V zimě, při provozu jednotek na zemní plyn, mohou být teploty tepelného čerpadla ještě nižší a účinnost tedy vyšší.

Investiční náklady byly 5,6 milionů DKK. Emise CO₂ byly sníženy o 60 %, tedy přibližně 700 tun. Okolní vzduch je ochlazován z venkovních teplot na teploty nižší než 3 °C. Instalace vedla ke snížení provozní ceny o 162 DKK/MWh tepla při porovnání s kotli na zemní plyn. Tepelné čerpadlo má být ročně v provozu přibližně 3 700 hodin. [32]

3.9 Gammel Rye

Gammel Rye (česky Staré Rye) je dánské město ležící v jihovýchodním Jutsku s necelými 1 600 obyvateli. Obnovitelné zdroje energie zde postupně nahrazují staré zdroje a pokrývají až 80 % místních potřeb.

Díky častým nalezištím podzemní vody s teplotami mezi 8-9 °C má oblast potenciál pro instalaci projektů s tepelnými čerpadly. Systém CZT původně využíval kotle na zemní plyn, nicméně v roce 2015 provozní společnost instalovala elektrické tepelné čerpadlo s instalovaným výkonem 2 MW. Podzemní voda je po ochlazení vrácena zpět do zemního masivu při teplotě 2 °C.



Obr. 3.12 – Tepelná čerpadla systému v obci Gammel Rye [33]

Společně s tepelným čerpadlem je v systému akumulční nádrž a 2 400 m² solárních kolektorů, které slouží k nahrazení užívání kotlů na zemní plyn. Tepelná čerpadla jsou předimenzovaná, aby mohla odpovídajícím způsobem využívat flexibilitu ve spojení s akumulční nádrží. Tepelná čerpadla tedy dokážou dodávat teplo během hodin s nízkou cenou elektřiny.



Obr. 3.13 – Pohled na solární kolektory a akumulční nádrž [33]

V létě, kdy je poptávka tepla nízká, se o dodávku tepla starají solární kolektory. Tepelná čerpadla dokážou dodat až 2/3 celkové potřeby tepla. Kotle na zemní plyn jsou tedy užívány pouze v obdobích s vysokými cenami elektrické energie. V současnosti jsou v provozu dvě podzemní studny a v případě zavedení třetí by tepelná čerpadla dokázala pokrýt až 90 % odběru tepla.

Z důvodů vysokého obsahu železa v podzemní vodě je potřeba úprava vody před použitím. Tepelná čerpadla jsou v provozu především v noci, kdy nejsou využívány solární kolektory a ceny elektrické energie jsou nízké. Celkový výkon společného provozu tepelného čerpadla a solárních kolektorů může být mírně snížen, jelikož ohřátá voda vedená ze solárních kolektorů může ohřát vratnou vodu do tepelného čerpadla, čímž sníží jeho účinnost.

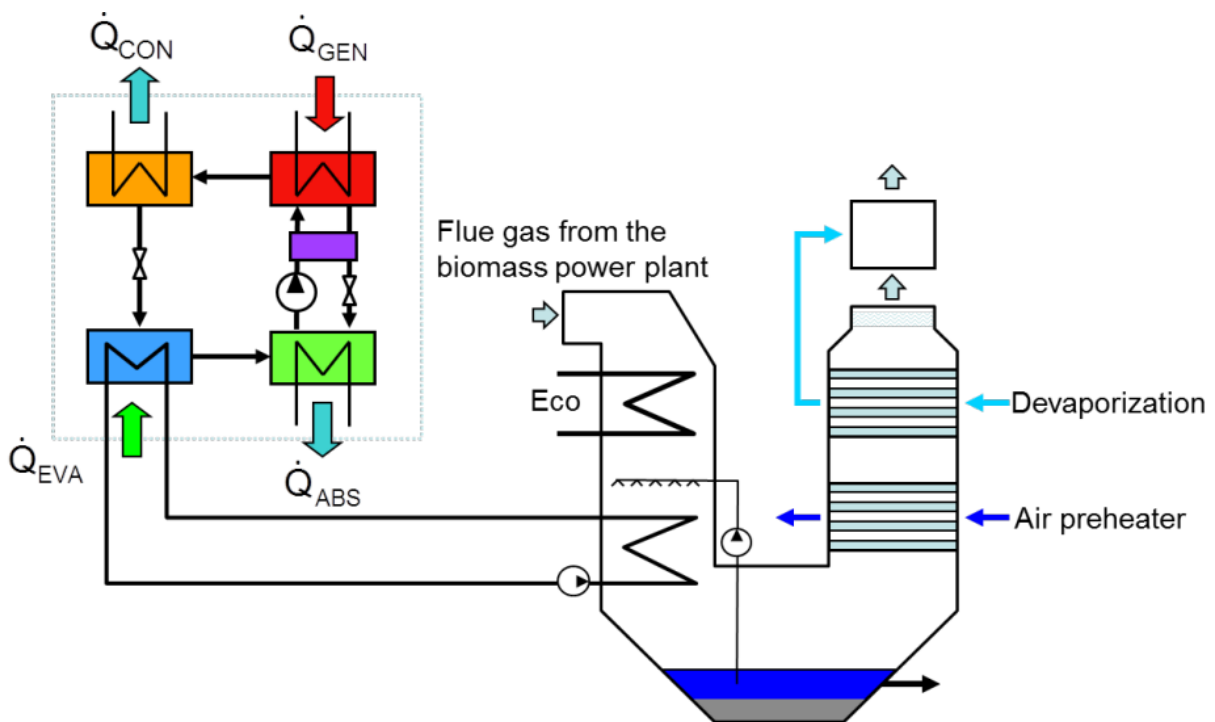
Instalace tepelných čerpadel měla za důsledek snížení průměrné ceny tepla o 23,6 % pro každého z 368 odběratelů. Investiční náklady byly 10,2 milionů DKK. [33]

3.10 Hallein

Rakouská firma AustroCel Hallein GmbH přispívá do propojeného CZT měst Salzburg a Hallein. Město Salzburg má síť potrubí dlouhou 150 km, Hallein 17 km. Propojeny jsou potrubím o délce 25 km. Obě sítě zásobují dohromady 15 000 odběratelů při roční spotřebě tepla

790 GWh. Soustava CZT je provozována s teplotním rozdílem 105/55 °C v zimě a 105/70 °C v létě.

Od roku 2006 je součástí systému i absorpční tepelné čerpadlo, které jako zdroj používá odpadní teplo spalin z kombinované výroby elektrické energie a tepla na dřevní štěpku. Tepelné čerpadlo má instalovaný výkon 7 MW a COP 1,8 při pracovní teplotě vodní páry 165 °C. Jako pracovní dvojici používá vodu a bromid lithný. Na chladiči se pracuje s teplotami 90/60 °C (teploty co sítě CZT) a teploty kondenzace spalin jsou 60/40 °C. Tepelné čerpadlo užívá kondenzační teplo spalin jako nízkoteplotní zdroj tepla a procesní teplo páry z oběhu jako hnací teplo. Výparník a kondenzátor jsou uspořádány sériově. Potrubí CZT je hydraulicky odděleno od výparníku a kondenzátoru. Z toho důvodu je přistavěn akumulční zásobník o objemu 180 m³ a je užito další čerpadlo, aby zajistilo požadovaný objemový průtok výparníkem a kondenzátorem.



Obr. 3.14 – Schéma zapojení tepelného čerpadla [34]

Tepelné čerpadlo je v provozu od roku 2006 přibližně 8 500 ročně. Díky nízkým provozním cenám a roční provozní době je výdělečné. Díky využití biomasy snižuje emise CO₂. Celková cena investice činila 2,4 milionů EUR. [34]

3.11 Krumpendorf

Krumpendorf je město ležící na jihu Rakouska s necelými 3 500 obyvateli. Síť CZT zásobuje téměř 250 odběratelů, má délku 9,8 km a teploty 90/48 °C. Celková roční potřeba tepla na vytápění se pohybuje kolem 12 GWh.

Jako zdroj tepla slouží výtopna na biomasu s dvěma kotli o tepelných výkonech 1,5 MW a 0,5 MW. Dále je zde instalováno pole solárních kolektorů o ploše 191 m². To vše je doplněno kompresorovým tepelným čerpadlem s instalovaným výkonem 245 kW a COP 4,8, které jako zdroj tepla používá teplo ze spalin a teplo ze solárních kolektorů. Tepelné čerpadlo slouží k ohřátí vratné vody z CZT. Jako chladivo používá R134a. Pro špičkový odběr je instalován olejový kotel s výkonem 2 MW.



Obr. 3.15 – Kolektorové pole s tepelným čerpadlem u výtopny na biomasu [35]

System také používá dva akumulátory tepla, každý o jiné teplotě. Akumulátor používaný tepelným čerpadlem je provozován za teplot přibližně 20 °C a s objemem 10 m³ uchovává kondenzační teplo ze spalin a/nebo teplo ze solárních kolektorů. Druhý akumulátor, instalovaný pro solární kolektory, má objem 60 m³ a vyšší teploty.

System může být provozován třemi různými způsoby. Prvním je, že v létě dodávají solární kolektory vodu o vyšší teplotě, než je požadovaných 90 °C v CZT a přímo tím ohřívají vodu v CZT.

V takovém případě je kotel na biomasu odstaven. Tepelné čerpadlo je zde užíváno k ochlazení vratné vody do solárních kolektorů, která je z většího akumulátoru přepravena do menšího. To zvyšuje solární zisk kolektorového systému.

V druhém možném případě dodává výtopna na biomasu vodu o teplotě požadované pro síť CZT, zatímco solární kolektory dodávají vodu o nižší než požadované teplotě. V tomto případě je jak tepelné čerpadlo, tak pole solárních kolektorů užíváno k ohřívání vratné vody v síti.

Třetí provozní způsob je používán při vyšších požadavcích na dodávku tepla. Kotle na biomasu jsou v provozu a teplo ze spalin je tedy dodáváno do menšího akumulátoru. Stejně tak je do něj dodáváno teplo ze solárních kolektorů. Tepelné čerpadlo tedy může využívat akumulátoru jako zdroje tepla a ohřívát vratnou vodu. [35]

3.12 Kalundborg

Kalundborg je dánské město s 16 000 obyvateli ležící na západním pobřeží ostrova Sjælland. Pro zásobování teplem celkových více jak 5 000 odběratelů jsou kromě uhelné teplárny instalována tři elektrická tepelná čerpadla, která jako zdroj tepla užívají teplo z odpadní vody. Teploty v síti CZT jsou 80/55 °C.

Tepelná čerpadla mají dohromady instalovaný výkon 10 MW s COP mezi 3,6 a 4,0 a jsou důležitou součástí systému. Místní teplárna Asnæsværket prochází postupnou přestavbou z uhlí na biomasu jako paliva a během přestavby mají tepelná čerpadla pokrýt až 30 % požadované dodávky tepla. Po přestavbě se počítá s pokrytím 10 % potřeb a tepelná čerpadla budou sloužit jako záložní/špičkový zdroj. Odpadní voda, kterou tepelná čerpadla využívají, má nadprůměrně vysoké teploty díky místním průmyslovým závodům.



Obr. 3.16 – Tepelná čerpadla systému ve městě Kalundborg [36]

Odpadní voda je v systému využita celkem třikrát. Nejprve v závodním provozu, kde je zbavena organických odpadů a užita k produkci bioplynu. Poté je o teplotách mezi 20-35 °C užita k urychlení biologického procesu. Nakonec je využita tepelnými čerpadly, kde je při vstupních teplotách 20-25 °C ochlazena asi o 10 °C.

Celkem jsou instalována tři tepelná čerpadla, každé s výkonem 3,3 MW. Zásobují síť CZT vodou o teplotě mezi 79-86 °C. Nahrazují původní kotle na zemní plyn o instalovaných výkonech 5,1 MW a 8,7 MW z let 1968 a 1975. Nahrazením zemního plynu přispívají tepelná čerpadla k úsporám jak energie, tak emisí CO₂. Filtry na čištění vody jsou automaticky čištěny, ale přetěžovány v intenzivním dešti. Během 2 000 hodin provozu byl každý ze tří filtrů čištěn více jak 8 000x.

V prvních dvou letech mají být tepelná čerpadla v provozu přibližně 8 000 hodin kvůli přestavbě Asnæsværket. Po jejím dokončení se očekává asi 900 provozních hodin ročně. Investiční náklady byly 54 milionů DKK. [36]

3.13 Bergheim

Síť CZT v rakouském Bergheimu je dlouhá asi 10 km a zásobuje 800 místních odběratelů. Teplota dodávané vody v síti dosahuje 85 °C. Součástí systému zásobování jsou solární kolektory o ploše 215 m², dvě paralelně řazená kompresorová tepelná čerpadla (1 MW, COP 5,25 při teplotách zdroje tepla 50/30 °C a teplotách chladiče 50/60 °C), bioplynová kogenerační jednotka (0,6 MW tepla a 0,4 MW elektřiny), výtopna na biomasu (3 MW) a výtopna na zemní plyn jako špičkový zdroj.

Jednotlivé části jsou v provozu podle aktuálních potřeb tepla. Výtopna na biomasu je v provozu v zimě, kdy na pokrytí potřeb nestačí solární kolektory, tepelná čerpadla a bioplynová kogenerační jednotka.



Obr. 3.17 – Tepelná čerpadla systému [37]

Během roku se zdroj tepla pro tepelná čerpadla různí podle toho, co je zrovna v provozu. V zimě se tedy jedná především o teplo spalin z biomasy, v létě naopak především o teplo ze solárních kolektorů. Okruhy zdrojů jsou hydraulicky odděleny od výparníků tepelných čerpadel. Výparníky tepelných čerpadel jsou řazeny sériově k zajištění nízkých vratných teplot (55/25 °C). To je výhodné ke zvýšení podílu solárních zisků. Teplem získaným tepelnými čerpadly je ohřívána vratná voda sítě.

Obě kompresorová tepelná čerpadla užívají chladivo R134a a byly vyrobeny firmou Cofely. Teplota zdroje je 50/30 °C a teplota chladiče 50/60 °C. Celkové investiční náklady byly 9,1 milionů EUR. [37]

3.14 Shrnutí

Tepelná čerpadla mají pro dodávky tepla do sítí CZT široké využití. Mohou využít různé zdroje tepla, proto je jejich využití velmi situační. V následující tabulce je shrnutí uvedených systému a jejich základních parametrů.

Tab 3.1 – Shrnutí základních parametrů uvedených systémů

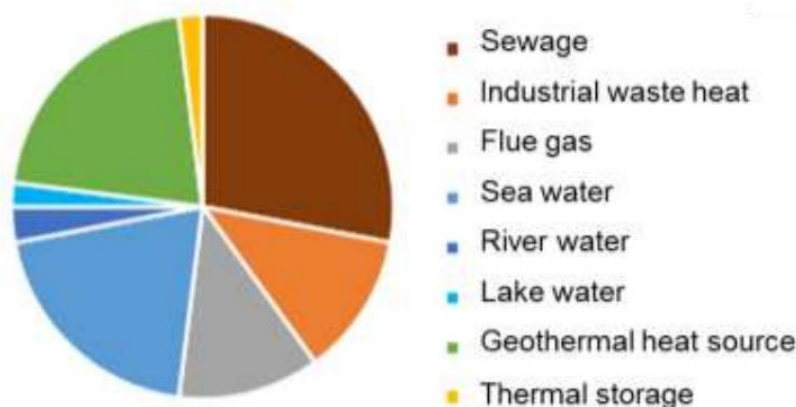
Název	Celkový tepelný výkon instalovaných TČ [MW]	Topný faktor [-]	Typ čerpadla (chladivo)	Zdroj tepla
Pionen	0,975	N/A	N/A	Odpadní teplo z datového centra
Värtaverket	220	N/A	Kompresorové (R134a)	Mořská voda
Wasserverbund Bachstrasse	1,5	3,5-4	N/A	Podzemní voda
Aumatt	0,52	3,5-3,9	Elektrické	Řeka/teplo ze spalin
Klagenfurt	20	1,77	Absorpční	Teplo ze spalin
Marienhütte, Graz	11,5	3,3-4,5	Kompresorové (R1234ze)	Odpadní teplo z válcovny
Thisted	7,7	1,7	Absorpční	Podzemní voda
Sig	0,81	3,48	Elektrické	Vzduch
Gammel Rye	2		Elektrické	Podzemní voda
Hallein	7	1,8	Absorpční	Teplo ze spalin
Krumpendorf	0,245	4,8	Kompresorové	Teplo ze spalin/solárních kolektorů
Kalundborg	10	3,6-4	Elektrické	Odpadní voda
Bergheim	2	5,25	Kompresorové	Teplo ze spalin/solárních kolektorů

Podle zprávy IEA-HPT z března roku 2019 jsou tepelná čerpadla ve velkých systémech CZT používána především v severských státech, jako je Švédsko, Dánsko, Finsko a Norsko. Na Obr. 3.18 je zobrazen celkový instalovaný výkon tepelných čerpadel v CZT v jednotlivých evropských zemích, počet zařízení a počet jednotek (r. 2019). [38]

Country	Total Thermal Output (MW_{th})	Number of plants	Number of HP units
Norway	84.5	8	15
Sweden	1,022.3	13	43
Denmark	45	9	11
Finland	154.6	4	9
Italy	36.6	5	9
Switzerland	35.4	9	13
Austria	10.1	2	3
Lithuania	15	1	1
Slovakia	1.8	1	1
Czech Republic	6.4	1	1
Poland	3.7	1	2
France	5.5	2	3
Netherlands	1.2	1	1

Obr. 3. 19 – Celkový instalovaný tepelný výkon tepelných čerpadel ve velkých systémech CZT v evropských státech [38]

Při pohledu na zdroje tepla pro tepelná čerpadla, zhruba 30 % používá jako zdroj tepla různou městskou odpadní vodu (např. kanalizace). Přibližně 25 % užívá odpadní teplo z průmyslu a kondenzační teplo spalin. Dalších 25 % zařízení používá blízké moře, řeku nebo jezero. Geotermální nebo akumulční nádrže jsou užívány z menší části, viz Obr. 3.20. [38]



Legenda (shora dolů): Kanalizace, odpadní teplo z průmyslu, spaliny, moře, řeka, jezero, geotermální zdroj, akumulční nádrž.

Obr. 3. 20 – Podíl využívání jednotlivých zdrojů tepla [38]

Teploty na chladiči a na výstupu jsou u jednotlivých instalací velmi různorodé, stejně tak je vždy dosaženo různého COP. Podle studie se dodávané teploty v systémech většinou pohybují mezi 61-90 °C a průměrné COP je 3,74. V některých instalacích však lze dosáhnout COP mezi 5,4 a 6,5. [38]

Tab. 3.2 – Rozsahy teplot jednotlivých zdrojů [38]

Rozsah teplot [°C]	2-9	10-20	11-40	14-46	10-40	15-75
Zdroj tepla	Moře, řeka, jezero	Odpadní voda	Spaliny	Průmyslové odpadní teplo	Akumulační zásobník	Geotermální

4. Komplexní systémy

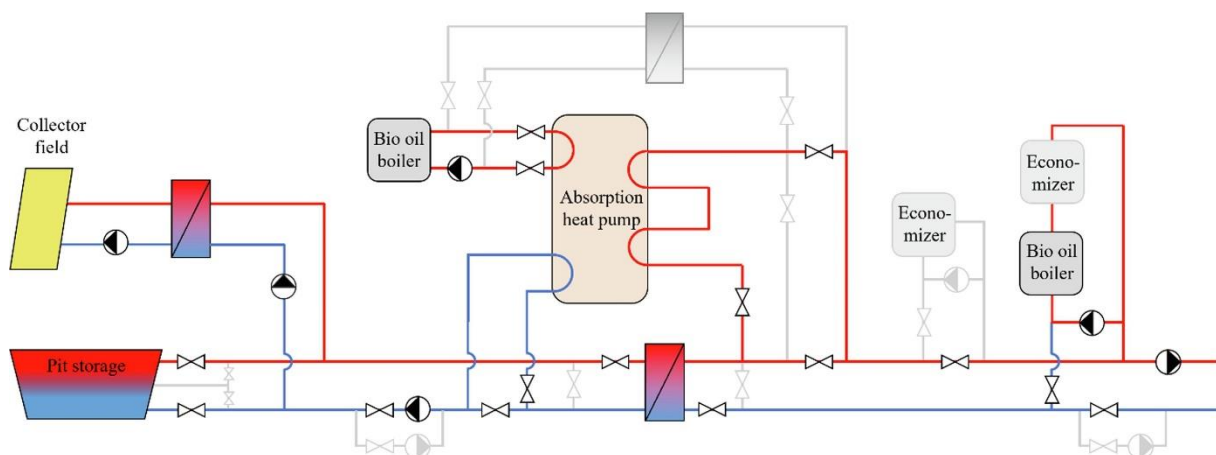
4.1 Dronninglund

Dronninglund je malé, téměř čtyřtisícové město na severu Dánska s přibližně 1350 odběrateli tepla ze soustavy centralizovaného zásobování teplem (CZT) a s roční potřebou tepla přibližně 40 GWh. [39]

Pro účely dodávky obnovitelného tepla byla realizována solární tepelná soustava tvořena dvěma kolektorovými poli s řadami čítajícími dvacet velkoplošných kolektorů v sérii. Jako kolektory byly užity Arcon 35/10 HEATstore s izolační fólií (dvojvrstvé zasklení). Celková plocha solárních kolektorů je 37 573 m² s celkovým instalovaným tepelným výkonem 26 MW. [40]

Vzhledem k rozdílným tepelným ziskům v různých ročních obdobích je soustava doplněna vodním výkopovým akumulčním zásobníkem pro dlouhodobou akumulaci tepla (PTES, Pit Thermal Energy Storage) s účinností akumulace 90 % a absorpčním tepelným čerpadlem o topném výkonu 5,2 MW, chladičím výkonu 2,1 MW a topném faktoru COP 1,67. Tepelné čerpadlo je poháněné teplem z kotle na bio-olej s výkonem 5 MW. [40]

Nabíjení zásobníku probíhá obvykle od února do srpna a vybití od září do ledna. V době vybití může zásobník dodávat teplo přímo do rozvodné sítě CZT, pokud je výstupní teplota alespoň 75 °C. Pokud není výstupní teplota dostatečně vysoká, je objem zásobníku použit jako zdroj tepla pro tepelné čerpadlo (viz Obr. 1).



Obr. 4.1 – Zjednodušené schéma systému, Dronninglund [39]

Zásobník má tvar obráceného komolého jehlanu s hloubkou 16 m a celkovým objemem 60 000 m³. Dno je čtverec o rozměrech 26x26 m a víko je čtverec o rozměrech přibližně 91x91 m, což odpovídá ploše 8 300 m². Stěny jsou vybudované se sklonem 1:2 kvůli zajištění stability konstrukce. [39]

Po vykopání půdy a zavedení trubek byl zásobník pokryt polyethylenem s vysokou hustotou (HDPE), aby se zabránilo úniku vody z nádrže. Životnost izolace by měla dosáhnout dvaceti let při teplotách nižších než 90 °C. Zásobník byl následně zaplněn upravenou vodou, aby nedošlo k poškození a korozi kovových součástí. Úprava vody spočívala v odstranění solí, úpravě tvrdosti, snížení obsahu železa, kyslíku a hodnoty pH. Kvalita vody je pravidelně testována upravovaná pro udržení hladiny pH. [39]

Víko zásobníku se skládá ze tří vrstev izolačních rohoží Nomalén 28N firmy NMC s tloušťkou 80 mm. Do víka a na jeho povrchu byly zabudovány betonové trubky, které slouží k vedení dešťové vody do středu víka, odkud je následně odčerpána. Následně byla blízko k hranám víka instalováno zařízení vakuového větrání vnitřku konstrukce víka. Zásobník je nabíjen solárním kolektorovým polem přes výměník tepla. [39]



Obr. 4.2 – Pohled na akumulční zásobník s kolektorovým polem na pozadí, Dronninglund [39]

Celkové investiční náklady na vybudování zdroje tepla činily přibližně 14,1 milionů eur, přičemž náklady na akumulční zásobník tvořily přibližně 2,3 milionu EUR. Celkové investiční náklady jsou shrnuty v Tab. 1 níže.

Tab. 4.1 – Celkové náklady, Dronninglund

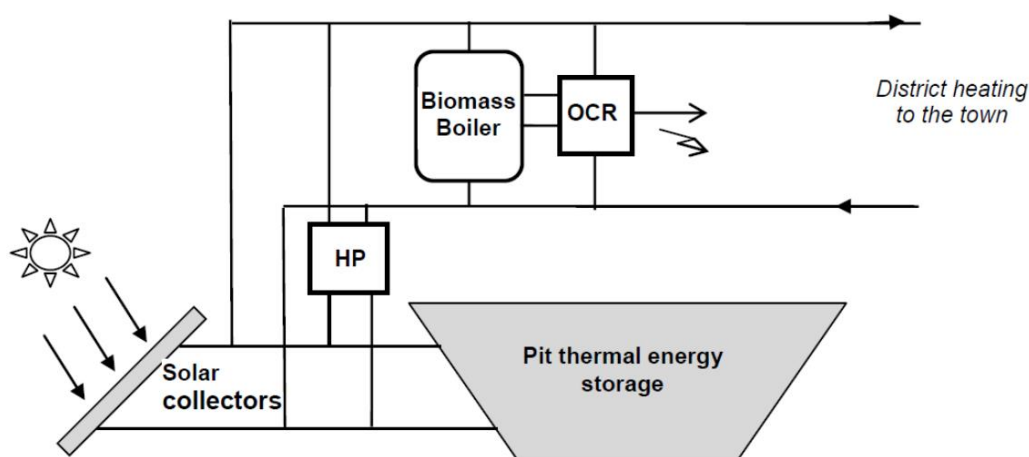
Část	Cena (EUR)	Cena (CZK) mil.
Solární kolektory	5 856 000	137
Solární pole, výkopy a instalace potrubí	321 000	7,5
Potrubí centrálního zásobování	985 000	23
Přenosové potrubí, výkopy a instalace	344 000	8
Budování techniky	3 201 000	75
Výměníky, difuzéry, čerpadla, potrubí zásobníku	350 000	8
Výkopy a úprava krajiny pro zásobník	673 000	16
Víko a izolace zásobníku	1 263 000	29,6
Další výdaje	1 137 000	26,7

Tab. 4.2 – Souhrn dílčích částí, Dronninglund

Typ	Plocha [m ²]	Výkon [MW]
Solární kolektory	37 573	26
Tepelné čerpadlo	-	5,2
Kotel na bio-olej	-	5

4.2 Marstal

Marstal je město ležící na jihu Dánska, konkrétně na ostrově Ærø. S více jak 2 000 obyvateli je největším městem tohoto ostrova. Samostatný systém CZT pro město vznikl v roce 1962, od té doby však prošel několika úpravami. V současnosti zásobuje přibližně 1 500 – 1 600 odběratelů s celkovým roční potřebou tepla 26,5 MWh se 100% podílem obnovitelných zdrojů energie. Teploty v síti jsou 72/40 °C pro léto a 76/33 °C v zimě. [41]



Obr. 4.3 – Zjednodušené schéma zdroje tepla pro CZT města Marstal [41]

Zdroj tepla je v současnosti tvořen polem solárních kolektorů o celkové ploše 33 000 m², kotlem na spalování dřevní štěpky s výkonem 4 MW, elektrickým tepelným čerpadlem o topném výkonu 1,5 MW. Dále je zde instalováno zařízení ORC pro produkci elektřiny do sítě a tepelné zásobníky o objemu 75 000 m³ a 10 340 m³. [41]

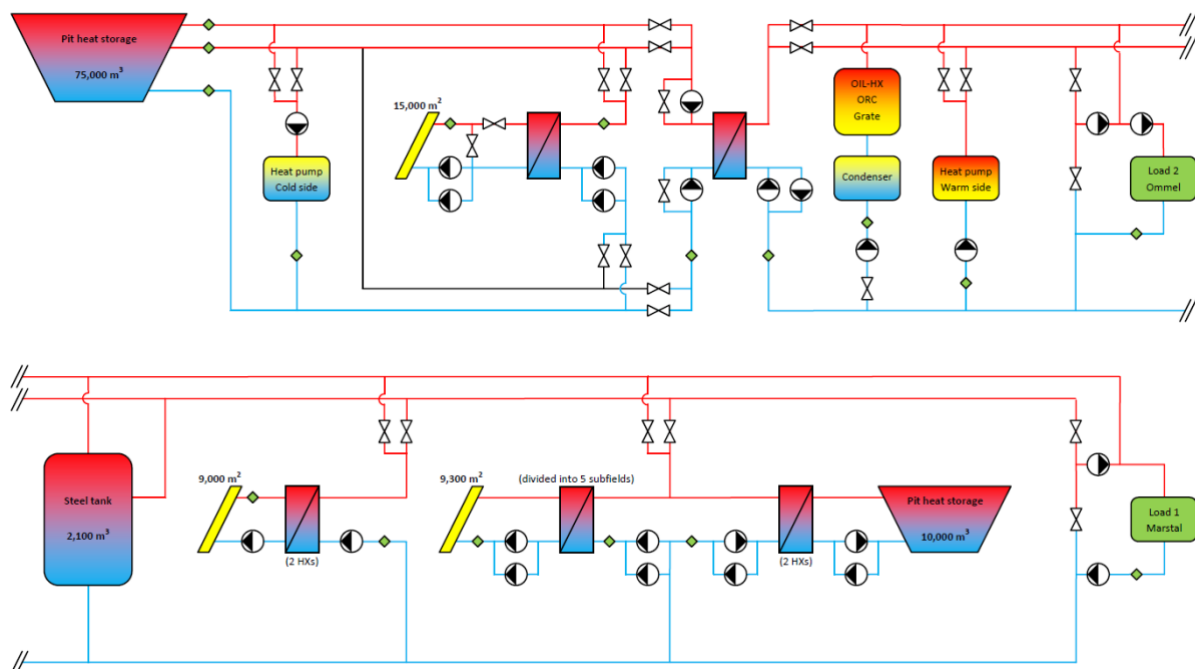
Snaha o vybudování velkého solárního parku pro pokrytí potřeby tepla Marstalu se datuje do roku 1994. Byl získán grant na vybudování kolektorů o ploše 75 m² na městském bazénu a grant na návrh většího kolektorového pole pro připojení k síti CZT. Kolektorové pole na bazénu bylo vybudováno stejným způsobem, jako by bylo budováno případně větší a po slibných výsledcích provozu se rozhodlo, že bude postaveno kolektorové pole o ploše 8 000 m². Kromě kolektorového pole byl také postaven tepelný zásobník o objemu 1 500 -2 000 m³. Tato instalace zvládla pokrýt 13-15 % požadavku tepla a 100 % požadavku v letních měsících. [41]

V roce 1999 bylo instalováno dalších 1 000 m² solárních kolektorů. Následně bylo doplněno dalších 640 solárních kolektorů firmy ARCON, každý o ploše 12,5 m². Byl také realizován pohotovostní vodní zásobník tepla o objemu 2 100 m³ s tepelnou kapacitou 100 MWh.

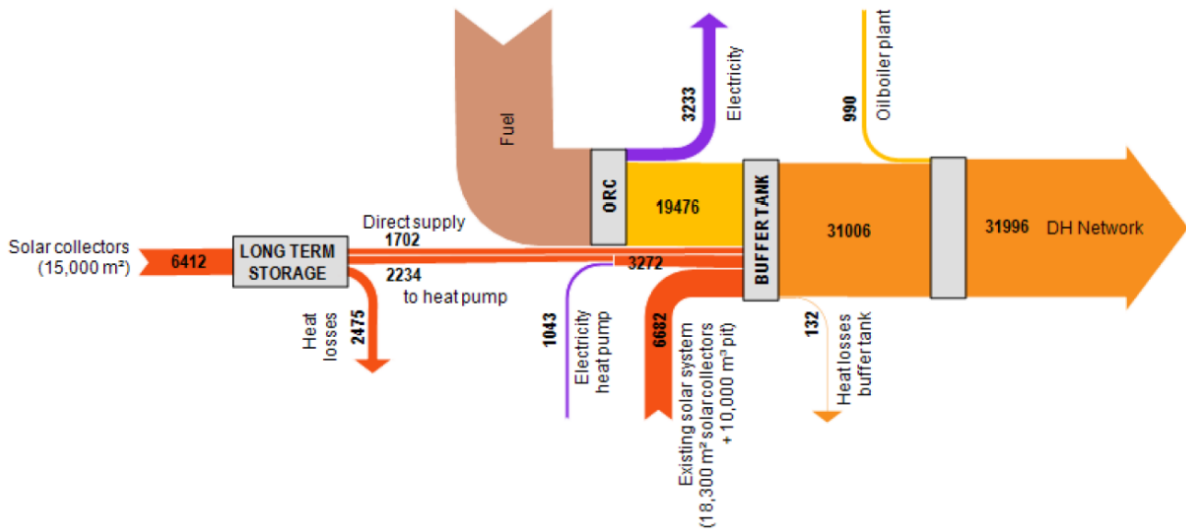
Teplota v zásobníku se pohybuje mezi 70-75 °C, při velmi slunečných dnech může dosáhnout až 95 °C. [41]

V roce 2001 vznikl projekt SUNSTORE 2 na rozšíření stávajícího systému. Projekt se skládal z pěti různých typů solárních kolektorů a sezónního zásobníku tepla (vodní nádrž) o objemu 10 000 m³. Instalovány byly ploché solární kolektory firmy ARCON o celkové ploše 8 019 m², ploché kolektory firmy GJ-technik (SUNMARK) o ploše 881 m², dále kolektory americké firmy IST o ploše 211 m², kolektory s vakuovými trubicemi firmy Thermomax z Velké Británie o ploše 108 m² a střešní kolektory německé firmy Wagner o ploše 103 m². [41]

Posledním rozšířením systému je projekt SUNSTORE 4 z let 2011-2012. Cílem projektu bylo dodávat městu Marstal teplo pouze z obnovitelných zdrojů. Bylo instalováno dalších 15 000 m² solárních kolektorů, elektrické tepelné čerpadlo s instalovaným topným výkonem 1,5 MW a COP 3,1 (s chladivem CO₂) kotel o výkonu 4 MW na spalování dřevní štěpky ze zdrojů pěstovaných přímo k využití jako palivo a zařízení ORC o výkonu 750 kW pro výrobu elektřiny a tepla. [41]



Obr. 4.4 Schéma zapojení projektu SUNSTORE 4 [41]



Obr. 4.5 – Sankeyův diagram projektu SUNSTORE 4 [MWh] [41]

Dále byla vybudován sezónní zásobník tepla (vodní nádrž) o objemu 75 000 m³ a akumulční kapacitě 6 000 MWh. Střed víka konstrukce se skládá ze tří vrstev polyethylenové pěnové izolace Nomalén 28N s celkovou tloušťkou 24 cm. Vrstvy Nomalénu jsou vloženy mezi dvě vrstvy polyethylenu s vysokou hustotou. Konstrukce je zatížena tak, aby měla mírný sklon do středu víka, kde je čerpadlo pro odčerpání dešťové vody. [40]



Obr. 4.6 – Pohled na kolektorová pole a akumulční zásobník ve městě Marstal [41]

Díky kombinaci solárních kolektorů a tepelného čerpadla bylo možné navrhnout menší objem sezónního zásobníku tepla, než by byla potřeba bez tepelného čerpadla. Sezónní akumulace pracuje při nižších teplotách a byly tak sníženy tepelné ztráty. Cena tepla byla snížena na 50-60 EUR/MWh oproti 70 EUR/MWh při užívání biooleje. Investiční náklady SUNSTORE 4 činily 15,1 milionů EUR. [41, 42]

Tab. 4.3 – Rozšiřování během projektu SUNSTORE 2

Typ	Plocha [m ²]	Objem [m ³]	Výkon [MW]
Solární kolektory	9322	-	6,5
Akumulační nádrž	-	10 000	-

Tab. 4.4 – Rozšiřování během projektu SUNSTORE 4

Typ	Plocha [m ²]	Objem [m ³]	Výkon [MW]
Solární kolektory	15 000	-	10,5
Tepelné čerpadlo	-	-	1,5
Kotel na dřevní štěpku	-	-	4
Zařízení ORC	-	-	0,75 _{el}
Akumulační nádrž	-	75 000	-

4.3 Gram

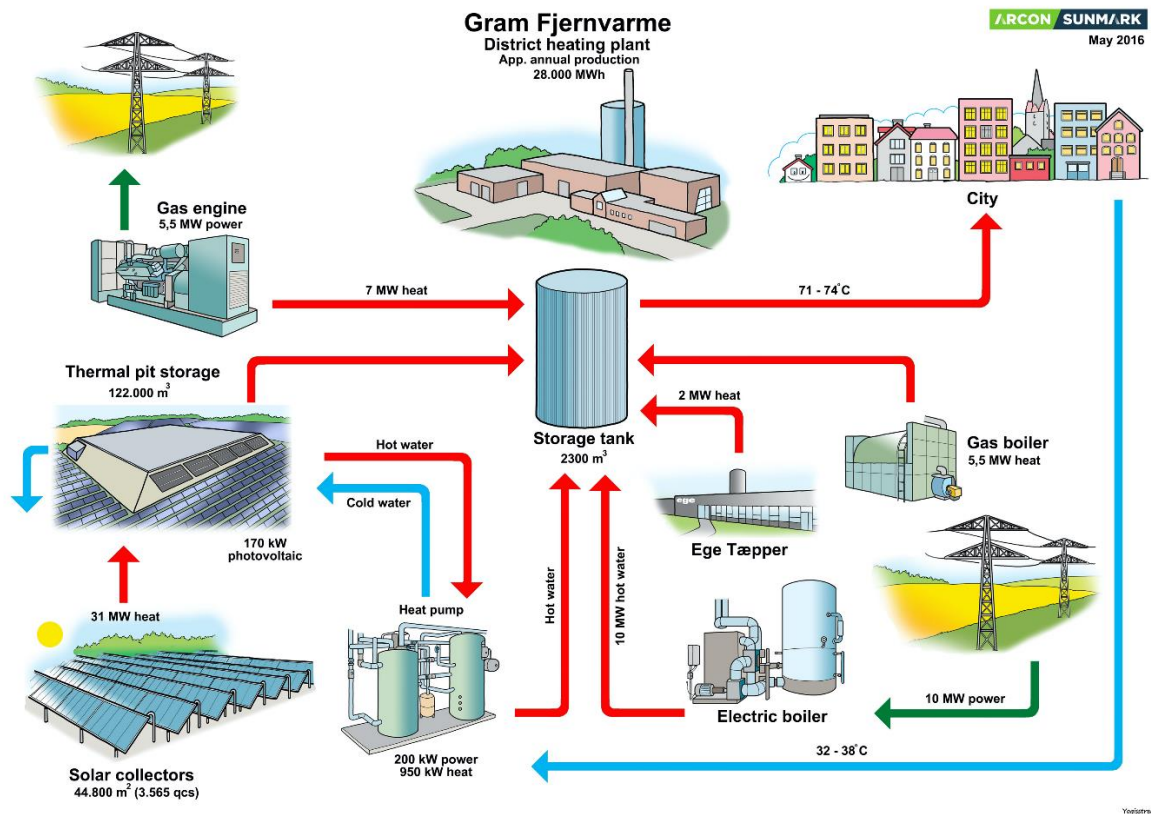
Gram je město s přibližně 2 500 obyvateli ležící na jihu Dánska. Místní síť CZT má přibližně 1 200 odběratelů a roční požadavek tepla na vytápění 30 GWh. Potrubí sítě je dlouhé 21,1 km a provozní teploty jsou 70/35 °C. [43, 44]

Systém se skládá z 44 800 m² solárních kolektorů, dvou kotlů na zemní plyn s celkovým výkonem 10 MW, kogenerační jednotkou na zemní plyn s výkonem 6,5 MW tepla a 5 MW elektřiny, elektrickým kotlem o výkonu 8 MW, elektrickým tepelným čerpadlem o topném výkonu 900 kW. Dále je zde sezónní výkopový zásobník tepla (PTES) o objemu 122 000 m³ a pohotovostní vodní zásobník tepla o objemu 2 300 m³. [43]



Obr. 4.7 – Pohled na kolektorové pole a sezónní zásobník tepla [43]

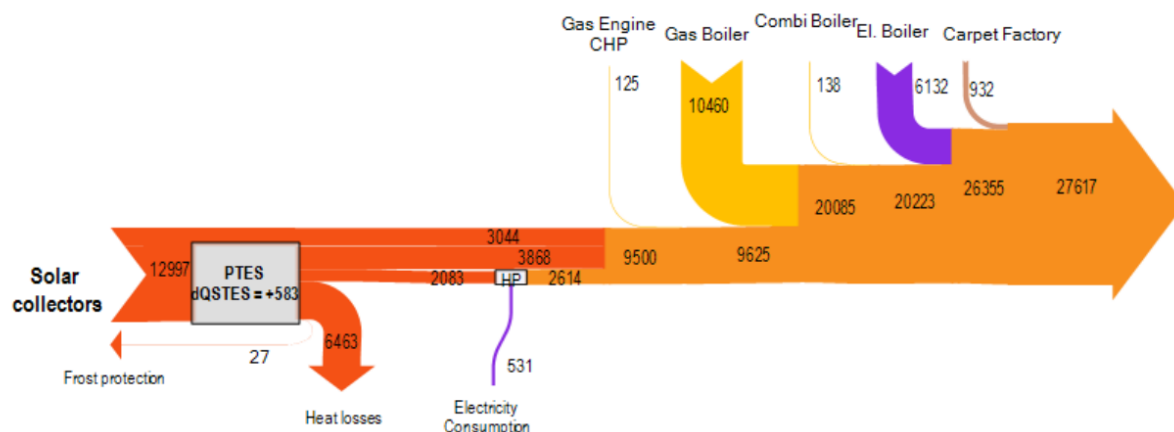
První fáze výstavby pole solárních kolektorů začala v roce 2009. Bylo postaveno kolem 10 000 m². Solární podíl tehdy činil asi 15 % a kolektory byly propojeny s pohotovostním zásobníkem tepla. V roce 2015 byl dostavěn zbytek kolektorového pole do podoby dnešních 44 800 m². Po rozšíření systému činí solární podíl přibližně 60 % celkového požadavku. Vysoký solární podíl je možný díky propojení dlouhodobé akumulací nádrže, absorpčního tepelného čerpadla a elektrického tepelného čerpadla, které umožňují kolektorům pracovat při nižších teplotách s vyšší účinností. [43]



Obr. 4.8 – Schéma CZT ve městě Gram [52]

Elektrické tepelné čerpadlo zde slouží k ochlazení spodní části objemu sezónního zásobníku tepla. Tím se prodlužují provozní hodiny solárního systému a zvyšuje se jeho využití a roční tepelné zisky. Kogenerační jednotka dodává teplo pro pohon absorpčního tepelného čerpadla. To je možné díky nahrazení tepelného výměníku na spaliny za tepelný výměník pro vodu o teplotách vyšších než 150 °C. To vede k přebytku chladicí vody, která může být využita v kotlech na zemní plyn, solárních kolektorech nebo elektrickém tepelném čerpadlu. [43]

System sousedí s továrnou na koberce a v roce 2016 začal využívat odpadní teplo z výroby pro dodávku do CZT. Propojením je teoreticky možné získat a využít až 2 000 MWh/ročně. [43]



Obr. 4.9 – Sankeyův diagram tepelných zisků v roce 2017 [MWh] [44]

Akumulační nádrž je typu PTES a je podobná těm ve Vojens či Marstal. Hloubka nádrže je 15 m, nicméně kvůli místní jílovité půdě není celá vybudovaná pod úrovní terénu. Má hloubku 10 m a vystupuje 5 m nad původní úroveň terénu. K tepelné izolaci je použit keramzit. Výstavba nad terén obecně zvyšuje cenu sezónního zásobníku o 15 %. Celková cena akumulační nádrže byla 2,8 milionů EUR. V létě je nádrž nabita na 85 °C, v zimě je vybíjena až na 10 °C. Nádrž je používána jako zdroj tepla pro kompresorové tepelné čerpadlo. [43, 45]



Obr. 4.10 – Výstavba akumulační nádrže ve městě Gram

Cena tepla se pohybuje kolem 80 EUR/MWh. Předpokládá se, že díky zapojení OZE by cena tepla měla pro odběratele zůstat stejná po přibližně 30 let. [43, 46]

Tab. 4.5 – Jednotlivé části systému CZT v městě Gram

Typ	Plocha [m ²]	Objem [m ³]	Výkon [MW]
Solární kolektory	44 800	-	31,4
Tepelné čerpadlo	-	-	0,9
2 kotle na zemní plyn	-	-	10
Kogenerační jednotka	-	-	6,5 _{th} + 5 _{el}
Elektrický kotel	-	-	8
Pohotovostní zásobník	-	2 300	-
Sezónní zásobník	-	122 000	-

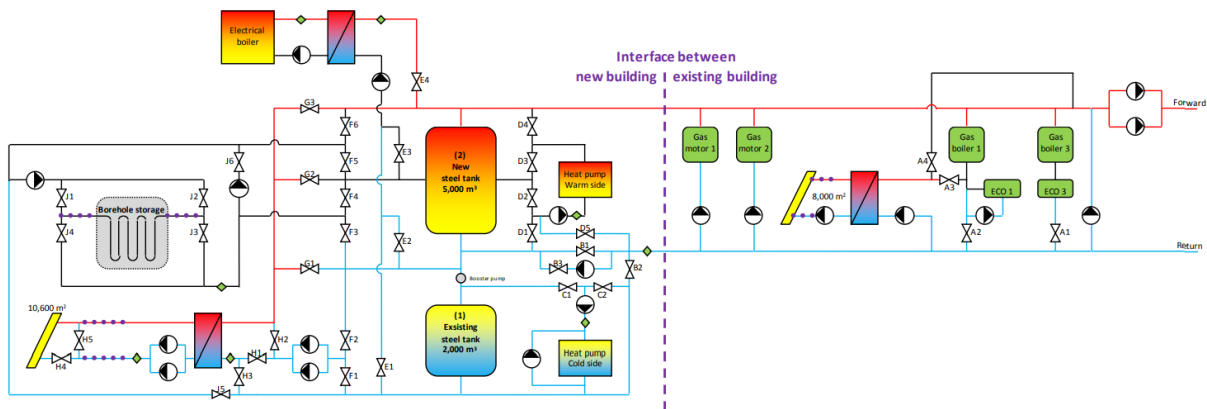
4.4 Brædstrup

Brædstrup je město s necelými 4 000 obyvateli ležící ve středu Dánska. Místní síť CZT zásobuje téměř 1 500 odběratelů s ročním požadavkem tepla 31,1 GWh/rok při teplotě přívodní vody mezi 65-80 °C při a vratné vody 35-40 °C. Délka distribuční sítě je 27,9 km. [43, 47]



Obr. 4.11 – Pohled na systém ve městě Brædstrup [47]

Teplu dodává systém skládající se ze solárních kolektorů o ploše 18 600 m², elektrického kotle s instalovaným výkonem 10 MW, kompresorového tepelného čerpadla s výkonem 1,2 MW a COP 3,1, dvou kotlů na zemní plyn, jedním s výkonem 13,5 MW a druhým s výkonem 10 MW a dvě kogenerační jednotky na zemní plyn, každá s výkonem 4,1 MW. Systém je také rozšířen o sezónní zásobník tepla se zemními sondami (BTES, borehole thermal energy storage) o ekvivalentním objemu 19 000 m³ a dva pohotovostní zásobníky tepla o celkovém objemu 7 500 m³. [43]



Obr. 4.12 – Schéma systému CZT Brædstrup [48]

Počátky výstavby systému založeném především na obnovitelných zdrojích energie lze datovat do roku 2007. V tomto roce bylo instalováno 8 000 m² solárních kolektorů ve spojení s kogenerační jednotkou na zemní plyn. Tato kombinace byla první svého druhu na světě. [48]

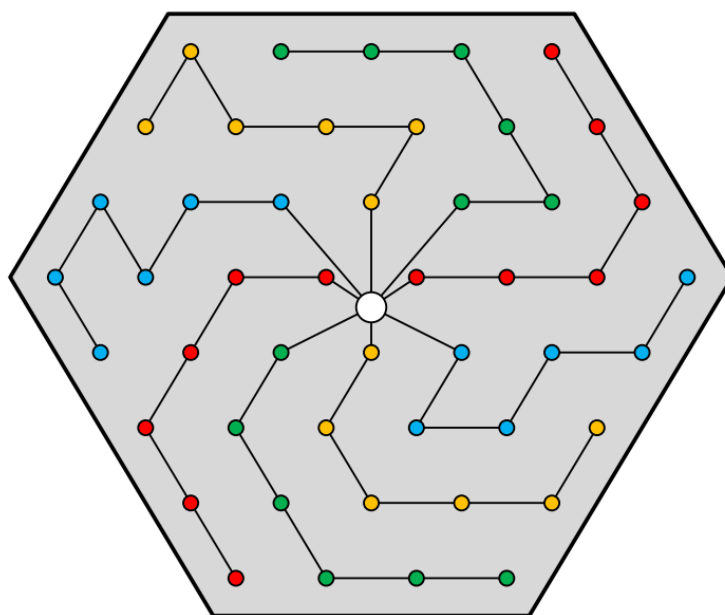
Myšlenka druhého kroku ke 100% podílu OZE na dodávce tepla se zrodila v roce 2008. Instalace dalších solárních kolektorů o ploše 10 600 m², pohotovostního zásobníku tepla o objemu 5 500 m³, zásobníku se zemními sondami, tepelného čerpadla s tepelným výkonem 1,2 MW a elektrického kotle o výkonu 10 MW pak proběhla v letech 2011-2012. [48]

Realizovaný zásobník typu BTES byl první svého druhu v Dánsku a ve světě byly do té doby pouze tři další instalace v kombinaci se solárními kolektory. Při stavbě se vycházelo z německých zkušeností, nicméně pro sondy bylo navrženo vlastní rozložení potrubí a horní část zásobníku byla izolována pomocí mušlí srdcovek. [48]



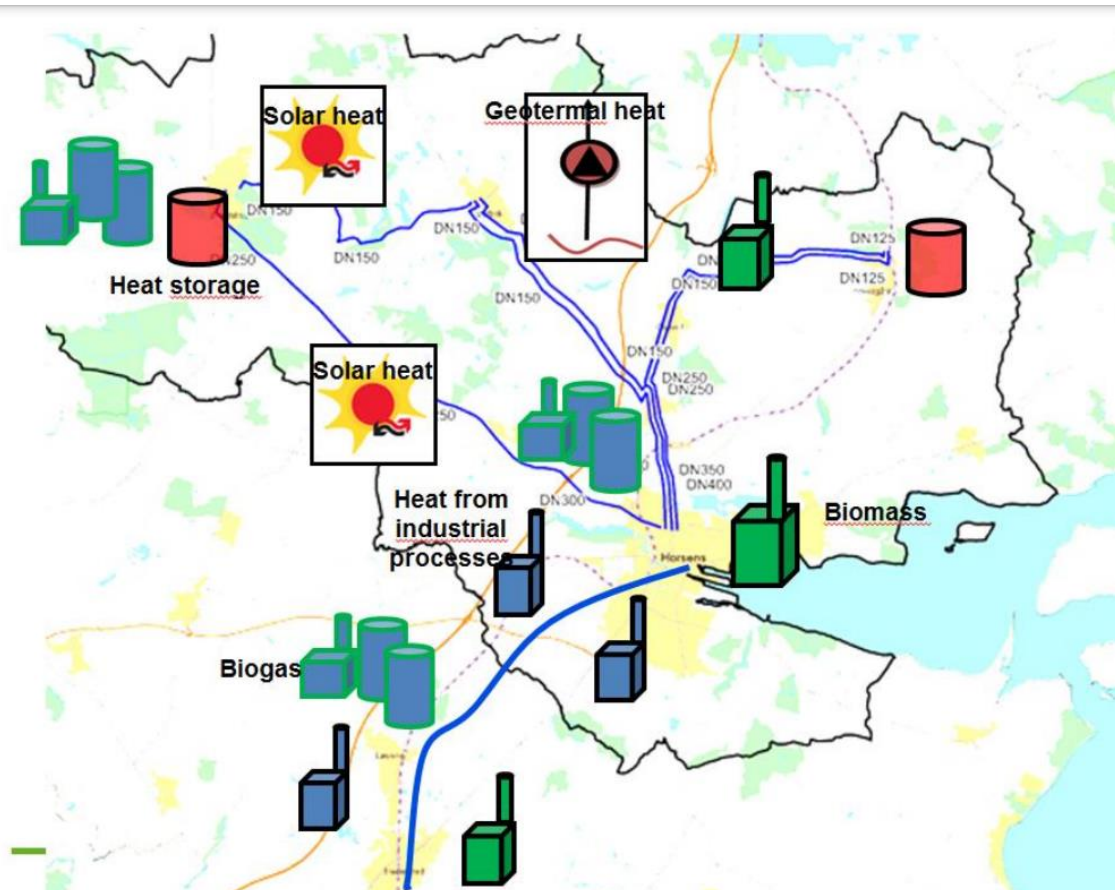
Obr. 4.13 – Izolace zásobníku pomocí mušlí [48]

Každý vrt je vybaven dvojitým U-potrubím a vždy šest vrtů je zapojeno v sérii od středu po okraj (z pohledu nabíjení zásobníku), viz Obr. 4.14. Celkem je zde 48 vrtů pro akumulaci a 5 vrtů v hloubce 60 m. Z hlediska ekonomického a tepelných ztrát by hloubka vrtů měla být co největší, aniž by se přišlo do kontaktu s podzemní vodou. Podzemní voda je zde v hloubce 50 m pod povrchem a vrty jdou proto do hloubky pouze 45 m. Zásobník bývá v létě nahříván na 55-60 °C a zimě bývá pomocí tepelného čerpadla chlazen až na 15 °C. [43]



Obr. 4.14 – Rozložení vrtů a potrubí v zásobníku [48]

Dalším krokem k 100% podílu OZE je připravovaná spolupráce se šesti dalšími systémy CZT v obcích Horsens a Hedensted. Společný projekt se nazývá FlexCities a chce 100% podílu OZE dosáhnout využitím odpadního tepla z průmyslu, dalších vzájemně propojených velkých polí solárních kolektorů, velkých zásobníků tepla, tepelných čerpadel, kogeneračních jednotek na zemní plyn a připojením dalších do teď individuálně vytápěných domů do CZT. [48]



Obr. 4.15 – Schéma plánu FlexCities [48]

Brædstrup v posledních letech patřil mezi 20 % měst s nejnižší cenou tepla. Cena tepla se pohybuje kolem 63 EUR/MWh. [43, 48]

Tab. 4.6 – Jednotlivé části systému CZT ve městě Brædstrup

Typ	Plocha [m ²]	Objem [m ³]	Výkon [MW]
Solární kolektory	18 600	-	13
Tepelné čerpadlo	-	-	1,2
Kotel na zemní plyn 1	-	-	13,5
Kotel na zemní plyn 2	-	-	10
Kogenerační jednotka 1	-	-	4,1 (η_{heat} 47 %, η_{el} 42 %)
Kogenerační jednotka 2	-	-	4,1 (η_{heat} 47 %, η_{el} 42 %)
Elektrický kotel	-	-	10
Pohotovostní zásobníky	-	7 500	-
Sezónní zásobník	-	19 000	-

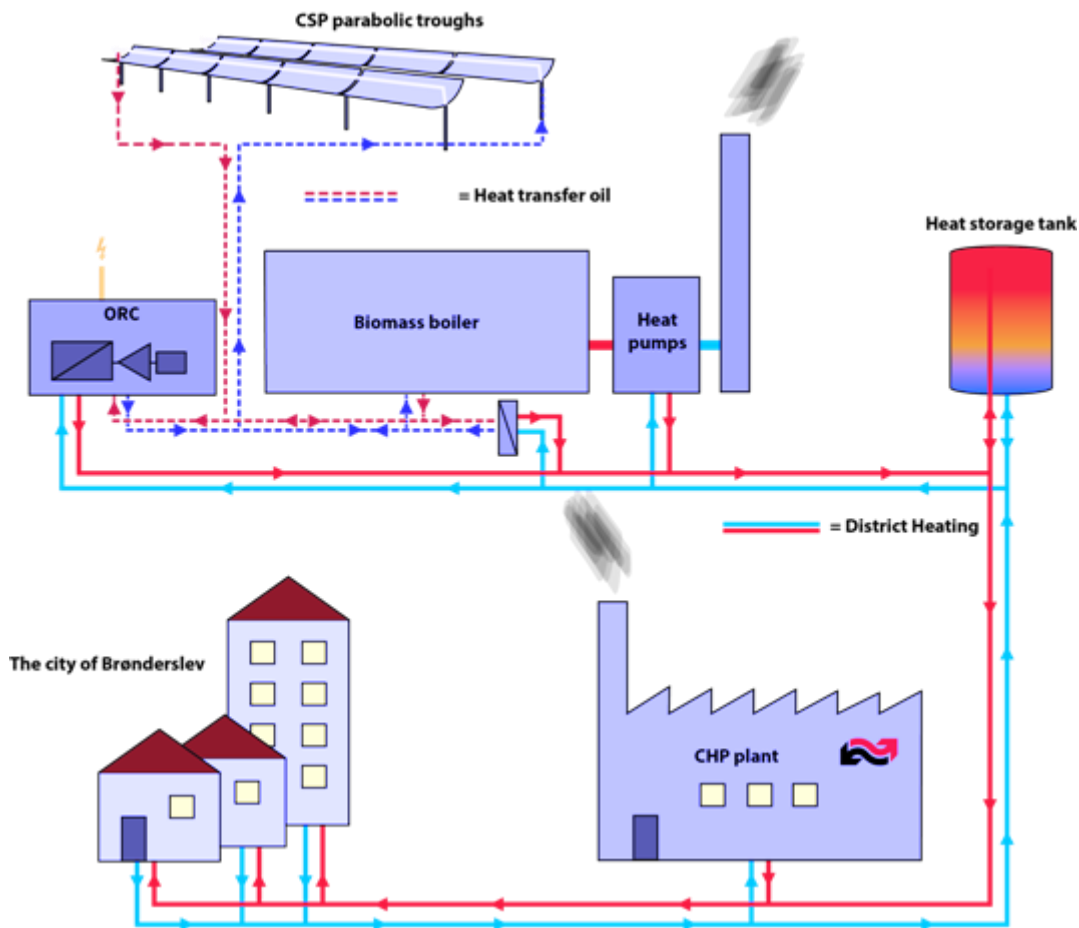
4.5 Brønderslev

Brønderslev je dánské město ležící na severu země. Má přibližně 12 500 obyvatel. O dodávku tepla se při ročním požadavku na vytápění 130 GWh/rok stará komplexní systém využívající OZE. Teplotní úroveň je v provozu 80/40 °C. [49]



Obr. 4.16 – Pohled na kolektorové pole ve městě Brønderslev [1]

O dodávky tepla do sítě se stará komplexní systém skládající se z pole solárních kolektorů o ploše 26 920 m², dvou kotlů na dřevní štěpku, každý s instalovaným výkonem 10 MW, kondenzační ORC turbíny o výkonu 15 MW, tepelného čerpadla pro využití odpadního tepla s instalovaným výkonem 2 MW a kotle/kogenerační jednotky na zemní plyn, které byly instalovány ještě před zavedením zdrojů na OZE. Součástí systému je také pohotovostní vodní zásobník tepla o objemu 4 000 m³. [1,49]



Obr. 4.17 – Schéma CZT ve městě Brønderslev [49]

Solární kolektory jsou v provozu od prosince 2016. Celkový instalovaný výkon je 16,6 MW. Použité kolektory jsou parabolické kolektory 400 AAL-Through™ 3, které jsou řazeny ve 40 řadách po 125 m. Maximální pracovní teplota je 330 °C. Jako teponosná kapalina je použit olej Therminol 66. Ročně jsou kolektory v provozu 2 450 hodin a v letních měsících dokážou pokrýt až 100 % požadavku. [1, 49]



Obr. 4.18 – Parabolické panely instalované v CZT města Brønderslev [53]

Na rozdíl od parních turbín, instalace jednotky ORC umožňuje zpětně získávat teplo i při nižších teplotách. Jednotka ORC využívá teplo ze spalin z biomasy či ze solárních kolektorů. Pro výrobu tepla a elektřiny dokážou parabolické kolektory dodávat páru o teplotě až 300 °C. [1, 49]

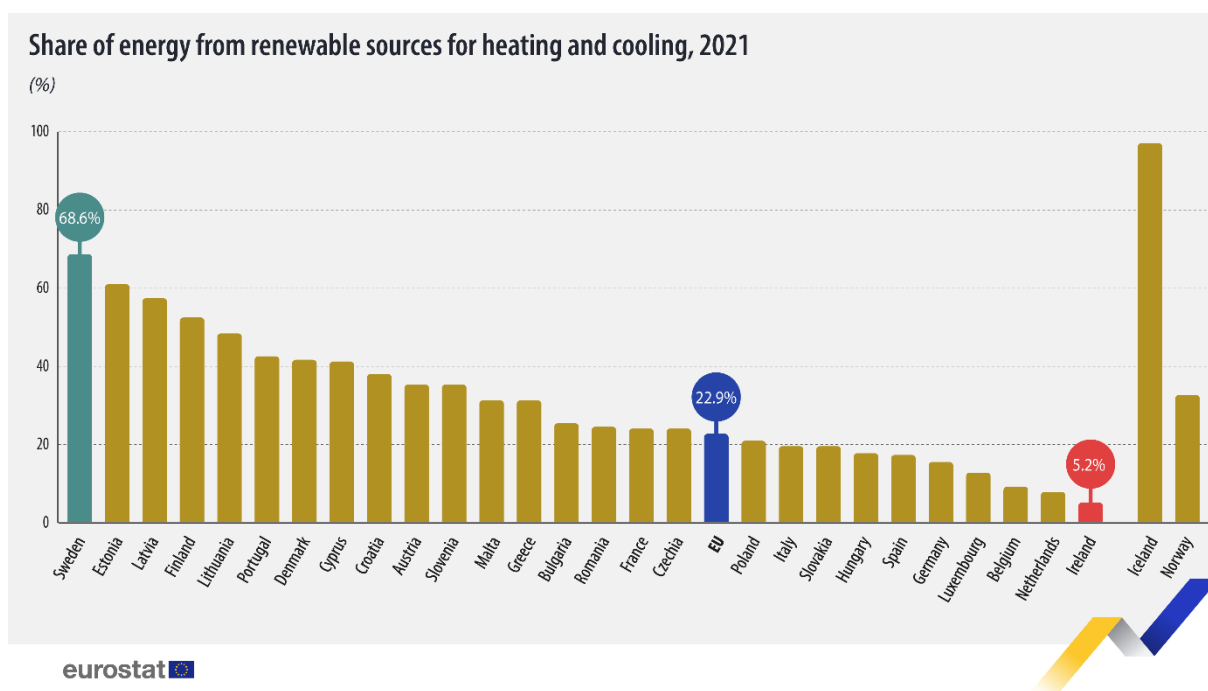
Tab. 4.7 – Souhrn dílčích částí CZT ve městě Brønderslev

Typ	Plocha [m ²]	Objem [m ³]	Výkon [MW]
Solární kolektory	26 920	-	16,6
Tepelné čerpadlo	-	-	2
Kotel na dřevní štěpku	-	-	10
Kotel na dřevní štěpku	-	-	10
ORC	-	-	15
Kogenerační jednotky/kotle na zemní plyn	-	-	Neuvedeno
Pohotovostní zásobník	-	4000	-

5. Závěr

V posledních letech dochází ke stále většímu podílu obnovitelných zdrojů energie na dodávkách tepla v sítích CZT. Důvodů je několik. V některých zemích se může jednat o legislativní důvody (např. uhelná daň), ekologické důvody či snížení cen tepla. Účinné využití OZE, zvláště v případě solárních systémů a tepelných čerpadel předpokládá snížení provozních teplot v síti (běžné teploty realizací jsou 70/40 °C), což zároveň vede i ke snížení tepelných ztrát.

V roce 2020 činil podíl OZE na vytápění a chlazení v EU 23 %, což je výrazný nárůst oproti 12 % v roce 2004. Z evropských států tvoří OZE největší podíl ve Švédsku (68,6 %), dále Estonsku (61,3 %), Litva (57,4 %) a Finsko (52,6 %). V těchto státech je z velké části užíváno biomasy, popř. tepelných čerpadel. Podíl OZE na dodávkách tepla v dalších zemích EU je na Obr. 4.19. [50]



Obr. 5.1 – Podíl OZE na vytápění a chlazení v CZT států EU [50]

Využití obnovitelných zdrojů s sebou přináší množství výhod. Při jejich použití není koncový odběratel ovlivňován fluktuacemi energetických trhů. Při výstavbě nových systémů se počítá se stabilní cenou po dobu až 30 let. Kromě stability cen také můžeme hovořit o nižší ceně tepla pro odběratele oproti tradičním zdrojům.

Kombinace více zdrojů OZE bývá výhodnější. V létě lze například využívat solární kolektory, které při vhodné instalaci pokryjí až 100 % potřeby tepla na vytápění (Brønderslev, Marstal) a

v zimních měsících získávat teplo pomocí tepelných čerpadel či kotlů na biomasu. Dále je možné v letních měsících využít k uchování přebytečného tepla sezónní zásobníky (Dronninglund, Marstal) a teplo následně dodávat v zimních měsících.

Vzhledem k těmto výhodám a politickému směřování EU můžeme předpokládat, že obnovitelné zdroje budou stále více zapojovány do infrastruktur jednotlivých členských států.

6. Seznam literatury a použitých pramenů

- [1] A-D1.1 / D-D3.2 Identification and Preparation of Best Practice Examples. In: <https://task55.iea-shc.org/> [online]. IEA-SHC, 2020 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: https://task55.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/IEA-SHC-T55-A-D.1_D-D3-FACT-SHEET-Best-Practise-Examples.pdf
- [2] EIBISWALD DISTRICT HEATING. In: <https://solid.at/en/> [online]. SOLID Solar Energy Systems [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.solid.at/en/reference/eibiswald.html>
- [3] HIRIS, Daniel P., Octavian G. POP a Mugur C. BALAN. Preliminary sizing of solar district heating systems with seasonal water thermal storage. *Heliyon* [online]. © 2022, (Volume 8, 2) [cit. 2023-05-21]. ISSN 2405-8440. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022002201>
- [4] EPP, Baerbel. Denmark: 37 MW Field with 203,000 m³ Storage Underway. In: <https://solarthermalworld.org/> [online]. 2014 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://solarthermalworld.org/news/denmark-37-mw-field-203000-m3-storage-underway/>
- [5] Solarbioenergy village Mengersberg (Germany). In: <https://www.solar-district-heating.eu/> [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.solar-district-heating.eu/solarbioenergy-village-mengersberg-germany/>
- [6] Solar Heat for Cities, Towns and Energy Communities. In: <https://task68.iea-shc.org/> [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://task68.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar-Heat-for-Cities-and-Eommunities--Info-Package-January-2023.pdf>
- [7] District heating Grenaa Varmeværk. In: <https://savosolar.com/> [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://savosolar.com/cases/grenaa-varmevaerk-2/#>
- [8] STADTWERKE SENFTENBERG Solarwärme für städtisches Fernwärmenetz. In: <https://www.ritter-xl-solar.de/> [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.ritter-xl-solar.de/anwendungen/waermenetze/stadtwerke-senftenberg/>
- [9] Energie-Kommune des Monats: Senftenberg. In: <https://www.unendlich-viel-energie.de/> [online]. 2016 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.unendlich-viel-energie.de/projekte/energie-kommunen/energie-kommune-des-monats-senftenberg>
- [10] MEISSNER, Rolf a Detlef MOSCHKE. Senftenberg – Ergebnisse des ersten Betriebsjahres. In: <https://www.ritter-xl-solar.de/> [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.ritter-xl-solar.de/wp-content/uploads/2018/04/Senftenberg-Ergebnisse-des-ersten-Betriebsjahres-04-2018.pdf>
- [11] FERNHEIZWERK GRAZ. In: <https://www.solid.at/de/> [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.solid.at/de/referenz/fernheizwerk-graz.html>
- [12] REITER, Patrick, Hannes POIER a Christian HOLTER. BIG Solar Graz: Solar District Heating in Graz – 500,000 m² for 20% Solar Fraction:. *Energy Procedia* [online]. © 2016 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/305749826_BIG_Solar_Graz_Solar_District_Heating_in_Graz_-_500000_m2_for_20_Solar_Fraction
- [13] AUGSTEN, Eva. Denmark: Arcon-Sunmark Announces Silkeborg Solar Plant Development. In: <https://www.solid.at/de/> [online]. 2016 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z:

<https://solarthermalworld.org/news/denmark-arcon-sunmark-announces-silkeborg-solar-plant-development/>

[14] GEORGIEV, Ivo. Case study on Solar-heating plant in Silkeborg, Denmark. In: [Http://publications.europa.eu/](http://publications.europa.eu/) [online]. 2019 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: http://publications.europa.eu/resource/cellar/981d585d-c492-11e9-9d01-01aa75ed71a1.0001.01/DOC_1

[15] World largest solar heating plant in Silkeborg. In: [Https://stateofgreen.com/](https://stateofgreen.com/) [online]. 2016 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://stateofgreen.com/en/solutions/world-largest-solar-heating-plant-in-silkeborg/>

[16] Norway: Solar Collectors Support District Heating. In: [Https://solarthermalworld.org/](https://solarthermalworld.org/) [online]. 2013 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://solarthermalworld.org/news/norway-solar-collectors-support-district-heating/>

[17] Akershus EnergiPark. In: [Https://akershusenergi.no/](https://akershusenergi.no/) [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://akershusenergi.no/varme-og-kjoling/om-akershus-energi-varme/lillestrom-akershus-energipark/>

[18] Germany: Construction Starts on 2,230 m² Solar Field in Chemnitz. In: [Https://solarthermalworld.org/](https://solarthermalworld.org/) [online]. 2016 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://solarthermalworld.org/news/germany-construction-starts-2230-m2-solar-field-chemnitz/>

[19] DISTRICT HEATING NETWORK - CHEMNITZ. In: [Https://www.wagner-solar.com/en/](https://www.wagner-solar.com/en/) [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.wagner-solar.com/en/heat/references-solarheat/district-heating-network-chemnitz#pictures>

[20] Jelling, Denmark. In: [Https://geoheat.com.au/](https://geoheat.com.au/) [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://geoheat.com.au/solar-thermal/application/cases/>

[21] District heating Jelling Varmeværk. In: [Https://savosolar.com/](https://savosolar.com/) [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://savosolar.com/cases/jelling-varmevaerk-2/>

[22] VALANČIUS, Rokas, Andrius JURELIONIS, Rolandas JONYNAS, Vladislovas KATINAS a Eugenijus PEREDNIS. Analysis of Medium-Scale Solar Thermal Systems and Their Potential in Lithuania. *Energies* [online]. © 2015 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/278672038_Analysis_of_Medium-Scale_Solar_Thermal_Systems_and_Their_Potential_in_Lithuania

[23] PAUSCHINGER, Thomas, Thomas SCHMIDT, Per Alex SOERENSEN, Aart SNIJDERS, Reda DJEBBAR, Raymond BOULTER a Jeff THORNTON. Design Aspects for Large-Scale Aquifer and Pit Thermal Energy Storage for District Heating and Cooling. *Energy Procedia* [online]. © 2018 [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/327538889_Design_Aspects_for_Large-scale_Pit_and_Aquifer_Thermal_Energy_Storage_for_District_Heating_and_Cooling

[24] Plant database. In: [Https://www.solar-district-heating.eu/en](https://www.solar-district-heating.eu/en) [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.solar-district-heating.eu/en/plant-database/>

[25] PROFITABLE HEAT RECOVERY WITH OPEN DISTRICT HEATING. In: [Https://heatpumpingtechnologies.org/](https://heatpumpingtechnologies.org/) [online]. IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP) [cit. 2023-05-20]. Dostupné z:

<https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/annex-47oppen-fjarrvarme.pdf>

[26] VÄRTAVERKET SUPPLIES RENEWABLE ENERGY TO MOST OF STOCKHOLM USING HEAT PUMPS.
In: <https://heatpumpingtechnologies.org/> [online]. IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP) [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/annex-47vartaverket.pdf>

[27] DISTRICT HEATING SYSTEM BACHSTRASSE - SWITZERLAND Wasserverbund Bachstrasse.
In: <https://heatpumpingtechnologies.org/> [online]. IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP) [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/annex-47sub-projetcsbachstrasse.pdf>

[28] NEIGHBORHOOD "HINTERE AUMATT", HINTERKAPPELEN (BERN) - SWITZERLAND.
In: <https://heatpumpingtechnologies.org/> [online]. IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP) [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/annex-47sub-projetcsaumatt.pdf>

[29] FLUE GAS CONDENSATION AT THE BIOMASS COGENERATION PLANT KLAGENFURT-EAST.
In: <https://heatpumpingtechnologies.org/> [online]. IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP) [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/klagenfurt.pdf>

[30] WASTE HEAT RECOVERY AT THE STEEL AND ROLLING MILL MARIENHÜTTE GMBH, GRAZ (AUSTRIA). In: <https://heatpumpingtechnologies.org/> [online]. IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP) [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/marienuett.pdf>

[31] GEOTHERMAL DISTRICT HEATING IN THISTED - DENMARK Geotermisk fjernvarme i Thisted.
In: <https://heatpumpingtechnologies.org/> [online]. IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP) [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/annex-47sub-projetcsthistedgeothermal.pdf>

[32] HEAT PUMP IN SIG USING AMBIENT AIR - DENMARK Varmepumpe i Sig anvender udeluft.
In: <https://heatpumpingtechnologies.org/> [online]. IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP) [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/annex-47sub-projetcssigair.pdf>

[33] GROUNDWATER BASED HEAT PUMPS AND SOLAR HEATING IN GL. RYE - DENMARK.
In: <https://heatpumpingtechnologies.org/> [online]. IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP) [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/annex-47sub-projetcsryegroundwater.pdf>

- [34] ABSORPTION HEAT PUMP IN HALLEIN - AUSTRIA.
In: <https://heatpumpingtechnologies.org/> [online]. IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP) [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/annex-47sub-projetcsabsorption-hp-hallein.pdf>
- [35] DISTRICT HEATING NETWORK KRUMPENDORF - AUSTRIA.
In: <https://heatpumpingtechnologies.org/> [online]. IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP) [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/annex-47sub-projetcsdistrict-heating-network-krumpendorf.pdf>
- [36] WASTEWATER AS HEAT SOURCE IN KALUNDBORG - DENMARK.
In: <https://heatpumpingtechnologies.org/> [online]. IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP) [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/annex-47sub-projetcskalundborgwastewater.pdf>
- [37] COMPRESSION HEAT PUMP AT THE ÖKOENERGIEPARK BERGHEIM - AUSTRIA.
In: <https://heatpumpingtechnologies.org/> [online]. IEA Technology Collaboration Programme on Heat Pumping Technologies (HPT TCP) [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/wp-content/uploads/sites/54/2018/12/annex-47sub-projetcscompression-hp-bergheim.pdf>
- [38] Heat Pumps in District Heating and Cooling Systems Final Report [online]. [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/heat-pumps-in-district-heating-and-cooling-systems-2-page-summary/>
- [39] SIFNAIOS, Ioannis, Geoffroy GAUTHIER, Daniel TRIER, Jianhua FAN a Adam R. JENSEN. Dronninglund water pit thermal energy storage dataset. *Solar Energy* [online]. © 2023, (Volume 251) [cit. 2023-05-21]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X22009252>
- [40] SIFNAIOS, Ioannis, Adam R. JENSEN, Simon FURBO a Jianhua FAN. Performance comparison of two water pit thermal energy storage (PTES) systems using energy, exergy, and stratification indicators. *Journal of Energy Storage* [online]. © 2022, (Volume 52, Part B) [cit. 2023-05-21]. ISSN 2352-152X. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X22009537>
- [41] Summary technical description of the SUNSTORE 4 plant in Marstal.
In: <https://www.solarmarstal.dk/> [online]. PlanEnergi [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.solarmarstal.dk/media/6600/summary-technical-description-marstal.pdf>
- [42] AUGSTEN, Eva. Denmark: 23 MWth Cover 55 % of Heat Demand of 1,500 Households.
In: <https://solarthermalworld.org/> [online]. 2014 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://solarthermalworld.org/news/denmark-23-mwth-cover-55-heat-demand-1500-households/>
- [43] Long term storage and solar district heating. In: <https://ens.dk/> [online]. PlanEnergi [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Forskning_og_udvikling/sol_til_fjernvarme_brochure_endelig.pdf
- [44] WINTERSCHIED, Carlo a Thomas SCHMIDT. Gram district heating monitoring data evaluation for the years 2016-2017. In: <https://www.solar-district-heating.eu/> [online]. Solites, 2019 [cit. 2023-05-

- [20]. Dostupné z: https://www.solar-district-heating.eu/wp-content/uploads/2019/10/Gram-evaluation-report-2016-2017_20190531.pdf
- [45] Large-scale solar water heating and seasonal heat storage pit in Gram. In: <https://stateofgreen.com/en/> [online]. 2015 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://stateofgreen.com/en/solutions/large-scale-solar-heating-and-seasonal-heat-storage-pit-in-gram/>
- [46] Solar District Heating Inspiration and Experiences from Denmark. In: <https://task55.iea-shc.org/> [online]. Danish District Heating Association / PlanEnergi, 2018 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <http://task55.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/SDH%20Inspiration%20Experience%20DK%20v5.pdf>
- [47] SCHMIDT, Thomas. Brædstrup district heating monitoring evaluation for the years 2014-2017. In: <https://www.solar-district-heating.eu/> [online]. Solites, 2019 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: https://www.solar-district-heating.eu/wp-content/uploads/2019/10/Braedstrup-evaluation-report-2014-2017_2019.05.24.pdf
- [48] Brædstrup Fjernvarme. In: <https://www.districtenergyaward.org/> [online]. PlanEnergi [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.districtenergyaward.org/wp-content/uploads/2015/01/Br%C3%A6dstrupGDECA.pdf>
- [49] EPP, Baerbel. Denmark: Concentrating Solar Collectors for District Heat in Northern Europe. In: <https://solarthermalworld.org/> [online]. 2017 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://solarthermalworld.org/news/denmark-concentrating-solar-collectors-district-heat-northern-europe/>
- [50] Heating and cooling from renewables gradually increasing. In: <https://ec.europa.eu/> [online]. 2023 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/DDN-20230203-1>
- [51] Silkeborg gets the world largest solar thermal plant. In: <https://www.solar-district-heating.eu/en> [online]. 2016 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.solar-district-heating.eu/silkeborg-gets-the-world-largest-solar-thermal-plant/>
- [52] Gram Fjernvarme District Heating. In: <https://r-aces.eu/> [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: https://r-aces.eu/use_case/gram-fjernvarme-district-heating/
- [53] 16.6MWTH CSP IN COMBINATION WITH BIOMASS-ORC, DENMARK. In: <https://www.aalborgcsp.com/> [online]. [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.aalborgcsp.com/projects/district-heating-projects/166mwth-csp-in-combination-with-biomass-orc-denmark>