

METODIKA NA POSÚDENIE VHODNOSTI BUDOVANIA NÍZKOTEPLTNÝCH SYSTÉMOV CENTRALIZOVANÉHO ZÁSOBOVANIA TEPLOM

TRANSFORMÁCIA EXISTUJÚCICH SYSTÉMOV CZT

**VÝSTAVBA NOVÝCH NÍZKOTEPLTNÝCH SYSTÉMOV CZT
V NOVÝCH ŠTVRTIACH**

**TRANSFORMÁCIA EXISTUJÚCICH SYSTÉMOV INDIVIDUÁLNEHO
ZÁSOBOVANIA TEPLOM**

Obsah

Úvod.....	4
Zoznam skratiek	5
1 Nízko-teplotné systémy zásobovania teplom	6
1.1 Generačný vývoj CZT	6
1.2 Distribučné teploty	7
1.3 Technologické limitácie a ich riešenie	8
1.3.1 Budovy a vykurovací systém.....	8
1.3.1.1 Určenie kritických odberateľov	8
1.3.1.2 Zadefinovanie problematiky budov a vykurovacej sústavy	9
1.3.1.3 Použitie dostupných dát a postup posúdenia vykurovacej sústavy	13
1.3.1.4 Identifikácia nevhodných vykurovacích telies pre účely nízko-teplotného systému CZT	15
1.3.1.5 Zlepšenie manažmentu na strane spotreby tepla na vetve ÚK	16
1.3.2 Rozvody a odovzdávacie stanice tepla	17
1.3.2.1 Základné usporiadania rozvodnej sústavy CZT	18
1.3.2.2 Koncepty primárnych rozvodov tepla v nízko-teplotných systémoch.....	19
1.3.2.3 Úzke miesta v primárnych rozvodoch tepla a ich eliminácia	22
1.3.2.4 Konštrukčno-materiálne typy potrubí.....	23
1.3.2.5 Vplyv zníženej teploty vody na tepelné straty v rozvodoch.....	25
1.3.2.6 Typ a technická úroveň domových OST	25
1.3.2.7 Identifikácia neefektívnych OST	26
1.3.2.8 Typické nedostatky OST a ich riešenie	28
1.3.3 Zdroje tepla.....	33
1.3.3.1 Stanovenie maximálneho tepelného výkonu	33
1.3.3.2 Zostavenie ročného diagramu trvania potreby tepla a zjednodušené ukazovatele teplárenských sústav	34
1.3.3.3 Analýza dostupnosti a použiteľnosti zdrojov tepla.....	38
1.3.3.4 Termické kolektory a okamžitá/sezónna akumulácia.....	40
1.3.3.5 Tepelné čerpadlá.....	44
1.3.3.6 Spaľovacie zariadenia.....	46
1.3.3.7 Kombinovaná výroba elektriny a tepla (KVET)	48
1.3.3.8 Energetická efektívnosť pri znižovaní teploty v teplárenskej sieti.....	51
1.4 Ekonomická konkurencieschopnosť.....	52
1.4.1 Ekonomické posúdenia projektu nízko-teplotného systému CZT metódou LCOH	52
1.4.2 Merné náklady nízko-teplotného systému CZT	55
2 Postup posúdenia možnosti aplikácie nízko-teplotných systémov CZT	60

2.1	Postup posúdenia potenciálu transformácie existujúcich systémov CZT.....	60
2.2	Postup posúdenia výstavby nízkotepelných systémov CZT pre nové štvrte.....	68
2.3	Postup posúdenia transformácie existujúcich systémov IZT.....	72

Úvod

Metodický dokument bol tvorený za účelom vytvorenia prehľadných postupov využívaných pri posúdení potenciálu transformácie existujúcich vysokoteplotných systémov centralizovaného zásobovania teplom a výstavby nízkoteplotných systémov centralizovaného zásobovania teplom.

V prvej kapitole sú zadané základné definície nízkoteplotných systémov centralizovaného zásobovania teplom, bariéry týkajúce sa ich aplikácie ako aj stručné dielčie postupy posudzovania v rámci jednotlivých tematických častí.

Druhá kapitola obsahuje postupy pri zavedení nízkoteplotného systému centralizovaného zásobovania teplom a to pre nasledujúce prípady:

- Transformáciu existujúcich systémov centralizovaného zásobovania teplom na nízkoteplotné,
- Výstavbu nových nízkoteplotných systémov centralizovaného zásobovania teplom pre nové štvrte,
- Transformáciu existujúcich systémov individuálneho zásobovania teplom na nízkoteplotné.

Metodika je určená pre skupinu čitateľov, ktorí majú minimálne základné znalosti v oblasti systémov centralizovanej výroby, distribúcie a dodávky tepla. Samotné postupy v rámci metodiky nie sú všeobecne platné pre všetky potenciálne scenáre a predstavujú len odporúčania autorov metodiky.

Zoznam skratiek

V rámci tejto metodiky boli použité nasledujúce skratky a pojmy.

Tab. 1: Zoznam skratiek a pojmov

BAU	„Business As Usual“ - typické tepelné riešenie
CZT	centrálne zásobovania teplom
SCZT	systém alebo systémy centralizovaného zásobovania teplom
SCZCH	systém alebo systémy centralizovaného zásobovania chladom
TV	teplá (úžitková) voda)
TČ	tepelné čerpadlo
SR	Slovenská republika
OZE	obnoviteľné zdroje energie
OST	odovzdávacia stanica tepla
ÚK	ústredné vykurovanie
ATES	Sezónna akumulácia tepla vo zvodnenej vrstve („aquifer thermal energy storage“)
BTES	Sezónna akumulácia tepla vo forme horninového zásobníka („borehole thermal energy storage“)
PTES	Sezónna akumulácia tepla vo forme jamového zásobníka („pit thermal energy storage“)
TTES	Okamžitá akumulácia tepla vo forme oceľového zásobníka („tank thermal energy storage“)
prevádzkovateľ SCZT	Výrobca, distribútor alebo dodávateľ tepla zo SCZT
IZT	individuálne zásobovanie teplom
IZCH	individuálne zásobovanie chladom

1 Nízko-teplotné systémy zásobovania teplom

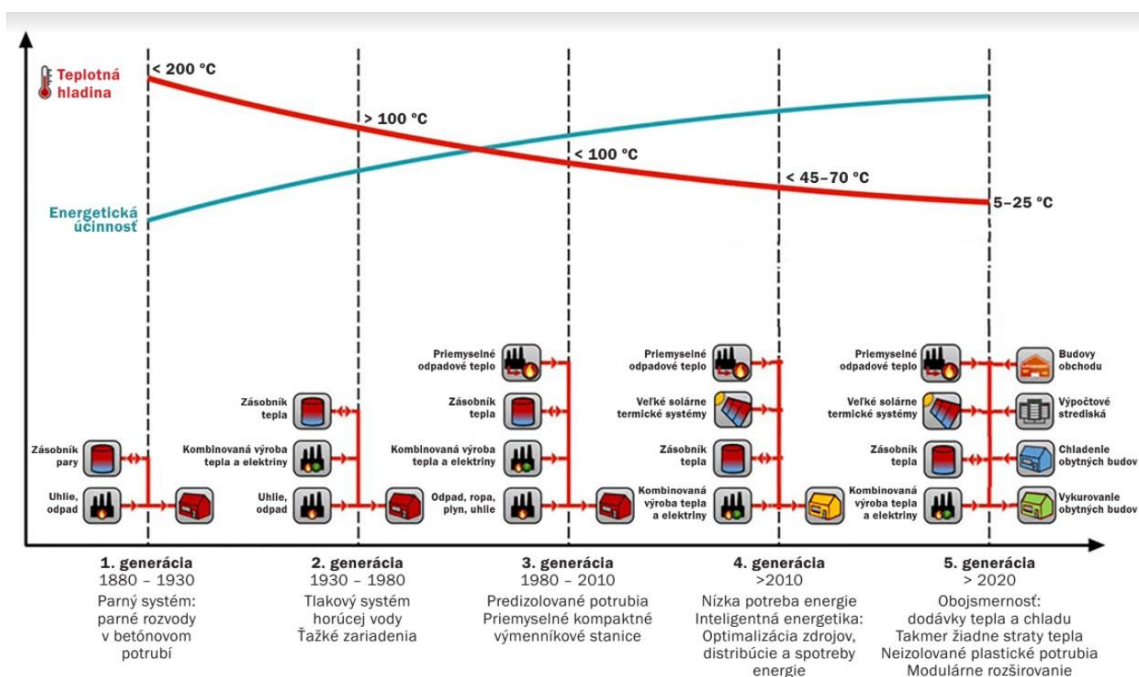
Systémy CZT pokrývajú viac ako 54 % celkovej potreby tepla obyvateľov Slovenska¹. Vzhľadom k rozvinutej infraštruktúre systémov CZT na území Slovenska je vhodné hľadať také alternatívy rozvoja CZT, ktoré zabezpečia plnenie klimatických cieľov SR a zároveň využijú výhody tohto spôsobu dodávky tepla k odberateľom.

1.1 Generačný vývoj CZT

Systémy CZT prešli značným generačným vývojom (viď Obr. 1). Slovensku v súčasnosti v rámci sústav CZT dominujú systémy založené na báze 3. generácie. Niektoré väčšie sústavy CZT využívajú ešte vo svojich primárnych rozvodoch tepla horúcu vodu (2. generácia), v minimálnej miere aj paru (1. generácia).

Trend v sektore teplárstva smeruje k nižším distribučným teplotám vody. Vyššie generácie systémov CZT vďaka nižšej teplote distribučnej vody ponúkajú spravidla väčšie možnosti integrácie zdrojov tepla založených na bezpalivových OZE, odpadovom teple a okamžitých či sezónnych akumulátorov tepla a ich energetická účinnosť je oproti doteraz používaným systémom vyššia.

Obr. 1: Generačný vývoj systémov zásobovania teplom



Zdroj: 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems ²

¹ <https://www.enviroportal.sk/clanok/vdaka-systemom-centralneho-zasobovania-teplom-je-v-sr-cistejsi-vzduch>

² LUND, Henrik a kolektív. 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems, upravené o.z. Priatelia Zeme-CEPA.

Systémy CZT, ktorých priemerná ročná teplota dodávanej vody nepresahuje 70 °C, nazývame súhrnne nízko-teplotné systémy CZT, pod ktoré patria systémy 4. a 5. generácie.

Najnovšia etapa vývoja systémov CZT, ktorá sa už úspešne presadzuje v praxi, je 4. generácia. Tá je vhodná nielen k prestavbe systémov CZT ale aj k výstavbe nových sústav, ak sú počiatočné podmienky takejto výstavby priaznivé. Nevyhnutnou podmienkou týchto systémov je obnova tepelnej ochrany objektov a vykurovacej sústavy spotrebiteľov, čím vznikne príležitosť pre prevádzkovateľa systému CZT k zníženiu teploty dodávanej vody. Typické teplotné rozsahy dodávanej vody sú od 45 °C do 70 °C, pričom limitujúcim faktorom je zabezpečenie bezpečnej teploty TV na vyústení u spotrebiteľa (problematika baktérie Legionella). Ďalšou nemenej dôležitou podmienkou aplikácie takýchto systémov je optimalizácia odovzdávacích staníc tepla a striktné sledovanie nastavených parametrov distribučnej sústavy.

Pri výstavbe menších štvrtí a sídiel sa začínajú v západných krajinách Európy uplatňovať aj systémy 5. generácie. Hlavný rozdiel medzi 4. a 5. generáciou systémov CZT je v tom, že systémy 5. generácie dodávajú odberateľom vlažnú vodu (teploty prírodnej vody v distribučnej sústave do 45 °C). Tepelný komfort a bezpečnú teplotu TV u odberateľa potom zabezpečujú inštalované TČ na päte objektu.

V nasledujúcich podkapitolách sú špecifikované parametre potrebné pre aplikovateľnosť nízko-teplotných systémov zásobovania teplom.

1.2 Distribučné teploty

Prítomnosť vysokých teplôt vody v existujúcich ale i navrhovaných systémoch CZT je najväčšou bariérou pripájania mnohých nízko-teplotných zdrojov tepla a brzdí väčšie využitie už mnohých existujúcich zdrojov tepla (napr. kondenzačný režim v plynovom kotle). Distribučné teploty v rozvodoch systému CZT by ale mali zohľadňovať požadovanú teplotu odberateľov s požiadavkou najvyššej teploty teplotnosného média. To môže byť problém pri transformácii existujúceho systému CZT na nízko-teplotný, prípadne pri výstavbe nového nízko-teplotného systému CZT, ak sa počíta s takým odberateľom. Pokiaľ sa v sieti systému CZT nachádzajú odberatelia, prípadne existuje potenciál pripojenia takých odberateľov tepla, ktorí vyžadujú iné vlastnosti teplotnosnej látky než povoľuje (nízko-teplotný) zámer projektu, je na zvážení investora, či je ekonomicky výhodné takýchto odberateľov zo siete CZT odpojiť, respektíve im neumožniť pripojenie. V praxi sa jedná hlavne o priemyselné podniky a nemocnice, ktorí potrebujú horúcu vodu alebo paru o určitej kvalite. Na Slovensku je však pomerne bežné, že tento typ odberateľov si pripravuje technologické teplo individuálne a para sa vyrába pomocou elektrických vyvíjačov pary. Niektorí odberatelia, ktorí by vyžadovali vodu o vyššej teplote než by bolo možné dodať pomocou nízko-teplotného systému CZT, môžu zostať pripojení a inštaláciou lokálnych zariadení (napr. elektrický doohrev) si zabezpečia potrebnú teplotu prírodnej vody.

Vzhľadom k účelu metodiky ale neuvažujeme s existenciou takých odberateľov tepla, ktorých prevádzka si vyžaduje teplo o vyššej teplotnej úrovni, prípadne technologickú paru.

1.3 Technologické limitácie a ich riešenie

V nasledujúcich podkapitolách sú zadefinované najčastejšie problémy jednotlivých technologických častí s popisom možných riešení potrebných pri aplikácii nízko-teplotných systémov CZT.

1.3.1 Budovy a vykurovací systém

Výstavbou nových budov, respektíve komplexnou obnovou tepelno-technických vlastností existujúcich budov dodržiavajúc nastavené legislatívne úrovne tepelnej ochrany budov, dochádza k postupnému znižovaniu potreby tepla na účely ÚK. Pri novostavbách sa prakticky vyrovnáva ročná spotreba tepla na ÚK s ročnou spotrebou tepla pre prípravu TV (viď Graf 5). Vďaka novým a obnoveným budovám sa znižuje aj rozdiel medzi potrebou tepla v lete (len pre účely prípravy TV) a potrebou tepla vo vykurovacej sezóne (pre účely ÚK a TV). Výstavba nových budov a rekonštrukcia existujúcich objektov pripojených do systému CZT navyše dovoľuje znížiť teploty vykurovacej vody pri zachovaní tepelného komfortu užívateľov.

Zníženie teplotných pomerov v primárnej sieti CZT je však limitované teplotou TV v sekundárnom okruhu, ktorá je definovaná Vyhláškou 152/2005 Z. z.³ Tá definuje teplotný rozsah TV na výtoku u odberateľa medzi 45 až 55 °C. To limituje zníženie teploty vody prívodu v primárnom okruhu CZT na nie menej než 50 °C, ak nemá byť TV pripravovaná v mieste odberu.

Limitná teplota TV na výtoku obmedzuje aj možnosti zníženia teploty vykurovacej vody v sekundárnom okruhu. Okrem limitnej teploty vychádzajúcej z teploty TV na výtok, závisí zníženie teploty vykurovacej vody na strane budov aj od ďalších dvoch faktorov:

1. Stav vonkajších obalových a otvorových konštrukcií (tepelná ochrana budovy),
2. Stav vykurovacej sústavy a vykurovacích telies.

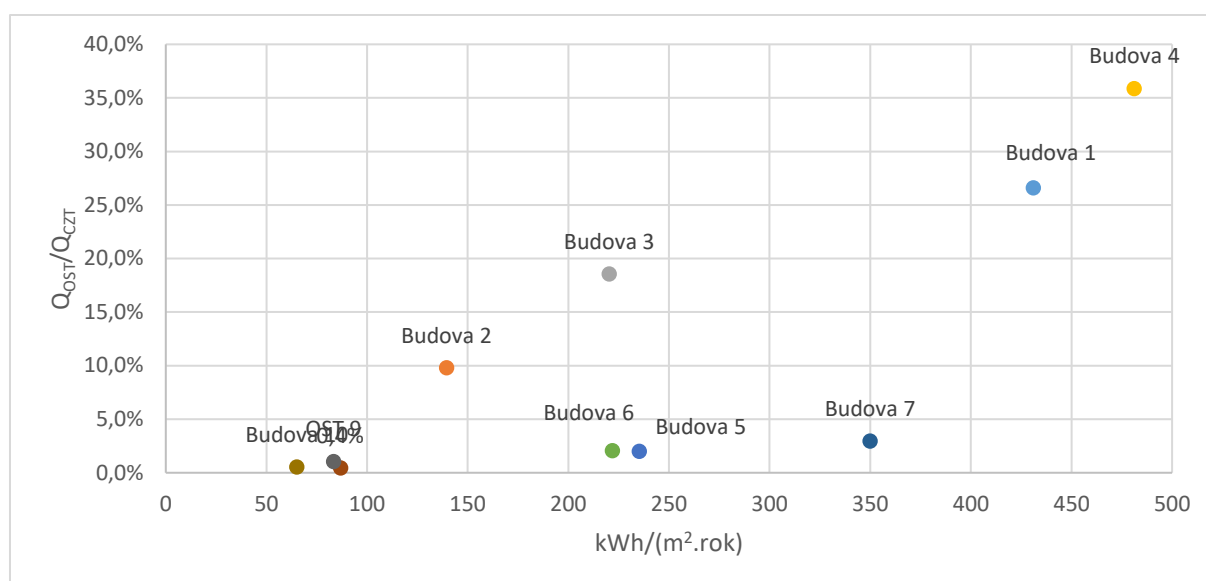
1.3.1.1 Určenie kritických odberateľov

Pre prevádzku teplárenských systémov sú kritickí odberatelia tí, ktorí majú najvyšší podiel odberu tepla a teda aj najvýznamnejší vplyv na charakter dodávky tepla. Zároveň je potrebné sledovať energetickú hospodárnosť odberu tepla, pretože tu sa predpokladá najvyšší potenciál opatrení, ktoré by mohli vplývať na možnosti zníženia teplotných pomerov v systéme CZT. Pre identifikáciu kritických odberateľov podľa vyššie spomenutých ukazovateľov je potrebné poznať ich ročnú potrebu tepla určenú na základe výpočtu, prípadne spotreby a ich celkovú podlahovú plochu. Následne je potrebné zostavenie závislosti podielu potreby tepla budovy k celkovej dodávke tepla ($Q_{\text{Budova}}/Q_{\text{CZT}}$) a mernej potreby tepla konkrétneho odberateľa ($\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{rok})$).⁴ Príklad takejto závislosti je uvedený na nasledujúcom grafe fiktívnej teplárenskej siete.

³ Vyhláška č. 152/2005 Z. z. o určenom čase a o určenej kvalite dodávky tepla pre konečného spotrebiteľa.

⁴ Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

Graf 1: Závislosť podielu potreby tepla OST z dodávky tepla v CZT a mernej potreby tepla objektov prislúchajúcich k OST



Zdroj: vlastné spracovanie

Z grafu je možné pozorovať, že vo fiktívnej sieti CZT vykazuje najvyššiu energetickú náročnosť Budova 4, ktorá má zároveň najvyšší podiel na dodávke tepla. Vysoká merná potreba tepla v existujúcich systémoch nemusí predstavovať len slabú úroveň tepelnej ochrany budovy, ale môže byť spôsobená aj zlou prevádzkou vykurovacieho systému (chýbajúca termostatizácia a hydraulické vyregulovanie). Pre identifikáciu novej poruchovosti je vhodná analýza objektu energetickým špecialistom.

Pokiaľ sa nepreukáže poruchovosť vykurovacieho systému, tak je možné v budúcnosti predpokladať zníženie odberu tepla u kritických odberateľov len prostredníctvom obnovy tepelnej ochrany budovy⁵.

Uvedenú metódu určenia budov s najvyššou energetickou náročnosťou je možné aplikovať pre existujúce systémy CZT, ktoré majú údaje o spotrebe tepla budov alebo pre nové systémy, pri ktorých by však spotreba tepla budov musela byť určená výpočtom, prípadne na základe predchádzajúcej spotreby z individuálneho vykurovania a prípravy TV.

Správnou aplikáciou opatrení energetickej efektívnosti (zníženie energetickej náročnosti budovy, optimalizácia vykurovacieho systému) u kritických odberateľov sa zlepšujú a odomykajú podmienky pre znížovanie teploty v primárnych rozvodoch systému CZT. Pokiaľ nie je možné u kritických odberateľov zlepšiť podmienky pre integráciu do nízko teplotného systému CZT, možným riešením je potom zvyšovanie teplotnej úrovne len v mieste odberu – kaskádny systém zapojenia na prívod (kapitola 1.3.2.2) alebo lokálny dohrev individuálnym zdrojom tepla.

1.3.1.2 Zadefinovanie problematiky budov a vykurovacej sústavy

Tepelná ochrana budovy a stav vykurovacej sústavy a vykurovacích telies sú faktory vzájomne sa ovplyvňujúce. Niektoré budovy môžu mať tepelnú ochranu na horšej úrovni, ale teplovýmenná plocha

⁵ Po obnove tepelnej ochrany budovy je vhodné vykonať hydraulické vyregulovanie.

radiátorov je dostačujúca aj pre stanovenú zníženú teplotu vykurovacej vody⁶. Naopak, niektoré pomerne nedávno rekonštruované budovy môžu mať pomerne vysokú úroveň tepelnej ochrany, ale pri tepelno-technickej obnove budovy došlo aj k výmene radiátorov, ktorých teplovýmenná plocha bola dimenzovaná už na tepelnú stratu budovy v obnovenom stave, avšak s uvažovaním vyšších teplôt vykurovacej vody, čo mohlo zamedziť možnosti zníženia teploty teplonosnej látky. Takýchto prípadov by však v praxi nemalo byť veľa, no aj tak je vhodné poznať tepelnú stratu budovy, ideálne rozčlenenú na jednotlivé miestnosti, ktorá definuje potrebný tepelný výkon vykurovacích telies.

Tepelná strata miestnosti sa počíta podľa normy STN EN 12831. V praxi sa pre účely dimenzovania radiátorov často tento postup zjednodušuje. Mnoho výrobcov a dodávateľov vykurovacích telies má voľne dostupné jednoduché programy, ktoré na základe definovaných rozmerov miestnosti, typu a polohy miestnosti (napr. rohová miestnosť s jedným oknom nad a pod nevykurovanou miestnosťou) vedia určiť približnú tepelnú stratu⁷. Orientačne sa tepelná strata dá určiť aj podelením ročnej spotreby tepla na vykurovanie (ak je táto spotreba známa) počtom hodín z doby využitia maximálneho výkonu⁸ (ten je závislý od lokality a technického stavu budovy, pričom platí, že čím je budova obnovejšia a v teplejšom klimatickom pásme, tým je počet hodín doby využitia maximálneho výkonu nižší).

Orientačné určenie tepelnej straty miestnosti (Q_m) s podlahovou plochou o veľkosti 30 m², s ročnou mernou spotrebou tepla⁹ 150 kWh/m².rok a 2000 hod/rok špičkového výkonu (doba využitia maximálneho výkonu):

$$Q_m = (150 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok} \cdot 30 \text{ m}^2) \div 2000 \text{ hod/rok} = 2,25 \text{ kW}$$

Tepelný výkon radiátorov, ktorý musí pokryť vypočítanú tepelnú stratu miestnosti, je daný konštrukciou a geometriou vykurovacích telies (know-how výrobcu radiátorov). Rovnako záleží na uvažovanej hodnote zníženia teploty vykurovacej vody a na navrhovanom teplotnom spáde medzi prívodom a spiatočkou ÚK. Znižovať teplotu prívodu vykurovacej vody je možné len na takú teplotu, ktorá zaistí tepelnú pohodu užívateľov a v prípade centrálnej prípravy TV zabezpečí aj hygienicky bezpečnú teplotu TV. Teplotný spád (rozdiel medzi prívodom a spiatočkou ÚK) je možné znížiť alebo zvýšiť, avšak je vždy potrebné zanalyzovať možné dôsledky v samotnej vykurovacej sústave a aj v mieste prípravy vykurovacej vody (tj. v OST). Dokument od IEA¹⁰ ponúka zjednodušený graf závislosti teploty prívodu vykurovacej vody na vonkajšej teplote vzduchu pre rôzne merné ročné spotreby tepla na ÚK (viď Obr. 2).

⁶ Spravidla nastáva v prípadoch, keď boli radiátory dimenzované na tepelnú ochranu budovy ešte pred obnovou jej obvodových a otvorových konštrukcií. Napr. budova bola zateplená v roku 2012, avšak vykurovacie telesá budovy boli menené v roku 2004.

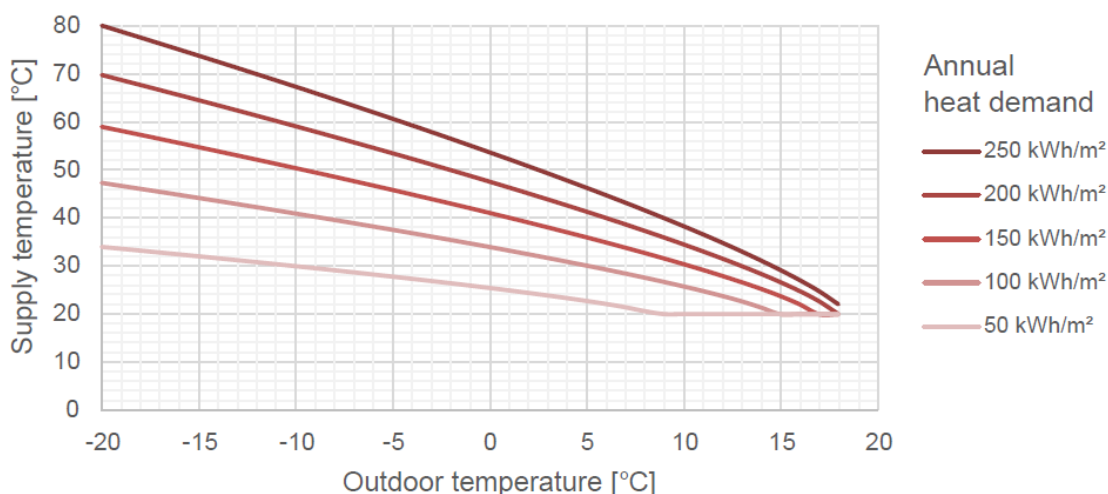
⁷ Napr. výpočtová pomôcka výrobcu panelových radiátorov KORAD.

⁸ Doba, za ktorú by pri trvalom maximálnom výkone bolo dodané ekvivalentné množstvo tepla ako pri reálnej prevádzke počas roka.

⁹ Ročná merná spotreba tepla bola určená z ročnej spotreby tepla na ÚK celého objektu o hodnote 15 000 kWh/rok s celkovou podlahovou plochou o veľkosti 100 m².

¹⁰ Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

Obr. 2: Príklad závislosti teploty vykurovacej vody na vonkajšej teplote vzduchu pre rôzne merné ročné spotreby tepla na ÚK



Zdroj: Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook ¹¹

Graf na Obr. 2 je len orientačný, keďže nie je definovaný typ a veľkosť teplovýmennej plochy vykurovacích telies v budove a ani uvažovaná vnútorná teplota pre zabezpečenie tepelnej pohody užívateľov.

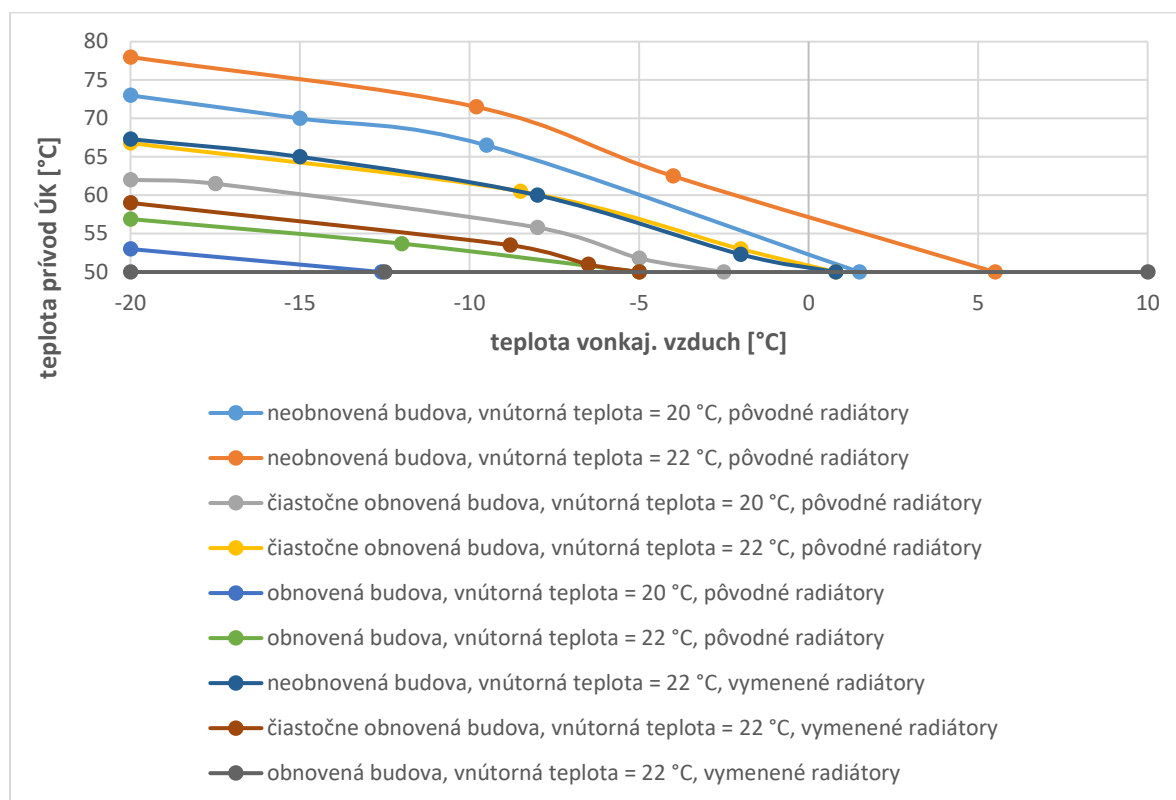
V praktickej štúdii¹² autori M. Brand a S. Svendsen skúmali závislosť tepelnej ochrany budov, stavu vykurovacích telies a teploty vykurovacej vody. Pomocou simulácie analyzovali vplyv zníženej teploty vykurovacej vody na tepelný komfort užívateľov typických dánskych rodinných domov zo 70. rokov v rôznom stupni ich obnovy. Pod termínom „čiastočne obnovená budova“ autori uvažovali s takou rekonštrukciou, ktorá zahŕňala len výmenu pôvodných okien so súčiniteľom prechodu tepla U_w na úrovni 3,2 W/(m².K) za okná s izolačným dvojsklom s U_w na úrovni 1,5 W/(m².K). Pod termínom „obnovená budova“ sa myslela taká rekonštrukcia, kde definované dvojsklá z čiastočnej rekonštrukcie zostali len na oknách južnej a východnej strany, pričom okná na severnej a západnej fasáde boli už s izolačným trojsklom s $U_w = 0,9$ W/(m².K) a doplnená bola aj izolácia strešnej konštrukcie (300 mm izolácia medzi krokvy a 125 mm izolácia pod krokvy).

V grafe nižšie (Obr. 3) je možné vidieť krivky teploty prívodu ÚK v skúmaných domoch pre rôzne druhy ich obnovy v závislosti od vonkajšej teploty. Zo štúdie vyplynulo, že väčšinu času z vykurovacej sezóny je možné znížiť teplotu vykurovacej vody na úroveň 50 až 55 °C dokonca aj pre pôvodné, neobnovené budovy. V prípade obnovenej budovy a vymenených radiátorov nebola potrebná teplota vykurovacej vody vyššia ako 50 °C po celé vykurovacie obdobie a to vrátane najchladnejších dní.

¹¹ Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

¹² BRAND Marek and SVENDSEN Sven, Renewable-based low-temperature district heating for existing buildings in various stages of refurbishment. 2013.

Obr. 3: Potrebná teplota prívodu ÚK v závislosti od vonkajšej teploty vzduchu pri pôvodných a nízkoteplotných vykurovacích telesách



Zdroj: spracované na základe dát zo štúdie - Renewable-based low-temperature district heating for existing buildings in various stages of refurbishment^{13, 14}

V predmetnej štúdii boli pôvodné aj vymenené radiátory uvažované ako panelové. Pôvodné boli typu 21 (dva panely, jeden konvektor) a vymenené typu 33 (tri panely, tri konvektory). Dĺžka a výška pôvodných a vymenených radiátorov zostala rovnaká a zmenená bola len hĺbka radiátorov definovaná typovým označením (počet panelov a konvektorov). Takouto výmenou sa docielilo zachovanie prípojných bodov v rovnakých miestach a nekládli sa ďalšie požiadavky na priestor. V niektorých prípadoch nebude pri znížení teploty vykurovacej vody možné spraviť obdobnú výmenu a bude potrebné zabezpečiť inú geometriu (dĺžku či výšku), prípadne iný typ nízkoteplotného radiátora. V tabuľke nižšie sú zhrnuté tepelné výkony na jeden meter panelových radiátorov konkrétneho výrobcu¹⁵ pri teplotných spádoch vykurovacej a vratnej vody 70/40 °C a 50/25 °C pri zaistení 20 °C teploty vzduchu v miestnosti.

Tab. 2: Parametre panelových radiátorov typu 21 a typu 33

¹³ Brand M, Svendsen S. Renewable-based low-temperature district heating for existing buildings in various stages of refurbishment. Energy 2013;62:311–9. doi:10.1016/j.energy.2013.09.027.

¹⁴ Spracované na základe dát zo štúdie od autorov M. Brand a S. Svendsen. Pod termínom „čiastočne obnovená budova“ sa myslela taká rekonštrukcia, ktorá zahŕňala len výmenu pôvodných okien so súčiniteľom prechodu tepla U_w na úrovni 3,2 W/(m².K) za okná s izolačným dvojsklom s U_w na úrovni 1,5 W/(m².K). Pod termínom „obnovená budova“ sa myslela taká rekonštrukcia, kde definované dvojsklá zostali len na oknách južnej a východnej strane, pričom okná na severnej a západnej fasáde boli už s izolačným trojsklom s $U_w = 0,9$ W/(m².K) a doplnená bola aj izolácia strešnej konštrukcie (300 mm izolácia medzi krokvy a 125 mm izolácia pod krokvy).

¹⁵ Technické listy radiátorov KORAD.

Typ panelového radiátora	Typ 21	Typ 33
Výška radiátora [mm]	550	550
Hĺbka radiátora [mm]	66	155
Tepelný výkon [W/m dĺžky] pri 70/40/20 °C	685	1287
Tepelný výkon [W/m dĺžky] pri 50/25/20 °C	218	412

Zdroj: technické listy radiátorov KORAD

Z Tab. 2 je zrejmé, že v prípade výmeny panelového radiátora typu 21 za typ 33 o rovnakých dĺžkových a výškových rozmeroch a zmeny teplotného spádu zo 70/40 °C na 50/25 °C bude nový radiátor schopný zabezpečiť len približne 60 % tepelného výkonu pôvodného radiátora pri pôvodnom teplotnom spáde vykurovacej sústavy. V praxi je však radiátor využívaný na svoj maximálny tepelný výkon len v najchladnejšie dni vykurovacej sezóny (tepelná strata miestností sa počíta na základe výpočtovej (najnižšej) teploty vonkajšieho vzduchu).

Tepelné výkony vykurovacích telies sú špecifické a záležia od veľkosti teplovýmennej plochy, konštrukcie vykurovacieho telesa a ďalších parametrov. Výrobcovia vykurovacích telies zverejňujú tepelné výkony svojich výrobkov v technických listoch pri rôznych teplotných spádoch vykurovacej vody. Niektorí výrobcovia ponúkajú aj jednoduché výpočtové programy, ktoré pomáhajú s výberom radiátora.

1.3.1.3 Použitie dostupných dát a postup posúdenia vykurovacej sústavy

V prípade transformácie súčasných systémov CZT na nízko teplotné systémy CZT je vhodnejšie najskôr zanalyzovať dostupné údaje o domovej OST¹⁶ a až následne prejsť k detailnejšiemu posúdeniu vykurovacích sústav v teréne. Možnými zdrojmi údajov sú merače odovzdaného tepla v OST, prietokomer vykurovacej vody, merače diferenciálnej teploty prívodu a spiatočky, pomerové merače tepla, termostaty a pod. Pre identifikáciu nedostatkov a potenciálu úspor v budove je vhodné mať čo najviac dostupných údajov z meraní na sekundárnej strane (viď Obr. 8) Merania na sekundárnej strane je možné následne porovnať s meraniami na primárnej strane a určiť nasledovné ukazovatele¹⁷:

- **Podiel využitého tepla k celkovej dodávke tepla.**

Kľúčovým indikátorom je určenie podielu tepla na vykurovanie a podielu tepla na prípravu TV. Určením jednotlivých podielov dostaneme prehľad, v ktorom systéme je vhodnejšie realizovať opatrenia energetickej efektívnosti.

- **Priemerné teploty prívodu a spiatočky na sekundárnej strane**

Tieto údaje môžu byť použité pre identifikovanie, ktorá časť vykurovacej sústavy zapríčiňuje vysoké teploty spiatočky. Určenie priemernej teploty prívodu a spiatočky môžu byť určené na základe merania za určitý časový krok (napr. za hodinu) alebo na základe merania prietoku. Určením priemerných teplôt na základe prietoku zohľadňujeme aj fakt, že v niektorých hodinách v rámci dňa je dodávané väčšie množstvo tepla a teploty prívodu a spiatočky tak majú pri zohľadnení priemeru väčšiu váhu.

¹⁶ Pri nízko teplotných systémoch CZT uvažujeme s existencou domových OST na päte všetkých pripojených objektov.

¹⁷ Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

Priemer na základe čas. kroku

$$\bar{T}_{S/R} = \frac{1}{n_{čas.krok}} \sum_{i=1}^{n_{čas.krok}} T_{S/R,i}$$

Priemer na základe prietoku

$$\bar{T}_{S/R} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{čas.krok}} (\dot{M}_i \cdot T_{S/R,i})}{\sum_{i=1}^{n_{čas.krok}} (\dot{M}_i)}$$

Kde:

$\bar{T}_{S/R}$	Priemerná teplota prívodu/spiatočky	(°C)
$n_{čas.krok}$	Počet časových krokov	(-)
$T_{S/R,i}$	Teplota prívodu/spiatočky v časovom kroku i	(°C)
$\dot{M}_i$	Prietok v časovom kroku i	W/(m ² ·K ²)

- Podiel strát k celkovej dodávke tepla.

Podiel strát k celkovej dodávke tepla je vhodné vyhodnotiť pre vykurovanie a systém prípravy TV samostatne. Pre systém vykurovania môžu byť vhodné údaje pre vyhodnotenie tepelných strát získané z pomerových meračov tepla a celkovej dodávky tepla na vykurovanie určenej v OST, prípadne výpočtom.

Pre systém prípravy TV je podiel strát možné stanoviť z množstva tepla potrebného na ohrev TV ($Q_{TV,namerané}$) podľa nameraného množstva spotrebovanej TV v m³ ($V_{TV,namerané}$) v jednotlivých bytových jednotkách a celkovej dodávky tepla na prípravu TV ($Q_{TV,TOTAL}$). Takýmto spôsobom sú v tepelných stratách zahrnuté aj straty z cirkulácie, ktoré sa približne 40 % podieľajú na vykurovaní.

$$Q_{TV,namerané} = V_{TV,namerané} \cdot \rho \cdot c_w \cdot (T_{TV} - T_{SV})$$

Pre teplotu TV a teplotu studenej vody je možné použiť hodnoty 55 °C a 10 °C.

$$\text{Účinnosť systému prípravy TV} = \frac{Q_{TV,namerané}}{Q_{TV,TOTAL}} \cdot 100$$

Údaje jednotlivých ukazovateľov je následne potrebné vhodným spôsobom spracovať a vizualizovať. Správna vizualizácia napomáha sledovaniu zmien sledovaných ukazovateľov a indikuje problém vykurovacej sústavy a sústavy prípravy TV. Ako príklad môže byť grafické znázornenie časového radu.

Ďalším efektívnym nástrojom je **použitie lineárnej regresie**. Vhodné je sledovanie vzájomnej závislosti medzi teplotou spiatočky (T_R) a dodaným teplom ($\dot{Q}$). Zostavenie lineárnej regresie je možné aj v tabuľkovom softvéri MS Excel a to vykreslením meraných dát v grafe X a Y závislosti. Následne je možné pridať trendovú spojnicu s lineárnou závislosťou a pre ňu zobrazíť rovnicu vrátane koeficienta determinácie. Pri správnej funkcii vykurovacej sústavy by sa teplota spiatočky mala navyšovať s narastajúcou dodávkou tepla (β_1 je kladná).

$$\dot{Q} = \beta_0 + \beta_1 \cdot T_R$$

Pokiaľ teplota spiatočky s narastajúcou spotrebou tepla rastie (β_1 je záporná), indikuje to nesprávnu funkciu vykurovacieho systému. Taktiež, pokiaľ je vykurovacia sústava prevádzkovaná rôznymi režimami, prejaví sa to v nízkej hodnote koeficienta determinácie (R^2), čo môže predstavovať nepravidelnosť prevádzky.

Na základe strmosti smernice priamky lineárnej regresie (β_1) je možné predpokladať, či má nárast spotreby tepla výrazný vplyv na teplotu spiatočky vykurovacieho systému. Kladné hodnoty smernice priamky s miernou strmosťou sú dobrým predpokladom pre aplikáciu nízko-teplotného vykurovania v budove. Konkrétne hodnoty koeficienta (β_1), ktoré by vyhovovali podmienkam v SR pre radiátorové vykurovanie je ale potrebné overiť. Príklad použitia lineárnej regresie pre posúdenie vhodnosti vykurovacieho systému na aplikáciu nízko-teplotného vykurovania je uvedený v aplikovanej štúdii - CAMPUS LICHTWIESE AT TU DARMSTADT.¹⁸

Po identifikovaní neefektívnych vykurovacích sústav je potrebné pristúpiť k ich riešeniu. Typické nedostatky vykurovacích sústav a ich riešenia, ktoré by mohli viesť k zníženiu teplotných pomerov v CZT sú bližšie popísané v kapitole 1.3.2.8.

1.3.1.4 Identifikácia nevhodných vykurovacích telies pre účely nízko-teplotného systému CZT

Výmena radiátorov v budovách je kvôli vlastníckym pomerom relatívne komplikovaná vec, ktorá môže brzdiť proces rozvoja sústavy CZT na nízko-teplotný systém. Analýza dostupných dát uvedených v kap. 1.3.1.3 môže preukázať, že vykurovacia sústava zvládne znížené teplotné pomery. Ak analýza preukáže potrebu úpravy vnútornej vykurovacej sústavy a vykurovacích telies, je na ochote prevádzkovateľa sústavy CZT začať rokovania so správcami a vlastníkmi jednotlivých objektov/bytov.

Pri pripájaní nových odberateľov do systému CZT s nízko-teplotným režimom alebo transformácii existujúcich systémov IZT na nízko-teplotný systém CZT nie je možné najskôr analyzovať domovú OST, keďže ešte neexistuje. V tomto prípade je potrebné dôkladne zmapovať vykurovaciu sústavu a radiátory potenciálnych odberateľov tepla z nízko-teplotného systému CZT.

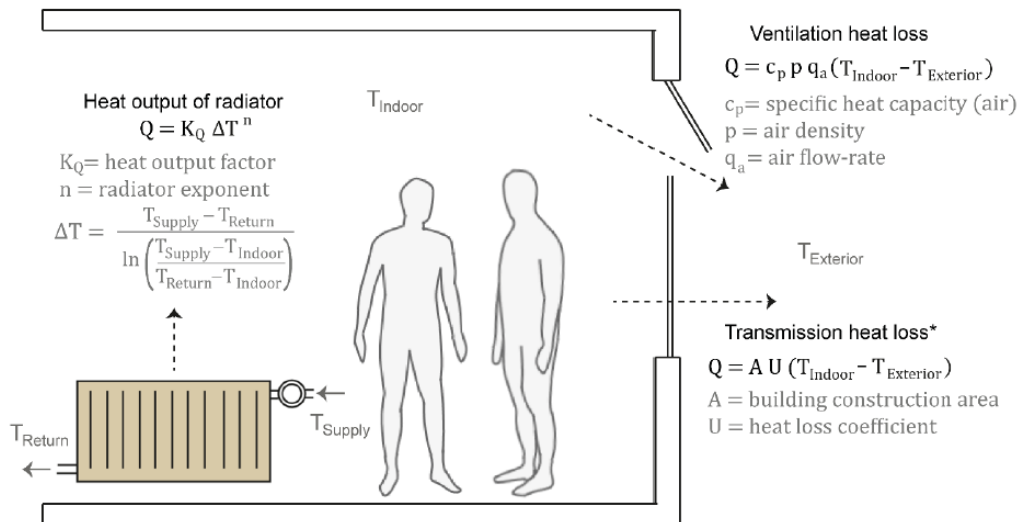
Sumárne by sa v stručnosti dalo pre transformáciu existujúcich systémov CZT alebo existujúcich systémov IZT na nízko-teplotné systémy CZT v zmysle zabezpečenia tepelnej pohody spotrebiteľov tepla napísať nasledovný zjednodušený postup:

1. Určenie tepelnej straty budovy (ideálne každej miestnosti) vychádzajúc z úrovne tepelnej ochrany budovy (ideálne cez projektovaný výpočet podľa STN EN 12831, prípadne pomocou orientačného výpočtu, viď kapitola 1.3.1.2).
2. Určenie nových (znížených) teplotných parametrov vykurovacej vody (môže vychádzať z analýzy lineárnej regresie popísanej v kap. 1.3.1.3).
3. Určenie tepelného výkonu jestvujúcich radiátorov pre jednotlivé miestnosti pri uvažovaných znížených teplotných parametroch vykurovacej vody (výpočtové programy alebo technické listy výrobcov vykurovacích telies).
4. Overenie podmienky, že tepelná strata jednotlivých miestností je nižšia alebo rovná než tepelný výkon radiátorov jednotlivých miestností.
5. V prípade, že platí podmienka z bodu 3., teplovýmenná plocha radiátorov by mala stačiť aj na zníženú teplotu vykurovacej vody a to aj v najchladnejšie dni vykurovacej sezóny.
6. V prípade, že podmienka z bodu 3. neplatí, je potrebné pristúpiť k jednému z nasledujúcich krokov (prípadne ku kombinácii viacerých krokov):
 - a. Nahradenie vykurovacích telies za výkonnejšie, pričom je vhodné najskôr overiť možnosť zachovania rovnakých pripojovacích bodov, dĺžky a výšky telies.
 - b. Zvýšenie tepelnej ochrany budovy (zateplenie obvodových konštrukcií, výmena okien a pod.).

¹⁸ OLTMANNS, Johannes Julius. Analysis and Improvement of an Existing University District Energy System. Dizertačná práca. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, 2021.

- c. Overiť možnosť prevádzky s vyššou teplotou vykurovacej vody v najchladnejšie dni vykurovacieho obdobia.
- d. Zabezpečenie lokálnej výroby tepla na mieste v najchladnejšie dni vykurovacieho obdobia.

Obr. 4: Znáznornenie výpočtových vzťahov potrebných pre posúdenie potrebnej plochy radiátora



* Linear heat losses from connections can be added if these are not included in the general U -values of the construction elements, and heat gains from occupants, equipment, and the sun can be taken into account where appropriate.

Zdroj: Heating of existing buildings by low-temperature district heating¹⁹

Pri výstavbe nových nízkotepelných systémov CZT pre nové štvrte nie je potrebné a ani možné vyššie uvedený postup uplatniť. Nové budovy musia podliehať prísny legislatívnym požiadavkám tepelnej ochrany budov a spravidla pri všetkých sa uvažuje s nízkotepelným (často veľkoplošným) vykurovacím systémom. Navyše sa očakáva, že v prípade projektu výstavby nízkotepelného systému CZT a projektu výstavby novej štvrte budov, budú projekčné tímy oboch projektov navzájom spolupracovať.

1.3.1.5 Zlepšenie manažmentu na strane spotreby tepla na vetve ÚK

Sekundárny okruh systému CZT pre účely tejto metodiky bol zadefinovaný ako okruh, ktorý tvoria vetvy ÚK a TV (vnútorné okruhy budovy). Viaceré spôsoby zlepšenia hospodárenia s TV boli opísané v kapitole 1.3.2.8, keďže okrem zlepšenia manažmentu na strane odberateľa tepla si väčšinou vyžadujú aj nejaké úpravy v OST. Pri vetve ÚK závisí táto problematika spravidla len na správaní užívateľov a nastavení a stave vykurovacej sústavy.

Vysoká teplota spiatocky vykurovacej sústavy môže mať dve príčiny – príliš malé teplovýmenné plochy vykurovacích telies alebo chyba vo vykurovacej sústave (napr. zle nastavená regulácia na vetve ÚK). Z historického kontextu je zrejmé, že len minimum budov má poddimenzované plochy vykurovacích telies. Väčšina radiátorov sa inštalovala o väčších rozmeroch než bolo potrebné, aby bola zaistená tepelná pohoda užívateľov aj v extrémne chladné dni. Tento fakt potvrdzujú aj skúsenosti firiem

¹⁹ Østergaard, D. S. (2018). Heating of existing buildings by low-temperature district heating. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering.

zaoberajúcich sa inštaláciou vykurovacích telies ako aj mnohé zahraničné štúdie²⁰. Vo väčšine prípadov je dôvodom vysokej teploty spiatočky problém vo vnútornej vykurovacej sústave. Najčastejšie ide o²¹:

- Neúmyselný obtok medzi prívodom a spiatočkou ÚK (nastáva napr. po odstránení vykurovacieho telesa a prepojení prívodu a spiatočky namiesto zaslepenia oboch trubiek).
- Chýbajúce termostatické ventily a hlavice na niektorých vykurovacích telesách (napr. na radiátoroch v kúpeľni a pod.).
- Zavzdušnené vykurovacie telesá.
- Hydraulicky nevyregulovaná vykurovacia sústava.

Riešenie vyššie nastolených problémov si vyžaduje najskôr dôslednú kontrolu celej vykurovacej sústavy. Kontrola by mala byť vykonaná nasledovným postupom^{22,23}:

1. Overenie všetkých miestností budovy, či sú na vykurovacích telesách inštalované a funkčné termostatické ventily, či nie sú vykurovacie telesá zavzdušnené a či niekde nie je vytvorený neúmyselný obtok medzi prívodom a spiatočkou ÚK.
2. Overenie prevádzkových parametrov obehových čerpadiel na vetve ÚK. V prípade, že sú čerpadlá predimenzované (napr. z dôvodu poklesu potrebného tepelného príkonu budovy po jej zateplení), môžu spôsobovať nadmerný prietok, čo sa prejaví na vyššej teplote spiatočky. Niekedy postačí, ak sa zníži rýchlosť čerpacej práce na frekvenčnom meniči čerpadla.

Po kontrole je možné pristúpiť k hydraulickému vyváženiu. Hydraulické vyregulovanie vykurovacej sústavy s inštaláciou/nastavením potrebných zariadení (napr. regulátor diferenčného tlaku, vyvažovacie ventily a pod.). Samotné hydraulické vyregulovanie vykurovacej sústavy budovy by malo byť vykonané na základe predchádzajúcej projektovej dokumentácie. Doplnené, resp. vymenené by mali byť aj nefunkčné či nesprávne termostatické ventily (termostatizácia vykurovacej sústavy).

Všetky vyššie opísané úkony by mali byť vykonané odborne spôsobilou osobou. Niektoré spoločnosti na Slovensku vykonávajú všetky aktivity popísané vyššie v rámci služby poskytovanej pod názvom hydraulické vyregulovanie vykurovacej sústavy.

Problémom pri manažmente spotreby tepla na vetve ÚK môže byť aj príliš zbytočne vysoko nastavená teplota vykurovacej vody. Tejto problematike sa venuje kapitola 1.3.1.4.

1.3.2 Rozvody a odovzdávacie stanice tepla

Pre účely tejto metodiky uvažujeme len s dvomi základnými úrovňami (okruhmi):

- Primárny okruh – rozvod medzi zdrojom tepla a pripojeným objektom (domovou OST),
- Sekundárny okruh – rozvod medzi domovou OST a vykurovacími telesami, resp. vývodom TV (okruh vo vnútri budovy).

²⁰ Napr. Jangsten, M., Kensby, J., Dalenbäck, J.-O., & Trüschel, A. (2017). Survey of radiator temperatures in buildings supplied by district heating. V *Energy* (Roč. 137, s. 292–301). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.017>

²¹ Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

²² Cholewa, T., Siuta-Olcha, A., & Balaras, C. A. (2017). Actual energy savings from the use of thermostatic radiator valves in residential buildings – Long term field evaluation. V *Energy and Buildings* (Roč. 151, s. 487–493). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.070>

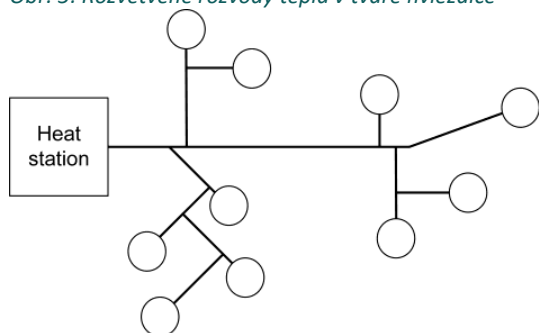
²³ Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

Rozvodná sieť tepla väčších systémov CZT môže byť tvorená viacerými úrovňami (primárny, sekundárny, terciárny okruh a pod.), pričom vždy platí, že jednotlivé okruhy sú medzi sebou oddelené a vykazujú iné vlastnosti (tlak, teplota). Bližšie vysvetlenie problematiky OST je v kapitole 1.3.2.6.

1.3.2.1 Základné usporiadania rozvodnej sústavy CZT

Staršie systémy CZT pracujúce s parametrami horúcej vody mali rozvodné siete tepla usporiadané do tvaru hviezdice (viď. Obr. 5). Hlavný primárny rozvod bol spravidla tvorený prívodom a spiatočkou o rovnakých priemeroch. Priemer potrubí sa v tomto usporiadaní znižuje v smere od zdroja tepla k poslednému odberateľovi tak, aby boli zabezpečené optimálne rýchlosti a dostatočný prietok vody. Obehové čerpadlá sústavy sú navrhnuté tak, že na najvzdialenejšom odbernom mieste je zabezpečený dostatočný diferenčný tlak. Rozvody tepla sú navrhované v najkratších dĺžkach, čo sa prejavuje na relatívne nízkych tepelných stratách.²⁴

Obr. 5: Rozvetvené rozvody tepla v tvare hviezdice

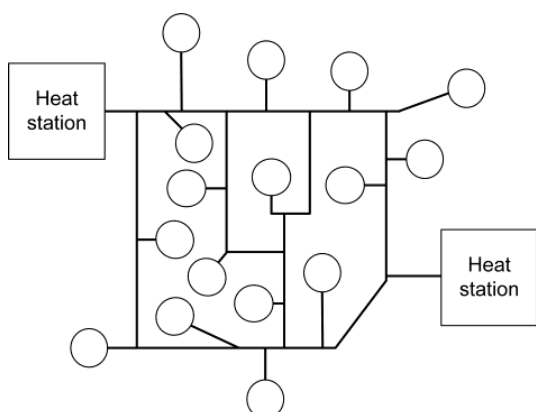


Zdroj: *Handbook on Planning of District Heating Networks*.²⁵

²⁴ NUSSBAUMER, Thomas, Stefan THALMANN, Andres JENNI a Joachim KÖDEL. Handbook on Planning of District Heating Networks. 2020. ISBN 3-908705-39-8.

²⁵ NUSSBAUMER, Thomas, Stefan THALMANN, Andres JENNI a Joachim KÖDEL. Handbook on Planning of District Heating Networks. 2020. ISBN 3-908705-39-8.

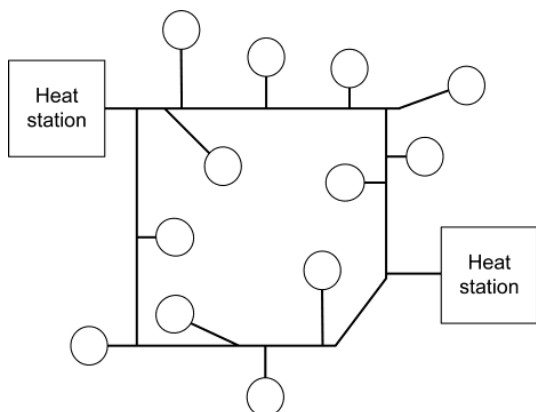
Obr. 6: Prepojené rozvody tepla



Postupným spájaním viacerých tepelných sietí s viacerými zdrojmi tepla (hlavne vo väčších mestách) dochádzalo k prepájaniu rozvodných sietí. Výhodou týchto sietí je bezpečnejšia dodávka tepla, keďže teplo môže byť dodávané z viacerých zdrojov, čo zaručuje rekonštrukciu rozvodov tepla bez nutnosti odstavovania celej časti siete.

Zdroj: *Handbook on Planning of District Heating Networks*.²⁵

Obr. 7: Zokruhované usporiadanie rozvodov tepla



Pre menšie systémy CZT sa v poslednej dobe uplatňuje jednoduché zokruhované usporiadanie rozvodov tepla, ktoré je tvorené primárnym rozvodom, ktorý spája všetky zdroje tepla. Z primárneho rozvodu sú vedené vetvy k jednotlivým odberateľom.

Zdroj: *Handbook on Planning of District Heating Networks*.²⁵

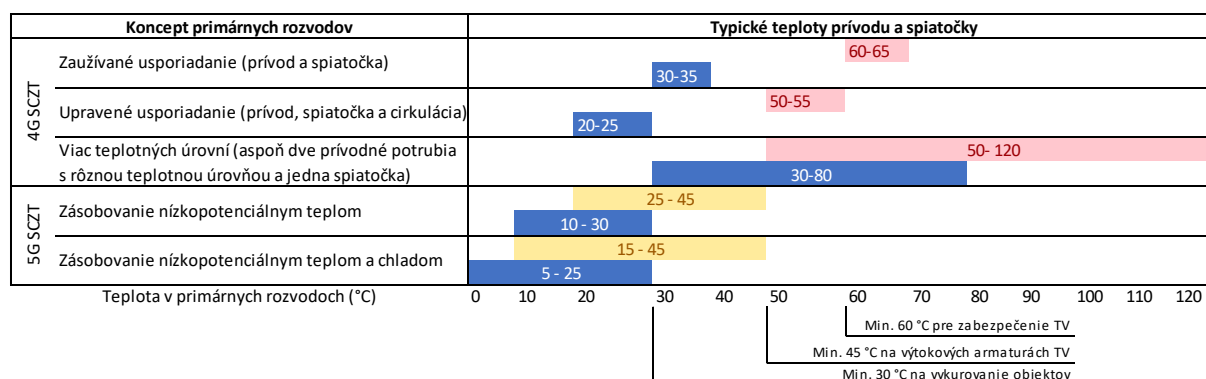
Pri nízkotepelných systémoch CZT uvažujeme spravidla s viacerými zdrojmi tepla kvôli potrebe diverzifikácie, u ktorých sa neuvažuje s umiestnením v jednej centrálnej lokalite a tak je možné predpokladať, že rozvodné siete budú zokruhované.

1.3.2.2 Koncepty primárnych rozvodov tepla v nízkotepelných systémoch

Nízkotepelné systémy CZT majú odlišné technické limitácie ako konvenčné systémy predchádzajúcich generácií SCZT, čo sa prejavuje aj v koncepte použitia primárnych rozvodov tepla. Existuje mnoho definičných ohraničení nízkotepelných systémov CZT, podľa ktorých je možné ich klasifikovať. Najčastejším kritériom pri ich delení je teplota distribučnej vody. V Tab. 3 sú zadefinované najčastejšie koncepty rozvodnej siete týchto systémov.²⁶

²⁶ Werner, S. (2022). Network configurations for implemented low-temperature district heating. V *Energy* (Roč. 254, s. 124091). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124091>

Tab. 3: Rozdelenie najčastejších konfigurácií nízko-teplotných systémov CZT 4. a 5. generácie



Zdroj: tabuľka vytvorená na základe údajov z publikácie - *Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook* ²⁷

Pokiaľ je dostupný hlavný zdroj na teplotnej úrovni vhodnej pre priame zabezpečenie potrieb tepla odberateľov, preferuje sa použitie 4G SCZT. Pokiaľ je teplotná úroveň hlavného zdroja pod teplotnou úrovňou potrebnou na zabezpečenie tepelnej pohody odberateľov, preferujú sa 5G SCZT.

Hlavne pri prestavbe existujúceho systému CZT na nízko-teplotný je výber topológie rozvodnej siete značne obmedzený existujúcim rozložením rozvodov tepla.

Zaužívané usporiadanie primárnych rozvodov tepla²⁸

Najzaužívanejším spôsobom usporiadania primárnych rozvodov tepla je usporiadanie vo forme dvoch paralelných potrubí – prívod a spiatočka. Prevádzka teplárenského systému je na teplotnej úrovni blízkej teplotám zabezpečujúcich tepelnú pohodu užívateľov v budovách bez dodatočného ohrevu v OST (nutnosť optimalizácie domovej OST, viď. kapitola 1.3.2.6).

Výhodou zaužívaného konceptu je dobrá komerčná dostupnosť jednotrubkových rozvodov tepla a známe spôsoby ich použitia. Limitom zníženia teploty v prívodnom potrubí je potreba dostatočnej teploty na eliminovanie vzniku a šírenia baktérie *Legionella* (kapitola 1.3.2.6). Z tohto dôvodu sa ročné priemerné teploty prívodu vody v primárnom potrubí nepohybujú pod úrovňou 60 °C.

V prípade potreby vyššej teplotnej úrovne určitej oblasti (časti systému CZT) je možné pre toto usporiadanie využiť kaskádny systém so zapojením na prívod²⁹ primárneho potrubia a lokálne navýšenie teplotnej úrovne pomocou lokálneho zdroja tepla v blokovej OST. Naopak pokiaľ sa napríklad k existujúcemu systému CZT napojí blok obnovených budov, prípadne novostavieb, pre ktoré nie je nižšia teplota prívodu limitáciou, je možné použitie kaskádneho systému so zapojením na spiatočku³⁰ primárneho potrubia, čím dochádza k väčšiemu vychladeniu spiatočky a navýšeniu kapacity siete.

²⁷ Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

²⁸ Werner, S. (2022). Network configurations for implemented low-temperature district heating. V Energy (Roč. 254, s. 124091). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124091>

²⁹ Prívod aj spiatočka bloku (oblasti) s potrebnou vyššou teplotnou úrovňou sú napojené na prívodné potrubie primárnych rozvodov.

³⁰ Prívod aj spiatočka bloku (oblasti) s potrebnou nižšou teplotnou úrovňou sú napojené na spiatočku primárnych rozvodov.

Upravené usporiadanie primárnych rozvodov tepla³¹

Usporiadanie primárnych rozvodov tepla vychádza zo zaužívaného konceptu, avšak je upravené na tri paralelné potrubia – prívod, spiatočka a užšie³² potrubie cirkulácie. Prevádzka teplárenského systému je na najnižších možných teplotách v prívodnom potrubí pre zabezpečenie potreby tepla v budovách bez dodatočného ohrevu v OST. Zaradením samostatného užšieho potrubia cirkulácie v primárnych rozvodoch nedochádza k nechcenému navýšovaniu teploty spiatočky. Pre elimináciu vzniku a šírenia baktérie *Legionella* musí byť príprava TV zabezpečená čo najbližšie k výtoku TV – je potrebné použiť kompaktné decentralizované OST umiestnené na hranici obytnej jednotky, tzv. flat-stations. V OST sú zároveň použité tepelné výmenníky s vyššou termickou dĺžkou, čo umožňuje využitie nižších teplôt prívodu tepla. Úpravou konceptu je možné zníženie teplotnej úrovne v tepelnej sieti o približne 10 °C v porovnaní so zaužívaným usporiadaním primárnych rozvodov. Viac informácií o optimalizácii OST je možné nájsť v kapitole 1.3.2.6).

Problémom takýchto sietí je limitácia existujúcim stavom, tj. nutnosť prebudovania OST, potreba doplnenia cirkulačného potrubia v primárnych rozvodoch tepla a zároveň aj horšia dostupnosť definovaného rozvodu tepla (hlavne prírodné potrubie by malo byť tvorené dvojitou trúbkou (prívod a cirkulácia opačným smerom) v jednom plášti). V praxi sa preto s týmto typom usporiadania stretávame zatiaľ len minimálne.

Trojtrubkové a štvortrubkové usporiadanie v primárnych rozvodoch tepla^{33, 34}

Charakteristikou takéhoto konceptu je, že primárne rozvody obsahujú aspoň dve prírodné potrubia s rôznou teplotnou úrovňou a jednu spiatočku. Jednotlivé OST sú zapojené na rôznych teplotných úrovniach primárnych rozvodov podľa toho, s akou teplotnou úrovňou pracujú. Najtypickejším využitím tohto usporiadania sú samostatné rozvody tepla pre vykurovanie a pre prípravu TV. Význam takéhoto usporiadania je ten, že pre vykurovanie môže byť použitá nižšia teplota³⁵ ako pre prípravu TV, kde je potrebné eliminovať výskyt baktérie *Legionella*. Tretie potrubie je spiatočka pre obe prírodné potrubia – trojtrubkový systém. Prípadne má každé prírodné potrubie aj svoju spiatočku – štvortrubkový systém.

Štvortrubkový systém môže mať veľké využitie aj pri decentralizovanej príprave tepla pomocou solárnych kolektorov (umiestnených napr. na streche pripojených objektov). V tomto prípade by bol jeden pár potrubí prívod a spiatočka využívaný pre účely solárneho vykurovania prostredníctvom sezónnej akumulácie. Prebytočné teplo vyrobené z termických panelov v letnom období, ktoré by nebolo využité v objekte, môže byť vedené do sezónneho zásobníka tepla.

Komplikáciou viac trúbkového usporiadania primárnych rozvodov tepla je zabezpečovanie optimálneho prietoku v prírodných potrubíach na každej teplotnej úrovni.

³¹ Werner, S. (2022). Network configurations for implemented low-temperature district heating. V Energy (Roč. 254, s. 124091). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124091>

³² Menovitá svetlosť cirkulácie je o dve až tri dimenzie menšia ako menovitá svetlosť prírodného potrubia

³³ Werner, S. (2022). Network configurations for implemented low-temperature district heating. V Energy (Roč. 254, s. 124091). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124091>

³⁴ NUSSBAUMER, Thomas, Stefan THALMANN, Andres JENNI a Joachim KÖDEL. Handbook on Planning of District Heating Networks. 2020. ISBN 3-908705-39-8.

³⁵ Prípadne fluktuujúca teplota ÚK podľa potreby (napr. na základe vonkajšej teploty vzduchu).

Zásobovanie nízkopotenciálnym teplom

Koncept je založený na dodávke dostupného nízkopotenciálneho tepla, ktoré nie je možné priamo využiť na zabezpečenie tepelnej pohody odberateľov. Potrebná teplotná úroveň nie je zabezpečovaná centrálnou, ale lokálne v domovej OST. Zdroje tepla sú umiestnené v jednotlivých OST a potrebná teplotná úroveň je dosahovaná individuálne podľa potreby jednotlivých odberateľov. Ako lokálny zdroj tepla môže byť využívané tepelné čerpadlo voda-voda, ktoré využíva ako nízkopotenciálny zdroj tepla vodu z primárnych rozvodov tepelnej siete.

Inštalácia lokálnych zdrojov tepla môže byť drahšia ako inštalácia centrálnych zdrojov. Zároveň je teplotný spád v sieti pomerne nízky, čo spôsobuje vyššie nároky na čerpaciu prácu čerpadiel a potrebu relatívne väčších svetlostí potrubí. Použitie je vhodné najmä v oblastiach s nižšou tepelnou hustotou a dostupným zdrojom nízkopotenciálneho tepla.

Zásobovanie nízkopotenciálnym teplom a chladom

Koncept pozostáva z kombinovanej dodávky tepla a chladu. Takéto siete sú vhodné najmä v oblastiach, kde je potreba tepla a dostatočná³⁶ potreba chladu. Môže sa teda jednať o kombináciu rôznych kategórií budov ako sú napr. bytové domy a administratívne budovy a pod. V tepelnej sieti je odpadné teplo chladenia využívané na vykurovanie a opačne. Tento synergetický efekt je najvýraznejší, pokiaľ je v tepelnej sieti súčasná potreba tepla a chladu a tepelná sieť pôsobí ako okamžitý zásobník tepla. Pokiaľ táto súdoba nie je dosahovaná, k využitiu odpadného tepla a chladu môže slúžiť sezónna akumulácia napr. vo forme zvodnenej vrstvy.

Konfigurácia týchto systémov môže byť rôzna. Nízkopotenciálne teplo pre účely vykurovania alebo prípravy TV môže byť dodávané v prírodnom potrubí vo forme vlažnej vody a studená voda pre účely chladenia môže byť dodávaná zo spiatočky. Prípadne teplo aj chlad môžu byť dodávané z rovnakého prírodného potrubia.

1.3.2.3 Úzke miesta v primárnych rozvodoch tepla a ich eliminácia

V existujúcich sústavách CZT by mali byť rozvody tepla dimenzované na určitý prietok daný maximálnou možnou dodávkou tepla v špičkovom období. Zvýšenie prietoku vedie k vyšším rýchlostiam, ktoré vplyvom trenia a geometrie rozvodov tepla spôsobujú tlakové straty. V prípade príliš veľkého prietoku vody v potrubí môže nastať až tak vysoká tlaková strata, že to ovplyvní bezpečnú dodávku tepla k určitým odberateľom. Tento jav sa nazýva úzke miesto (z anglického „bottleneck“). V praxi sa s úzkymi miestami stretávame hlavne pri týchto prípadoch³⁷:

- Rozširovanie tepelnej siete (prípadne ďalších odberateľov na existujúce prírodné potrubie),
- Zvyšovanie odberu tepla (najčastejšie pri zmene charakteru odberu tepla, napr. ak sa z administratívnej budovy stane priemyselný objekt s vyššou potrebou tepla),

³⁶Potreba tepla a potreba chladu by mali byť na podobnej úrovni. Vyššia potreba chladu nad potrebou tepla je pre takéto systémy ešte výhodou.

³⁷ Brange, L., Englund, J., Sernhed, K., Thern, M., & Lauenberg, P. (2017). Bottlenecks in district heating systems and how to address them. The 15th International Symposium on District Heating and Cooling (S. 249-259). 10.1016/j.egypro.2017.05.072: Energy Procedia 116 (2017).

- Znižovanie teploty distribuovanej vody.

Znižovanie teplotných pomerov v sieti CZT je základným prvkom transformačného procesu existujúceho systému CZT na nízkoteplotný režim. Je preto potrebné poznať presné úseky, kde úzke miesta vznikajú a zároveň mať pripravené aj riešenia na ich elimináciu.

Experimentálna metóda identifikácie úzkych miest pri transformácii systému CZT na nízkoteplotný systém je vo forme postupného znižovania teploty dodávanej vody v sústave na vopred zanalyzovanú teplotnú úroveň (na základe vyhodnotených podmienok na strane spotreby tepla, viď kapitola 1.3.1) a pozorovanie kvality dodávky tepla u kritických odberateľov. Druhým spôsobom identifikácie je simulácia prostredníctvom vhodného programu (napr. Termis). Pri simulačnej metóde je však potrebné mať dôkladné poznatky o geometrii tepelnej siete. V prípade dostupnosti výpočtového softvéru je vhodné vykonať najskôr simuláciu a následne začať s reálnym znižovaním teplotných parametrov³⁸.

Riešenia na elimináciu vznikajúcich úzkych miest sú viaceré. Niektoré sú založené na dočasnom riešení situácie³⁹:

- krátkodobé zvýšenie teploty prívodu pri špičkových odberoch tepla,
- zvýšenie čerpacej práce obehových čerpadiel (viac čerpadiel, väčšie elektrické príkony).

Dlhodobejšie riešenia sú spravidla kapitálovo náročnejšie, avšak sa prejavujú v znížených prevádzkových nákladoch. Patria sem hlavne⁴⁰:

- zväčšenia priemeru rozvodov tepla (výmenou rozvodov tepla pri rekonštrukcii, resp. doplnením ďalšej trubky pre prívod),
- inštalácia lokálneho doohrevu do kritického odberného miesta (napr. vo forme elektrického doohrevu),
- inštalácia decentralizovaného okamžitého zásobníka tepla do kritického odberného miesta,
- eliminácia nedostatkov v domovej OST (kapitola 1.3.2.8),
- zlepšenie manažmentu na strane spotreby tepla (kapitola 1.3.1.5).

1.3.2.4 Konštrukčno-materiálne typy potrubí

V systémoch CZT sa vyskytujú rôzne typy rozvodov tepla, ktoré sa môžu líšiť materiálom trubiek, izolácie alebo inými vlastnosťami. Voľba typu rozvodov je na realizátorovi projektu a ďalších zúčastnených stranách, pričom by sa pri navrhovaní potrubí mala okrem legislatívnych podmienok brať v úvahu aj technicko-ekonomická rentabilita zvolených typov rozvodov. V praxi sa stretávame hlavne s konštrukčno-materiálovými prevedeniami potrubných systémov, ktoré sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

³⁸ Brange, L., Sernhed, K., & Thern, M. (2019). Decision-making process for addressing bottleneck problems in district heating networks. *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management* Vol. 20 2019 , (S. 37–50). <http://dx.doi.org/10.5278/ijsepm.2019.20.4>.

³⁹ Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

⁴⁰ Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

Tab. 4: Prehľad potrubných systémov

Potrubný systém	Max. prevádzková teplota	Trvalá prevádzková teplota	Nominálny tlak	Nominálna svetlosť DN	Dvojité potrubie po DN	Charakteristika
	°C	°C	bar	-	-	
Predizolované oceľové potrubia	160	do 140	25	20 - 1000	do DN 150	Najvyužívanejší potrubný systém - štandardizácia a robustnosť.
Predizolované flexibilné oceľové potrubia	180	do 160	25	20 - 150	do DN 50	Vyššia cena. Využitie v prípade špeciálnych požiadaviek.
Predizolované flexibilné plastové potrubia	95	80	6	20 - 150	do DN 50	Nižšia náročnosť inštalácie a výsledne nižšia realizačná cena (materiál + realizácia). Limitácia prevádzkového tlaku a teploty.
Flexibilné plastové potrubia	95	30*	6	20 - 150	-	Nízka cena. Limitácia prevádzkového tlaku a teploty.
Plastové potrubia vystužené sklenenými vláknami	160	160	16	25 - 1000	-	Vysoká cena. Využitie v prípade špeciálnych požiadaviek.
Potrubia oplechované a izolované minerálnou vatou na mieste	400	400	do 64	25 - 1200	**	Vysoká cena. Využitie v prípade požiadaviek na vyšší tlak a teplotu.

* Efektívna prevádzková teplota. Pri vyšších teplotách dochádza už k neefektívnym tepelným stratám

**Špeciálne parametre sú dostupné podľa požiadavky

Zdroj: Handbook on Planning of District Heating Networks⁴¹

Nižšie teploty v rozvodoch tepla nízko-teplotných systémov umožňujú použitie potrubí s nižšími nárokmi na prevádzkovú teplotu. Použité môžu byť predizolované flexibilné plastové potrubia, ktorých životnosť je pri prevádzkovej teplote 80 °C a tlaku 6 bar približne 30 rokov. Znížením prevádzkovej teploty pod 70 °C je možné predĺžiť ich životnosť na 50 až 100 rokov, čo výrazne prevyšuje garantovanú životnosť predizolovaných oceľových potrubí (30 rokov). Cena materiálu predizolovaných plastových potrubí je v porovnaní so štandardnými predizolovanými oceľovými potrubiami mierne vyššia, najmä kvôli nerovnomerne vysokému nárastu ceny s narastajúcim priemerom. Avšak výhodnou flexibilných plastových potrubí je ich inštalácia, ktorej časová náročnosť je približne o 80% nižšia oproti použitiu oceľových potrubí, čo sa vo výsledku prejaví nižšou investičnou náročnosťou celkovej realizácie o približne 10 až 20 %.⁴²

Okrem výberu materiálu je dôležité zohľadniť možnosť použitia dvojitého potrubia - trubka prívodu a späť je umiestnená v jednom izolačnom plášti. Hlavné výhody dvojitého potrubia sú:

- Nižšie náklady na inštaláciu potrubí (menšie rozmery výkopov)
- Nižšie tepelné straty
- Približne o 50 % menej potrebných spojov a tesnení

Zníženie tepelných strát môže byť použitím dvojitého potrubia pomerne výrazné. Pri použití dvojitého potrubia u flexibilných plastových predizolovaných potrubí je zníženie tepelnej straty približne o 22 až 30 % oproti klasickému prevedeniu jedného potrubia v izolačnom plášti. Pri použití dvojitého potrubia u oceľových predizolovaných potrubí je zníženie tepelnej straty ešte výraznejšie a to približne o 36 až 38 % oproti klasickému prevedeniu.⁴³

⁴¹ NUSSBAUMER, Thomas, Stefan THALMANN, Andres JENNI a Joachim KÖDEL. Handbook on Planning of District Heating Networks. 2020. ISBN 3-908705-39-8.

⁴² Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

⁴³ Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

1.3.2.5 Vplyv zníženej teploty vody na tepelné straty v rozvodoch

Straty v rozvodoch tepla výrazne ovplyvňujú hospodárnosť systémov CZT. Tepelné straty v rozvodoch závisia od teplotnej úrovne systému CZT, potrubného systému a úrovne tepelnej izolácie (hrúbka, stav a vek). Znížením priemernej teplotnej úrovne (prívod a spiatočka) dochádza aj k zníženiu tepelných strát, keďže prestup tepla medzi trúbkou a okolitým prostredím (napr. zemou pri uložení rozvodov v zemi) je nižší.

Dôležitý parameter pri tepelných stratách je aj teplotný spád rozvodnej siete. Najnižšie tepelné straty sa dosahujú pri najvyšších teplotných spádoch (rozdiel medzi teplotou prívodu a spiatočky), keďže stredná teplota vody je znížená (priemer teploty prívodu a spiatočky).

1.3.2.6 Typ a technická úroveň domových OST

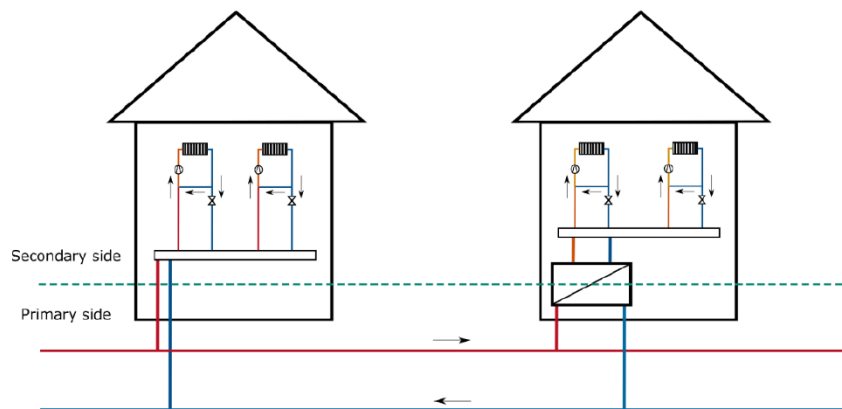
Typická domová OST (OST umiestnená na päte objektu odberateľa, najčastejšie bytového domu) je buď s priamou (tlakovo závislou) alebo nepriamou (tlakovo nezávislou) dodávkou tepla pre účely ÚK. Pri nízkoteplotných systémoch uvažujeme s existenciou len domových OST umiestnených na päte objektu odberateľa. V niektorých systémoch CZT na Slovensku existujú ešte blokové OST, z ktorých vedú štvortrubkové sekundárne rozvody (dodávka a spiatočka ÚK, prívod a cirkulácia TV). Táto forma štvortrubkového usporiadania prakticky nemá uplatnenie v modernejších systémoch CZT a to hlavne kvôli veľkým tepelným stratám pri cirkulácii TV, ktoré limitujú využitie vody o nižšej teplote. Trend postupnej prestavby blokových OST na viacero domových OST je už pomerne dlho aj na Slovensku. Využitie blokovej OST pri nízkoteplotných systémoch je však možné po jej rekonštrukcii pri kaskádnom zapojení (pre vyššie alebo nižšie teplotné úrovne, viď. kapitola 1.3.2.2). V ďalšom texte sa pre účely tejto metodiky budeme venovať len domovým OST, teda takým OST, ktoré sú umiestnené na päte objektov⁴⁴.

Ak je objekt pripojený do systému CZT tlakovo nezávisle, teplo pre ÚK je pripravované v domovej OST cez výmenník tepla. V prípadoch, keď je objekt pripojený do sústavy CZT tlakovo závislým spôsobom, OST nemá inštalovaný výmenník a požadovaná teplota vykurovacej vody je zabezpečovaná vďaka zmiešavaniu vodou zo spiatočky ÚK. TV je v domovej OST pripravovaná buď cez výmenník tepla alebo v zásobníku tepla so špirálovým výmenníkom. Konkrétny návrh domovej OST vykonáva odborne spôsobilá osoba, ktorá by vždy mala zvážiť všetky aspekty konkrétneho odberateľa tepla.

Schematické znázornenie tlakovo závislej a tlakovo nezávislej OST vrátane vymedzenia hranice primárnej a sekundárnej strany je uvedené na nasledujúcom obrázku.

⁴⁴ V prípade bytových domov sa v texte objavuje ešte pojem "flat stations", ktorý charakterizuje špeciálne kompaktné bytové OST (kap. 1.3.2.8).

Obr. 8: Hranica primárnej a sekundárnej strany pri tlakovo závislých OST (vľavo) a tlakovo nezávislých OST (napravo)



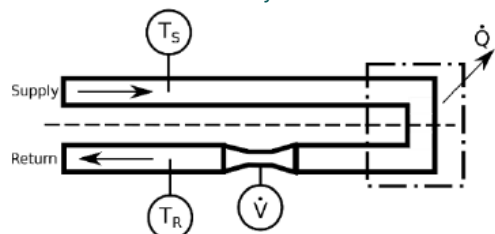
Zdroj: Analysis and Improvement of an Existing University District Energy System ⁴⁵

1.3.2.7 Identifikácia neefektívnych OST

Pre identifikáciu kritických OST, ktorých prevádzka nie je optimálna je potrebná dostatočná digitalizácia. Meranie údajov by malo prebiehať na primárnej strane (pred OST) ale aj na sekundárnej strane (za OST v budove).

Potrebné je meranie nasledovných údajov⁴⁶:

Obr. 9: Schéma merania údajov na OST



- Prietok vykurovacej vody cez OST za meraný časový úsek v m³ (meranie prietokomerom)
- Množstvo odovzdaného/dodaného tepla v OST za meraný časový úsek v kWh (meranie diferenciálnej teploty prívodu a spiatočky)

Zdroj: Analysis and Improvement of an Existing University District Energy System ⁴⁷

Ukazovateľom neefektívnej prevádzky je vysoká teplota spiatočky. Údaje namerané na primárnej strane slúžia na identifikáciu, ktorá OST má najväčší dopad na teplotu spiatočky v primárnych rozvodoch, kým meranie na sekundárnej strane určí problémové miesta vo vykurovacej sústave budovy.

Pre určenie efektívnosti OST je možné použiť analytickú metódu hodnotiacu nadmerný prietok cez OST. Pomocou tejto metódy určíme kritické OST, ktoré navyšujú teplotu spiatočky v primárnych rozvodoch a tým zhoršujú efektívnosť prevádzky CZT.

⁴⁵ OLTMANNS, Johannes Julius. Analysis and Improvement of an Existing University District Energy System. Dizertačná práca. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, 2021.

⁴⁶ NUSSBAUMER, Thomas, Stefan THALMANN, Andres JENNI a Joachim KÖDEL. Handbook on Planning of District Heating Networks. 2020. ISBN 3-908705-39-8.

⁴⁷ OLTMANNS, Johannes Julius. Analysis and Improvement of an Existing University District Energy System. Dizertačná práca. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, 2021.

Postupnosť analýzy nadmerného prietoku a potenciálu redukcie teploty spiatočky je nasledovná⁴⁶:

- 1) Určenie referenčného prietoku cez OST ($V_{OST, REF}$) pri nameranom množstve odovzdaného tepla (ΔQ_{OST}) a referenčnom⁴⁸ teplotnom spáde v primárnych rozvodoch CZT (ΔT_{REF})

$$V_{OST, REF} = \frac{\Delta Q_{OST}}{\rho c_p \Delta T_{REF}}$$

- 2) Určenie nadmerného prietoku cez OST ($V_{OST, NP}$)

$$V_{OST, NP} = V_{OST, merané} - V_{OST, REF}$$

- 3) Určenie vplyvu OST na teplotu spiatočky v primárnych rozvodoch ($\overline{\Delta T}_R$)

$$\overline{\Delta T}_R = \frac{\Delta Q_{CZT}}{\rho c_p} \left(\frac{1}{\Delta V_{CZT, merané}} - \frac{1}{(\Delta V_{CZT, merané} - V_{OST, NP})} \right)$$

Príklad analytického vyhodnotenia nadmerného prietoku cez OST bol vytvorený na fiktívnej sieti a je uvedený v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 5: Vplyv prevádzky jednotlivých OST na teplotu spiatočky primárnych rozvodov tepla vo fiktívnej tepelnej sieti

Číslo OST	Odborný výkon	Dodané teplo	Prietok	Nadmerný prietok	Vplyv na spiatočku	Teplotný spád	Teplota spiatočky
-	kW	MWh/čas. úsek	m ³ /čas. úsek	m ³ /čas. úsek	°C	K	K
OST 1	980	625	42 988	24 701	-5,88	12,76	67,24
OST 2	550	230	12 656	5 926	-1,15	15,95	64,05
OST 3	500	436	14 030	1 266	-0,23	27,29	52,71
OST 4	830	842	24 859	223	-0,04	29,73	50,27
OST 5	60	47	3 456	2 079	-0,39	11,95	68,05
OST 6	48	49	2 442	1 014	-0,19	17,55	62,45
OST 7	60	70	2 526	479	-0,09	24,32	55,68
OST 8	10	10	849	544	-0,10	10,77	69,23
OST 9	50	25	1 754	1 023	-0,19	12,51	67,49
OST 10	20	13	610	229	-0,04	18,73	61,27
Spolu		2 347,52	106 170,00				

Zdroj: vlastné spracovanie

Z analýzy fiktívnej tepelnej siete vyplýva, že najhoršia integrácia do tepelnej siete je pri OST1. Pri projektovanom teplotnom spáde v primárnych rozvodoch $\Delta T = 30$ K je pri OST dosahovaný teplotný spád len 12,76 K. Nedostatočným teplotným spádom v OST a vysokým odberom tepla dochádza k negatívnemu navyšovaniu teploty spiatočky a tým k zníženiu tepelnej kapacity siete, navyšovaniu tepelných strát v rozvodoch a zvyšovaniu nákladov na pohon čerpadiel. Optimalizácia OST1 by mohla priniesť zníženie teploty spiatočky v primárnych rozvodoch o približne 5,88 °C.

Pre určenie príčin neefektívnej prevádzky OST je potrebná kontrola OST a vykurovacích systémov pripojených budov energetickým špecialistom. Energetický špecialista navrhne opatrenia

⁴⁸ Projektovaný teplotný spád v prípade overenia optimálnosti v súčasnom stave. Cieľový teplotný spád v prípade overenia v navrhovanom stave

optimalizácie, prípadne vytvorí technicko-ekonomickú analýzu v rámci ktorej vyhodnotí aj ekonomickú návratnosť jednotlivých opatrení. Typické nedostatky OST a ich riešenia sú popísané v nasledujúcej kapitole.

1.3.2.8 Typické nedostatky OST a ich riešenie

Pre prípadnú transformáciu systému CZT na nízko-teplotný režim je nutné dôkladne zanalyzovať súčasný stav existujúcich domových OST. Na základe publikácie od IEA DHC⁴⁹, v ktorej boli zhrnuté výstupy z vykonaných obhliadok niekoľkých OST vo Švédsku a Dánsku, je vo väčšine prípadov možné znížiť teplotné parametre v OST pomerne rýchlo a lacno a to opravou zle nastavených funkcií technológie v rámci OST a sekundárneho okruhu. Medzi najčastejšie pozorované nedostatky pri spomínanom prieskume patrili:

- Príliš vysoko nastavená teplota vody sekundárneho okruhu (pre vetvu ÚK a aj vetvu TV, riešené v kapitole 1.3.1.5),
- Nesprávne hydraulické vyregulovanie sekundárneho (vykurovacieho) okruhu (riešené v kapitole 1.3.1.5),
- Predimenzované, chýbajúce alebo nesprávne pracujúce regulačné ventily, aktuátory, riadiace jednotky alebo snímače teploty⁵⁰,
- Chybne zvolený typ a veľkosť výmenníka tepla.

Vysoko nastavená teplota vody sekundárneho okruhu

Dominantným problémom pri domových OST bola v spomínanom prieskume od IEA DHC príliš vysoko nastavená teplota vody na vetve ÚK a vetve TV. Nedostatky týkajúce sa sekundárnej strany nie sú vo väčšine prípadov riešiteľné prevádzkovateľom systému CZT, keďže patria pod majetok vlastníkov budovy. Niektoré kroky je však možné vykonať aj úpravou OST, ktorá spravidla patrí prevádzkovateľovi systému CZT. Jedná sa predovšetkým o úpravy spojené s prípravou TV. Pri príprave TV je totiž potrebné zabezpečiť, aby znížením teploty nedošlo k zvýšeniu rizika výskytu baktérie Legionella. Na Slovensku definuje kvalitu dodávky tepla Vyhláška 152/2005 Z. z.⁵¹ Vyhláška striktné neurčuje podmienku minimálneho objemu medzi miestom prípravy TV a výtokom TV, ale definuje len teplotný rozsah TV a to medzi 45°C až 55°C na výtoku u spotrebiteľa. Problematika vysoko nastavenej teploty ÚK je vo veľkej miere závislá na technickom stave vykurovacej sústavy a správaní užívateľov a len minimálne nastavením OST (okrem typu a veľkosti výmenníka tepla, viď nižšie v texte). Z tohto dôvodu je táto problematika riešená v kapitole týkajúcej sa zlepšenia manažmentu na strane spotreby tepla (kap. 1.3.1.5).

V nasledujúcich odsekoch boli stručne vysvetlené najčastejšie príčiny vysokej teploty TV v sekundárnom okruhu a spôsoby zníženia tejto teploty využívané v praxi^{52 53 54}.

⁴⁹ Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021.

⁵⁰ Nutná kontrola a detekcia problému na mieste v OST.

⁵¹ Vyhláška MH SR č. 152/2005 o určenom čase a o určenej kvalite dodávky tepla pre konečného spotrebiteľa.

⁵² LUND, Henrik et al. 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. 2014.

⁵³ Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

⁵⁴ SCHMIDT, Dietrich et al. Low Temperature District Heating for Future Energy Systems. 2017.

Inštalácia inteligentných meračov teploty TV v blízkosti výtoku TV⁵⁵

V mnohých prípadoch je udržiavaná teplota TV na výtoku u odberateľa zbytočne vysoká. Dodávateľia tepla udržiavajú systém pri vyšších teplotách z dôvodu eliminácie potenciálneho rizika vzniku baktérie *Legionella* u spotrebiteľa. Inštaláciou inteligentných meračov teploty TV v blízkosti výtoku a vyhodnotením zozbieraných dát je možné upraviť teploty systému prípravy TV v OST a tak mierne znížiť celkové teplotné pomery v primárnom okruhu CZT (ak to povoľuje teplota ÚK). Opatrenie si však vyžaduje komunikáciu s vlastníckmi objektov (napr. prostredníctvom správcu objektu), keďže meranie by bolo inštalované na vetve TV v sekundárnom okruhu.

Eliminácia nedostatkov a tepelných strát pri cirkulácii TV⁵⁶

Cirkulácia TV je potrebná na zabezpečenie správnej teploty TV na výtoku u odberateľa. Častá cirkulácia TV v sekundárnom okruhu spravidla znamená potrebu vyššej teploty prívodu do OST z primárneho okruhu. Je preto vhodné zanalyzovať (napr. meraním), či nie je možné znížiť teplotu cirkulácie TV (pri zachovaní bezpečnej teploty podľa Vyhlášky 152/2005 Z. z.). V mnohých prípadoch je cirkulačná teplota TV nastavená zbytočne vysoko a je možné ju mierne znížiť, pričom dôjde len k minimálnemu zvýšeniu doby čakania na požadovanú teplotu TV na výtok. Dopomôcť môže aj odstránenie cirkulačných potrubí TV z miest, kde to nie je potrebné (napr. menej využívané priestory v administratívnych budovách a pod.). Dôležité je tiež skontrolovať a po prípade doplniť tepelnú izoláciu na rozvody TV (prívod a cirkulácia) a to aj v interiérových priestoroch (zbytočné vykurovanie vnútorných priestorov mimo vykurovaciu sezónu). Toto opatrenie je prakticky len v kompetencii vlastníkov budovy (resp. správcu budovy), keďže meranie by bolo inštalované na vetve TV v sekundárnom okruhu. V rámci riešenia týchto nedostatkov uvažujeme s existenciou kompaktnej domovej OST. V prípade klasických štvortrubkových rozvodov tepla (bloková OST) je potrebné najskôr zabezpečiť inštaláciu domovej OST.

Zníženie prietoku prívodu z primárneho okruhu systému CZT do zásobníka TV v OST⁵⁷

V prípadoch, keď je TV pripravovaná pomocou domového zásobníka TV v OST, sa často stretávame s príliš vysokou teplotou spiatocky na primárnom okruhu, ktorá tak zvyšuje celkové teplotné pomery obehovej vody v systéme CZT. Problém je väčšinou v nastavení príliš veľkých prietokov vody pri nabíjaní zásobníkov TV z primárnej strany. Inštaláciou menšieho regulačného ventilu na strane prívodu vody z primárneho okruhu CZT do zásobníka TV zmenšíme prietok, čím zabránime prebytočnému prehrievaniu zásobníka a znížime teplotu spiatocky primárneho okruhu. Je ale nutné podotknúť, že toto opatrenie predĺži čas ohrevu TV v zásobníku, čo môže spôsobiť mierne dlhšiu dobu prípravy TV a spôsobiť nespokojnosť niektorých užívateľov. V praxi sa začínajú využívať moderné regulátory, ktoré pomocou nastavených programov na základe historických dát odberu TV vedia dať dopredu signál do aktuátora regulačného ventilu na primárnej strane (napr. počas ranný špičiek odberu TV).

⁵⁵ Best, I., Braas, H., Orozaliev, J., Jordan, U., & Vajen, K. (2020). Systematic investigation of building energy efficiency standard and hot water preparation systems' influence on the heat load profile of districts. *Energy*, 197, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117169>

⁵⁶ Best, I., Braas, H., Orozaliev, J., Jordan, U., & Vajen, K. (2020). Systematic investigation of building energy efficiency standard and hot water preparation systems' influence on the heat load profile of districts. *Energy*, 197, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117169>

⁵⁷ Huang, T., Yang, X., & Svendsen, S. (2019). Multi-mode control method for the existing domestic hot water storage tanks with district heating supply.

Inštalácia zariadenia na dezinfekciu TV⁵⁸

Výskyt baktérie Legionella v TV sa dá eliminovať aj dezinfekciou. Ak neberieme v úvahu klasickú termickú dezinfekciu (ohriatie celého objemu TV nad úroveň aspoň 60 °C), ďalšími častými chemickými dezinfekciami sú metódy založené na báze elektrolyzy slanej vody alebo ultrafialového žiarenia. V prípade aplikácie takýchto spôsobov úpravy TV je možné uvažovať so značným znížením teploty TV na výtok u odberateľa (dodržiujúc spodnú teplotnú hranicu podľa vyhlášky 152/2005 Z. z.).

Inštalácia decentralizovaného ohrevu TV⁵⁹

Pri nízkoteplotných systémoch v zahraničí sa často využíva doohrev TV v blízkosti výtok u spotrebiteľa pomocou elektrických prietokových ohrievačov alebo malých TČ (tzv. booster). Teplotné pomery v OST tak môžu byť citeľne znížené (ak to povoľuje sekundárna strana ÚK), čo umožní zníženie teplôt aj na primárnom okruhu systému CZT. Takýto spôsob ohrevu je však kapitálový a aj prevádzkovo náročnejší pre spotrebiteľa (inštalácia ďalšieho zariadenia v sekundárnom okruhu a spotreba elektriny).

Inštalácia decentralizovaných OST do obytných (bytových) jednotiek⁵⁹

Inštalácia tzv. flat stations⁶⁰, teda kompaktných decentralizovaných OST umiestnených v blízkosti výtok u TV (na hranici bytovej jednotky), je účinným spôsobom eliminácie výskytu baktérie Legionella formou minimalizácie objemu TV (objem prírodnej trubky od výmenníka tepla po výtok by mal byť do 3 litrov vody). Nevýhodou tohto spôsobu prípravy TV je pomerne komplikovaná inštalácia takéhoto spôsobu pre existujúce bytové domy (nedostatok miesta) a s tým spojené kapitálové náklady. Aj z tohto dôvodu sa ich aplikácia využíva najčastejšie pri novostavbách (napr. projekt Eurovea Tower Residences⁶¹ v Bratislave), kde je s takýmto spôsobom prípravy TV uvažované už v projektovej fáze. V prípade hĺbkovej rekonštrukcie domovej alebo blokovej OST je však vhodné tento spôsob prípravy TV zvážiť. Opäť je ale potrebná komunikácia medzi prevádzkovateľom systému CZT a vlastníckmi budovy (správcom).

Typ a veľkosť výmenníka tepla v OST

Tlakovo nezávislá domová OST má inštalované výmenníky tepla na vetve ÚK a v prípade, že je požiadavka na prípravu TV prietokovo, tak aj na vetve TV. Vzhľadom k tomu, že teplotným médium je na oboch stranách voda, u ktorej sa očakávajú na oboch stranách podobné teplotné spády, najvýhodnejším typom výmenníka tepla pre tento druh inštalácií je spájkovaný doskový výmenník.

Nízkoteplotné systémy vyžadujú maximálne priblíženie teplôt vody na primárnej strane (vstup a výstup z výmenníka) s teplotami vody na sekundárnej strane. Z technického hľadiska je preto potrebné zanalyzovať schopnosť existujúceho výmenníka tepla zabezpečiť takúto teplotnú priblíženosť.

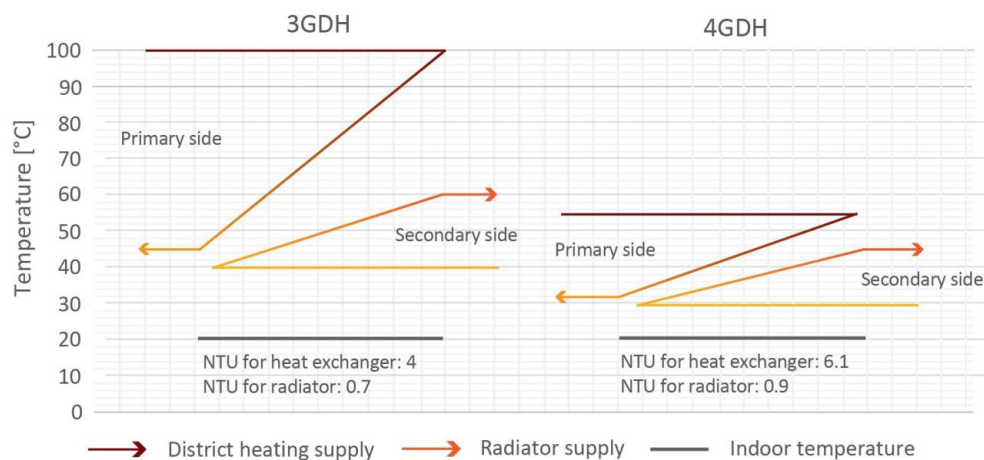
⁵⁸ Benakopoulos, T., Tunzi, M., Salenbien, R., Vanhoudt, D., & Svendsen, S. (2021). Low return temperature from domestic hot-water system based on instantaneous heat exchanger with chemical-based disinfection solution. V Energy (Roč. 215, s. 119211). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119211>

⁵⁹ Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

⁶⁰ Z anglického výrazu „flat stations“. V slovenčine by malo ísť o tzv. bytové OST, avšak mnoho výrobcov a dodávateľov OST používa termín bytová OST pre OST umiestnenú na päte objektu bytového domu a nie na hranici bytovej jednotky.

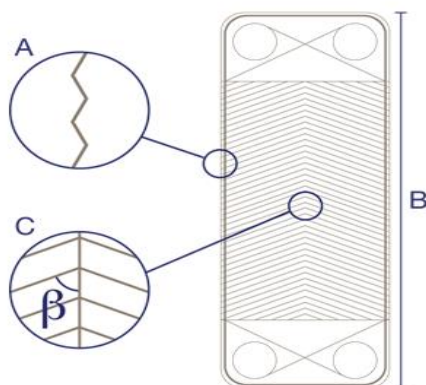
⁶¹ https://euroveatower.sk/sites/default/files/2019-10/Eurovea_Tower_Standard_bytu_Rezidencie.pdf

Obr. 10: Porovnanie teplotných pomerov vo výmenníku tepla na vetve ÚK a v radiátoroch



Zdroj: Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook⁶²

Obr. 11: Geometria dosky výmenníka tepla s vysokou termickou dĺžkou



Zdroj: www.alfalaval.sk⁶⁵

V prípade, že existujúci výmenník tepla nie je schopný zabezpečiť prevádzku nízko teplotného systému, je potrebné domovú OST rekonštruovať. Výmenník tepla by mal byť vymenený za taký, ktorý bude mať **vyššiu termickú dĺžku**⁶³ pre primárnu aj sekundárnu stranu. Vo všeobecnosti platí, že výmenník tepla s vysokou termickou dĺžkou má dosky s nasledujúcimi technickými parametrami:^{64, 65}

- tupšie uhly šípovitosti dosiek,
- menšiu hĺbku prelisu dosiek,
- dlhšie dosky.

V prípade, že požadovaná termická dĺžka nie je z technických dôvodov dosiahnuteľná len voľbou geometrie použitých dosiek vo výmenníku tepla, je vhodné uvažovať s viacpriechodovými⁶⁶ prevedeniami výmenníka, prípadne so zapojením viacerých výmenníkov za sebou. Finálne slovo pri voľbe typu výmenníka tepla musí mať projektant OST, respektíve dodávateľ výmenníkov tepla, ktorý požadovaný proces prenosu tepla dôkladne prepočíta. Zároveň je nutné posúdiť vplyv a vhodnosť nového výmenníka tepla na ostatné zariadenia OST.

⁶² Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

⁶³ Termická dĺžka výmenníka tepla je odborný pojem, ktorý vyjadruje termickú náročnosť prenosu tepla medzi primárnym a sekundárnym médiom z hľadiska priblíženia sa teplôt. Čím je proces náročnejší, tým je požadovaná termická dĺžka výmenníka tepla vyššia. V praxi sa na vyjadrenie termickej dĺžky používa aj hodnota NTU (Number of Transfer Unit).

⁶⁴ <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/1.-basic-heat-transfer/as1/>

⁶⁵ <https://www.alfalaval.sk/info/slovakia/teoria-prenosu-tepla/>

⁶⁶ Z anglického výrazu „multi-pass“.

Výmenníky tepla dosahujúce vyššie termické dĺžky majú spravidla vyšší turbulentný režim prúdenia vody, čo sa prejaví na zvýšenej tlakovej strate pri prechode vody cez výmenník, ktorá znamená vyššiu potrebu elektrickej energie pre obehové čerpadlá (prípadne potrebu inštalácie väčších čerpadiel a to ako na primárnej, tak aj sekundárnej strane). Predimenzovanie veľkosti čerpadiel na sekundárnej strane však môže spôsobiť aj opačný efekt a síce vyššiu teplotu spiatočky z radiátorov. Pri návrhu obehových čerpadiel pre OST je preto potrebné postupovať dôkladne s prihliadnutím na všetky možné prevádzkové stavy a to na ako na primárnej strane (prevádzkovateľ CZT) tak aj na sekundárnom okruhu (vlastníci, resp. správca budovy).

1.3.3 Zdroje tepla

V nasledujúcich podkapitolách je uvedený postup dimenzovania zdrojov tepla vrátane možnej integrácie obnoviteľných zdrojov.

1.3.3.1 Stanovenie maximálneho tepelného výkonu

Celkový tepelný výkon zdrojov tepla v teplárenskej sieti musí pokryť maximálny potrebný tepelný výkon. Pre stanovenie potrebného tepelného výkonu je nevyhnutné stanovenie potreby tepla pripojených objektov a následné stanovenie tepelného výkonu celej teplárenskej siete. Podobne ako pri dimenzovaní tepelného zdroja budovy, aj pri dimenzovaní tepelných zdrojov v teplárenskom systéme sa dimenzuje maximálny tepelný výkon podľa oblasti v ktorej sa systém nachádza. Hodnoty maximálneho tepelného výkonu môžu byť vypočítané pri vonkajšej výpočtovej teplote $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Keďže odberové špičky všetkých budov v tepelnej sieti sa nevyskytujú v rovnakom čase, maximálny tepelný výkon teplárenského systému je nižší ako súčet maximálnych tepelných výkonov jednotlivých objektov. Rozdielnosť odberu tepla jednotlivých objektov zohľadňuje faktor diverzity (súdobosť). Faktor diverzity má typické hodnoty v rozmedzí 0,5 – 1. Čím viac objektov je pripojených do teplárenského systému, tým je faktor diverzity nižší.⁶⁷

$$DF = \frac{\sum_{i=1}^m P_i(t_{max})}{\sum_{i=1}^m P_{N,i}}$$

Kde:

$P_i(t_{max})$ – je tepelný výkon objektu pripojeného teplárenskej sústavy v čase odberovej špičky

$P_{N,i}$ – je maximálny potrebný tepelný výkon objektu

Pokiaľ zjednodušene uvažujeme v teplárenskej sieti rovnakú kategóriu budov (prevažne rezidenčné budovy napr. bytové domy), tak je možné faktor diverzity určiť podľa nasledovného vzorca:⁶⁷

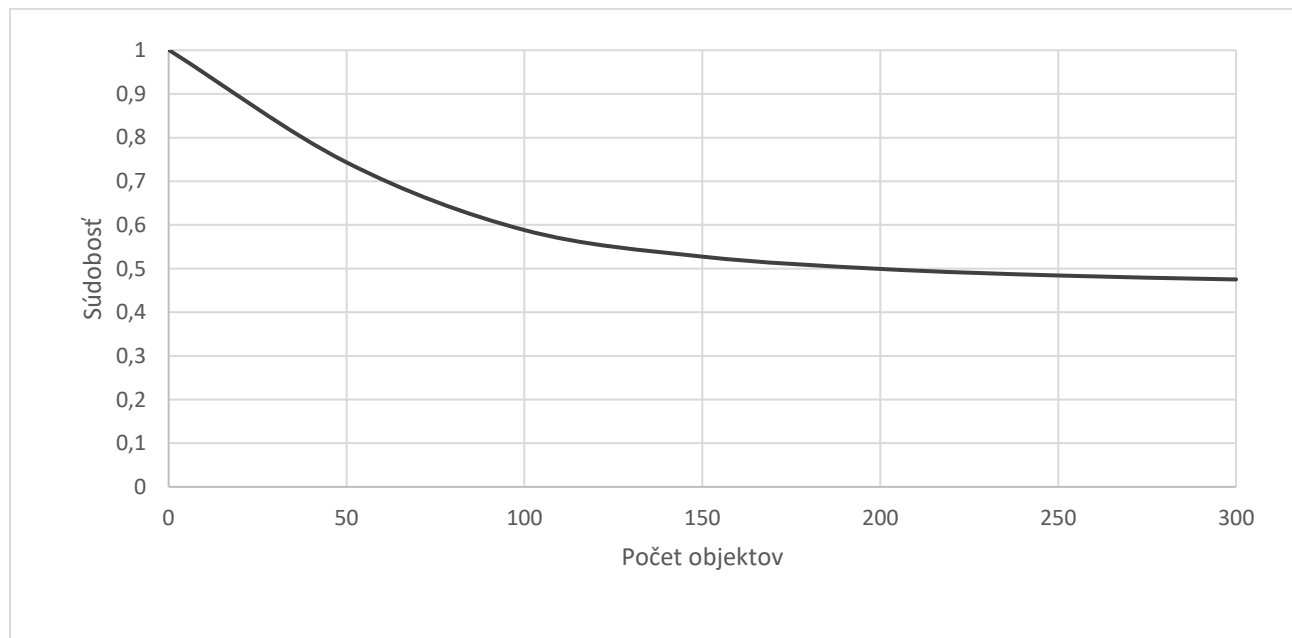
$$DF = a + \frac{b}{1 + (\frac{n}{c})^d}$$

Kde: n- počet pripojených objektov; a,b,c,d – konštanty výpočtového vzorca

⁶⁷ Winter, W., T. Haslauer & I. Obernberger (2001): „Untersuchungen der Gleichzeitigkeit in kleinen und mittleren Nahwärmenetzen“. Euroheat & Power, Bd. 09&10/2001: S. 1-17

Závislosť súdobosti odberu tepla a počtu pripojených budov je uvedená v nasledujúcom grafe.

Graf 2: Súdobosť odberu tepla pri rôznom počte objektov v teplárenskom systéme



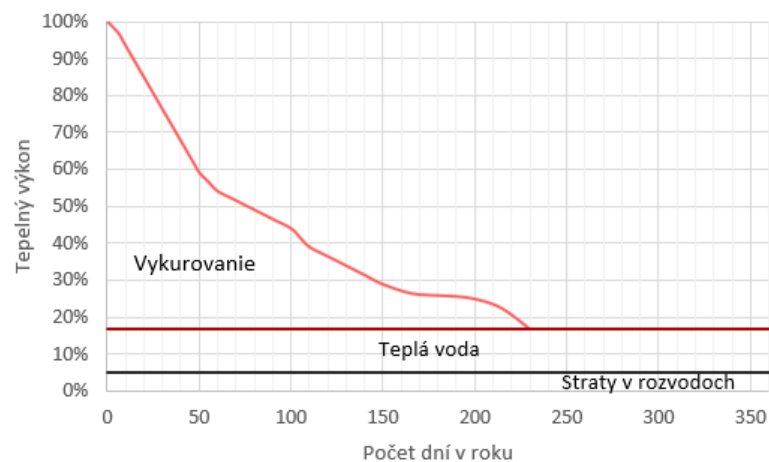
Zdroj: spracované na základe údajov zo štúdie - Untersuchungen der Gleichzeitigkeit in kleinen und mittleren Nahwärmenetzen ⁶⁸

1.3.3.2 Zostavenie ročného diagramu trvania potreby tepla a zjednodušené ukazovatele teplárenských sústav

Ďalším krokom po stanovení maximálneho tepelného výkonu je zostavenie **ročného diagramu trvania potreby tepla**. Diagram je možné zostaviť na základe výpočtov, meraní, alebo vzorových kriviek obdobných systémov CZT.

⁶⁸ Winter, W., T. Haslauer & I. Obernberger (2001): „Untersuchungen der Gleichzeitigkeit in kleinen und mittleren Nahwärmenetzen“. Euroheat & Power, Bd. 09&10/2001: S. 1-17

Graf 3: Príklad ročného diagramu trvania potreby tepla v teplárenskom systéme



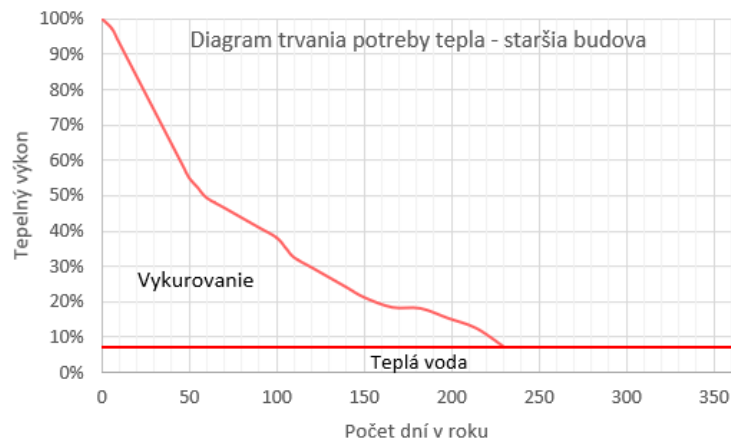
Zdroj: vlastné spracovanie

Pri zostavení ročného odberného diagramu je možné použiť nasledovné zjednodušenia:

- Tepelné straty v rozvodoch tepla sú konštantné počas celého roka
- Potreba tepla na prípravu TV je konštantná v priebehu roka
- Potrebný tepelný výkon pri návrhu nových sústav závisí od vonkajšej teploty (nie sú zohľadnené vnútorné a solárne zisky). Pri vyhodnotení existujúcich sústav sa vychádza z nameraných údajov, ktoré súvisia s reálnou spotrebou tepla.

Charakter odberu tepla v teplárenských systémoch je závislý od potreby tepla objektov a úrovne ich tepelnej ochrany. Zlepšovaním tepelnotechnických vlastností budov dochádza k znižovaniu odberu tepla na vykurovanie, pričom odber tepla na prípravu TV ostáva obdobný. Príklad porovnania ročného diagramu trvania potreby tepla bytového domu a novej budovy postavenej po roku 2021 je zobrazený na nasledujúcich grafoch.

Graf 4: Ročný diagramu trvania potreby tepla staršieho bytového domu

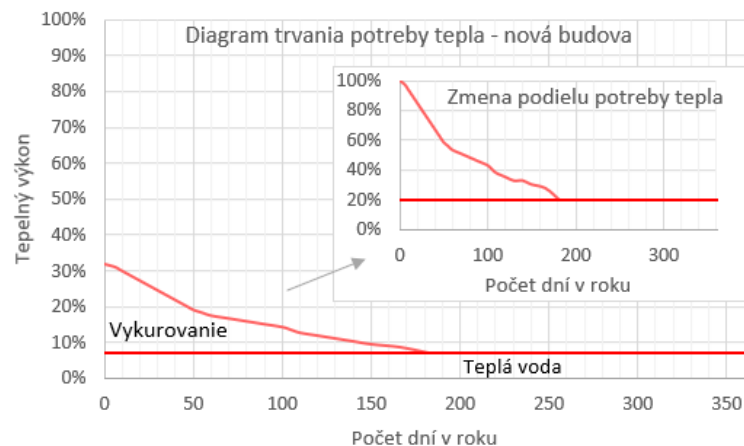


Zdroj: vlastné spracovanie

Maximálny tepelný výkon je dimenzovaný podľa oblasti v ktorej sa budova nachádza. Hodnoty maximálneho tepelného výkonu môžu byť vypočítané pri vonkajšej výpočtovej teplote $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Doba potreby vykurovania trvá približne 220 dní v závislosti od lokality.

Tepelný výkon na prípravu TV u starších budov predstavuje približne 7% z celkového tepelného výkonu, pričom ročná potreba tepla predstavuje pod 10% z celkovej ročnej potreby tepla budovy. Celková potreba tepla predstavuje do $310\text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$.

Graf 5: Ročný diagramu trvania potreby tepla bytového domu obnoveného alebo postaveného po roku 2021



Zdroj: vlastné spracovanie

Komplexnou obnovou budovy výrazne poklesne potreba tepla na vykurovanie aj potrebný tepelný výkon v najchladnejších dňoch. Potrebná vykurovacía sezóna pre nové budovy a budovy v energetickej triede A0 sa skráti približne o 50 dní. Celková potreba tepla nových budov je výrazne nižšia a klesá z hodnoty $310\text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$ na úroveň približne $40\text{ kWh/m}^2\cdot\text{rok}$. To isté platí aj pre potrebný tepelný výkon, ktorý je pre nové budovy nižší o približne 70%.

Okrem zníženia celkovej potreby tepla sa mení aj podiel spotreby tepla. Tepelný výkon na prípravu TV v starších budovách predstavoval asi 7%, v novších budovách tvorí iba asi 20% z celkového tepelného výkonu. Podiel ročnej potreby tepla na prípravu TV narastá u nových budov z 10% (staršie budovy) na 50% (nové a komplexne obnovené budovy).

Tab. 6: Príklad energetických ukazovateľov bytových domov s rôznym obdobím výstavby alebo komplexnej obnovy

Obdobie výstavby alebo komplexnej obnovy		Pred 1984	1984 - 1992	1993 - 1996	1997 - 2012	2013 - 2015	2016 - 2021	po 2021
Tepelné straty	W/m ²	120	110	90	70	50	40	20
Ročná potreba tepla	kWh/m ²	290	250	190	125	85	60	20
Orientačná doba využitia maximálneho výkonu	hod./rok	2500	2300	2200	1800	1700	1500	1000
Príprava TV	W/m ²	5	5	5	5	5	5	5
Ročná potreba tepla	kWh/m ²	20	20	20	20	20	20	20
Doba využitia maxima TV	hod./rok	4000	4000	4000	4000	4000	4000	4000
Podiel tepelného výkonu na vykurovanie		96%	96%	95%	93%	91%	89%	80%
Podiel ročnej potreby tepla na vykurovanie		94%	93%	90%	86%	81%	75%	50%
Podiel tepelného výkonu na prípravu TV		4%	4%	5%	7%	9%	11%	20%
Podiel ročnej potreby tepla na prípravu TV		6%	7%	10%	14%	19%	25%	50%

Zdroje: spracované na základe údajov - Handbook on Planning of District Heating Networks ⁶⁹; Metodika na stanovenie potreby energie a potenciálu energetických úspor v sektore budov ⁷⁰

Pre dimenzovanie teplárenských sústav a zdrojov tepla je nevyhnutné brať v úvahu súčasný stav budov a potenciál komplexnej obnovy. Kvôli komplexnej obnove budov dochádza k zníženiu odberu tepla na vykurovanie, čo spôsobuje výrazne zníženie predaja tepla zákazníkom, navýšenie strát v rozvodoch tepla a ďalšie negatívne faktory vplývajúce na teplárenskú sústavu. Výhodnou zmenou charakteru odberu nových a komplexne obnovených budov je vyšší podiel potreby tepla v letnom období s dostupnejším využitím obnoviteľných zdrojov energie, čo dvíha konkurencieschopnosť teplárenských sústav. Rozmedzie hodnôt typických ukazovateľov teplárenských sústav, ktoré je možné použiť pri dimenzovaní zdrojov tepla je nasledovné: ⁶⁹

⁶⁹ NUSSBAUMER, Thomas, Stefan THALMANN, Andres JENNI a Joachim KÖDEL. Handbook on Planning of District Heating Networks. 2020. ISBN 3-908705-39-8.

⁷⁰ BENDŽALOVÁ, Jana a Daniela MUŠKÁTOVÁ. Metodika na stanovenie potreby energie a potenciálu energetických úspor v sektore budov: Metodický postup pre tvorbu regionálnych nízkouhlíkových stratégií. 2020. Dostupné z: https://energoportal.org/images/dokumenty/Vystupy_EVS/Metodika_budovy_web.pdf

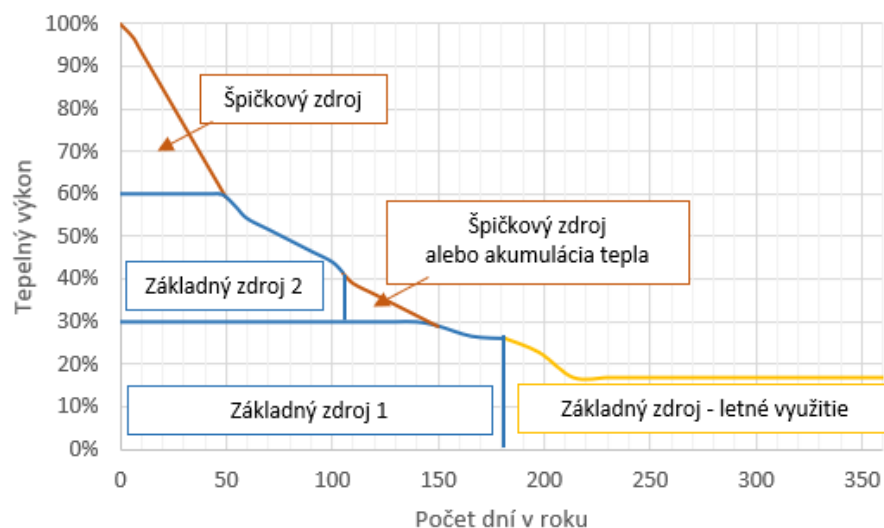
Tab. 7: Typické hodnoty ukazovateľov teplárenských sústav

	Potrebný tepelný výkon	Ročná potreba tepla
Vykurovanie	75-89%	40 - 80%
Príprava TV	6-20%	10-50%
Straty v rozvodoch tepla	5%	10%

Zdroj: spracované na základe údajov - Handbook on Planning of District Heating Networks ⁶⁹

1.3.3.3 Analýza dostupnosti a použiteľnosti zdrojov tepla

Pri dimenzovaní zdrojov tepla je potrebné rozhodnúť akú funkciu z pohľadu ročnej potreby tepla budú jednotlivé zdroje plniť, aký je potenciál zdrojov tepla v lokalite a aká má byť ich komplexnosť. Dimenzovanie zdrojov tepla vychádza z ročnej krivky trvania potreby tepla. Plocha pod krivkou predstavuje množstvo potrebnej dodávky tepla, kým samotná krivka predstavuje potrebný tepelný výkon. Dodávku tepla rozlišujeme základnú a špičkovú. Základná dodávka tepla je charakteristická vysokým počtom prevádzkových hodín a špičková dodávka tepla zase vyšším tepelným výkonom za kratší čas. Príklady dimenzovania zdrojov tepla sú uvedené v nasledujúcich grafoch.



Základný zdroj tepla:

odpadné teplo, geotermálna energia, kogenerácia, biomasový kotol, tepelné čerpadlá

Základný zdroj tepla – letné využitie:

solárne systémy s okamžitou alebo sezónnou akumuláciou

Špičkový zdroj tepla:

kotly na zemný plyn, elektrokotly, biomasový kotol

Zdroj: vlastné spracovanie

Základný zdroj

Základný zdroj tepla je zvyčajne dimenzovaný v rozsahu 10 – 60 % z maximálneho tepelného výkonu a pokrýva 50 – 90 % ročnej potreby tepla. V prípade väčších tepelných celkov môže byť základný zdroj tepla modulárny. Najmä v prípade spaľovacích zariadení môže byť však rozsah zaťaženia zariadenia technicky, ale aj ekonomicky obmedzený, čo je možné riešiť okamžitými zásobníkmi tepla a prevádzkou zariadenia v technicky aj ekonomicky vhodných výkonových hodnotách. Príkladom takéhoto zariadenia môže byť biomasový kotol.

Základný zdroj – letné využitie

Základný zdroj môže byť využívaný celoročne, avšak niektoré technológie je možné využívať prevažne len v letných mesiacoch. Jedná sa hlavne o solárne systémy, ktoré môžu byť dimenzované na pokrytie letnej potreby tepla. Pri použití okamžitej akumulácie je možné dosiahnuť približne 20 % pokrytia ročnej potreby tepla. Pre vyššie pokrytie je zvyčajne potrebná sezónna akumulácia. Taktiež sa môže jednať v letnom období o paralelný chod základného zdroja s celoročným využitím a solárneho systému, pokiaľ nie je v lokalite dostupná dostatočná plocha pre pokrytie letnej potreby tepla výlučne solárnou energiou. Pri dimenzovaní solárnych systémov je potrebné zohľadniť dostupnú plochu pre solárne systémy a samotnú akumuláciu. Bližšie údaje sú uvedené v kapitole 1.3.3.4

Špičkový zdroj

Jedná sa o flexibilné zdroje tepla, ktoré vedia pružne reagovať na zvýšený tepelný výkon. Vzhľadom k tomu, že je doba využitia špičkových zdrojov v priebehu roka nízka, preferujú sa zdroje s nižšími investičnými nákladmi, avšak sú zvyčajne prevádzkovo neefektívne (kotly na fosilné palivá, prípadne elektrokotly). Vzhľadom k dekarbonizácii teplárenstva je v súčasnej dobe snaha znižovať pokrytie tepla týmito zdrojmi aspoň pod 20 %.

Tab. 8: Typické ukazovatele zdrojov tepla podľa účelu využitia

Typ zdroja tepla	Dimenzovaný výkon [%]	Ročné pokrytie potreby tepla [%]
Základný zdroj - celoročný	10 – 30	40 - 70
Základný zdroj - modulárny	10 – 60	50 - 90
Základný zdroj – letné využitie	10 – 20	do 30
Špičkový zdroj	40 - 100	10 - 20

Zdroj: spracované na základe údajov - Handbook on Planning of District Heating Networks⁷¹

⁷¹ NUSSBAUMER, Thomas, Stefan THALMANN, Andres JENNI a Joachim KÖDEL. Handbook on Planning of District Heating Networks. 2020. ISBN 3-908705-39-8.

1.3.3.4 Termické kolektory a okamžitá/sezónna akumulácia

Množstvo tepla, ktoré je možné využiť z termických kolektorov významne súvisí s teplotou, ktorú v tepelnom systéme využívame. Čím nižšia je priemerná teplota teplonosnej látky v kolektore, tým nižšie sú tepelné straty a tým väčšie množstvo využiteľného tepla. Účinnosť termických kolektorov je možné určiť z parametrov kolektora (η_0 , a_1 , a_2), ktoré sú pre kolektory určované na základe experimentálnej skúšky v súlade s STN EN 12975. V závislosti od výstupnej teploty vyberáme aj vhodný typ termických kolektorov. Vákuové kolektory vykazujú oproti plochým kolektorom vyššiu účinnosť pri vyšších výstupných teplotách, ale kvôli lepšej cenovej dostupnosti a jednoduchšej údržbe sú častejšie využívané ploché kolektory.

$$\eta_c = \eta_0 - \frac{a_1 \cdot (T_m - T_a)}{G} - \frac{a_2 \cdot (T_m - T_a)^2}{G}$$

Kde:

η_c	Účinnosť kolektora	(-)
η_0	Optická účinnosť ⁷²	(-)
a_1	lineárny súčiniteľ tepelnej straty kolektora	W/(m ² ·K)
a_2	kvadratický súčiniteľ tepelnej straty kolektora	W/(m ² ·K ²)
G	Globálne žiarenia na plochu kolektora	W/m ²
T_m	Stredná teplota teplonosnej kvapaliny kolektora	°C
T_a	Teplota okolia	°C

Typické hodnoty súčiniteľov k výpočtu účinnosti pre najpoužívanéjšie typy termických kolektorov sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 9: Typické hodnoty parametrov termických kolektorov k výpočtu účinnosti

Typ kolektora	η_0 (-)	a_1 (W/(m ² ·K))	a_2 (W/(m ² ·K ²))
Plochý termický kolektor (FPC)	0,80	3,0	0,008
Vákuový termický kolektor (ETC)	0,75	1,0	0,005

Zdroj: Solar District Heating Guidelines: Collection of Fact Sheets WP3–D3.1 & D3.2⁷³

Kvôli častejšej aplikácii v praxi boli podrobnejšie skúmané ploché termické kolektory, ku ktorým bol určený aj rozsah očakávanej produkcie pri rôznych teplotách výstupu zo solárneho systému. Výpočet prebehol hodinovou metódou na základe meteorologických údajov z databázy SARAH II pre rôzne lokality Slovenska.⁷⁴ Azimut termických panelov bol volený 180° a sklon 30 °. Typické hodnoty produkcie tepla, aké je možné očakávať na m² plochy termických kolektorov na území SR pri rôznych výstupných teplotách zo solárneho systému sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

⁷² dosiahnuteľná bez tepelných strát

⁷³ Solar District Heating Guidelines: Collection of Fact Sheets WP3–D3.1 & D3.2; Technical Report August; Steinbeis Research Institute for Solar and Sustainable Thermal Energy Systems: Stuttgart, Germany, 2012.

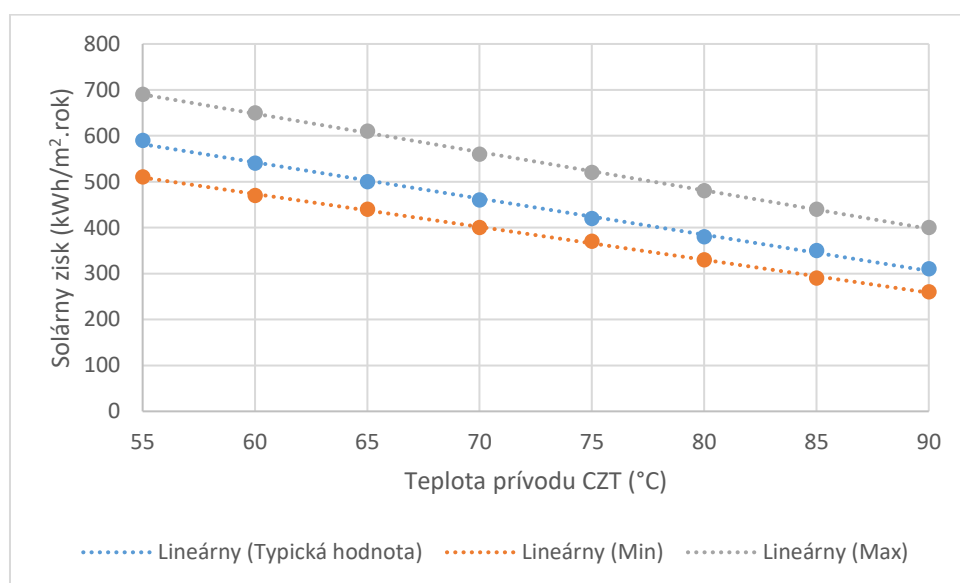
⁷⁴ Výpočet bol realizovaný pre 3 lokality Slovenska - Nitra, Partizánske a Námestovo

Tab. 10: Typické hodnoty produkcie tepla z termických kolektorov na m² solárnej plochy na území SR

Teplota prívodu CZT (°C)	55	60	65	70	75	80	85	90
Typická hodnota solárneho zisku (kWh/m ² .rok)	590	540	500	460	420	380	350	310
Rozsah od – do (kWh/m ² .rok)	510 - 690	470 - 650	440 - 610	400 - 560	370 - 520	330 - 480	290 - 440	260 - 400

Zdroj: vlastné spracovanie

Graf 6: Typické hodnoty produkcie tepla z termických kolektorov na m² solárnej plochy na území SR



Zdroj: vlastné spracovanie

Z produkovaného tepla termických kolektorov je možné učiť spotrebu elektriny čerpadiel pre pohon teplotnosnej kvapaliny. Pri produkcii 100 kWh tepla je spotreba elektriny čerpadiel na úrovni približne 1,5 kWh (1,5%). Pri dimenzovaní solárneho systému je potrebné na 1 m² plochy solárneho kolektora umiestneného na teréne uvažovať 3-4 m² plochy terénu.

Okamžitá/sezónna akumulácia

Základnou úlohou akumulácie je prekonanie nesúladu medzi výrobou a odberom tepla, prípadne znižovanie potrebného výkonu pri odberných špičkách. Dimenzovanie a voľba typu zásobníka tepla závisí najmä od doby akumulácie a množstva tepla, ktoré chceme uskladniť. Základné typy okamžitej a sezónnej akumulácie, ako aj parametre aplikovateľné pre vyčíslenie solárnej sústavy v teplotnom systéme sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 11: Vybrané benchmarky pre dimenzovanie solárnych sústav v teplárenskom systéme

	Oceľový zásobník TTES tlakový	Oceľový zásobník TTES	Jamový zásobník PTES;WGTES	Horninový zásobník BTES	Zvodnená vrstva LT ATES
Typické objemy (tis. m ³ _{H₂O} ekviv)	5*10 ⁻⁴ – 0,5	0,5 - 50	1 - 200	5 - 100	rôzne
Akumulačná látka	voda	voda	voda; štrk/voda	hornina	zvodnená hornina/voda
Ekvivalent akumulácie k 1m ³ vody	1 m ³	1 m ³	1 m ³ 1,3 - 2 m ³	3 - 5 m ³	2 - 3 m ³
Tepelná kapacita (kWh/m ³)	60 - 80	60-80	60-80; 30-50	15 - 30	30 - 40
Teplotný limit	< 95 °C	< 95 °C	< 90 °C	< 85 °C	< 25 °C
Účinnosť akumulácie	≈ 95 %	≈ 90 %	60 - 80 %	40 – 60 %	≈ 80 %

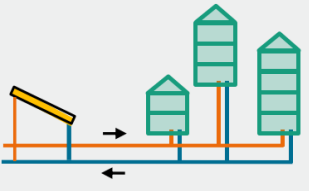
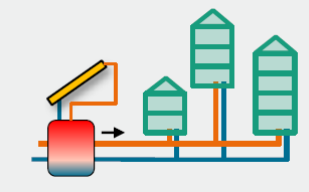
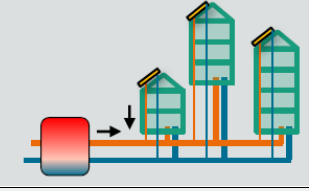
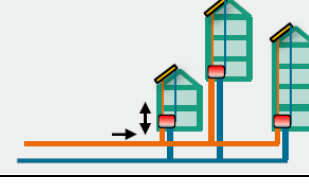
Zdroje: IEA SHC Task52 - Deliverable C1: Classification and benchmarking of solar thermal systems in urban environments ⁷⁵; Solar District Heating Guidelines: Collection of Fact Sheets WP3–D3.1 & D3.2 ⁷⁶; Performance comparison of two water pit thermal energy storage (PTES) systems using energy, exergy, and stratification indicators ⁷⁷

⁷⁵ Mauthner, F., & Herkel, S. (2017). IEA SHC Task52 - Deliverable C1: Classification and benchmarking of solar thermal systems in urban environments. Unpublished. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31437.28648>

⁷⁶ Solar District Heating Guidelines: Collection of Fact Sheets WP3–D3.1 & D3.2; Technical Report August; Steinbeis Research Institute for Solar and Sustainable Thermal Energy Systems: Stuttgart, Germany, 2012.

⁷⁷ Sifnaios, I., Jensen, A. R., Furbo, S., & Fan, J. (2022). Performance comparison of two water pit thermal energy storage (PTES) systems using energy, exergy, and stratification indicators. V Journal of Energy Storage (Roč. 52, s. 104947). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104947>

Tab. 12: Koncepty solárnych systémov v teplárstve

Schéma	Popis	Typ akumulácie	Solárna plocha	Cieľové solárne pokrytie	Merný objem akumulácie (liter/m ² _{sol. panel})	Typická technológia akumulácie
	Solárne pole na predohrev spiatočky	-	do 5 tis. m ²	0,1 - 5 %	-	-
	Solárne pole s centrálnym zásobníkom	Okamžitá akumulácia	5 – 20 tis. m ²	5 - 20 %	90 -150	TTES
		Sezónna akumulácia	20 – 70 tis. m ²	40 - 60 %	1 500 – 3 500	PTES
	Termické panely na strechách objektov s centrálnym zásobníkom	Okamžitá akumulácia	0,5 – 5 tis. m ²	10 - 25 %	75 - 125	TTES tlakový
		Sezónna akumulácia	1 – 10 tis. m ²	40 - 75 %	1 500 – 3 500	BTES
	Lokálne umiestnenie termických panelov aj zásobníkov tepla	Okamžitá akumulácia	5 – 300 m ² /objekt	10 – 40 % /objekt	50 - 120	Bojler, TTES tlakový

Zdroj: Classification and benchmarking of solar thermal systems in urban environments ⁷⁸

⁷⁸ Mauthner, F., & Herkel, S. (2017). IEA SHC Task52 - Deliverable C1: Classification and benchmarking of solar thermal systems in urban environments. Unpublished. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31437.28648>. Schéma solárneho poľa na predohrev spiatočky vznikla vlastnou úpravou. Ostatné schémy Tab. 18 boli prevzaté z publikácie.

1.3.3.5 Tepelné čerpadlá

Tepelné čerpadlá (TČ) sú zariadenia, ktoré dokážu previesť nízkopotenciálne teplo do využiteľnej podoby „prečerpaním“ na vyššiu teplotnú úroveň. K prečerpaniu na vyššiu teplotnú úroveň je potrebná elektrická energia, ktorej množstvo určíme pomocou výkonového čísla COP⁷⁹. Čím vyššie je COP, tým menej elektrickej energie potrebujeme do systému dodať, aby sme vyprodukovali teplo na využiteľnej teplotnej úrovni.

Hodnotu COP je možné určiť z teplôt nízkopotenciálneho zdroja tepla (okolitý vzduch, odpadné teplo, geotermálna energia) a výstupných teplôt potrebných pre systém zásobovania teplom. Efektívnosť prevádzky závisí na potrebnom teplotnom zdvihu medzi zdrojom a výstupom. Maximálna hodnota COP je limitovaná maximálnou teoretickou účinnosťou pri Carnotovom cykle⁸⁰ (COP_{Carnot}). V zmysle 2. termodynamického zákona bolo zistené,⁸¹ že reálne hodnoty tepelných čerpadiel COP dosahujú stupeň premeny (η_{II}) práce na teplo 0,4 až 0,6 z COP_{Carnot}. Pre výpočet reálnych hodnôt COP je preto možné uvažovať stupňom premeny 0,5.^{82, 83}

$$COP_{Carnot} = \frac{T_{výstup}}{T_{výstup} - T_{zdroj}}$$

$$\eta_{II} = \frac{COP}{COP_{Carnot}}$$

$$COP = COP_{Carnot} \cdot \eta_{II}$$

$$COP = \frac{Q_{out}}{E_{in}}$$

Kde:

COP _{Carnot}	Maximálne dosiahnuteľné COP pri Carnotovom cykle	(-)
T _{výstup}	Teplotná úroveň výstupu z TČ (teplá strana)	K
T _{zdroj}	Teplotná úroveň nízkopotenciálneho zdroja tepla (studená strana)	K
η_{II}	Stupeň premeny práce na teplo (približne 0,5)	(-)
COP	Reálne dosiahnuteľná hodnota COP	(-)
Q _{out}	Tepelný výkon TČ	kW _t
E _{in}	Spotrebovaná elektrická energia	kW _e

Použitím vyššie uvedených vzorcov môžeme zostaviť závislosť výkonových čísel COP pri rôznych výstupných teplotách. Výstupné teploty od 55 °C do 90 °C sú používané v teplárenských systémoch zásobovania teplom 3. a 4. generácie. Hodnoty COP pri výstupných teplotách na úrovni 60 °C a nižšie je možné aplikovať pri lokálnych TČ použitých v teplárenských systémoch zásobovania teplom 5. generácie.

⁷⁹ The coefficient of performance

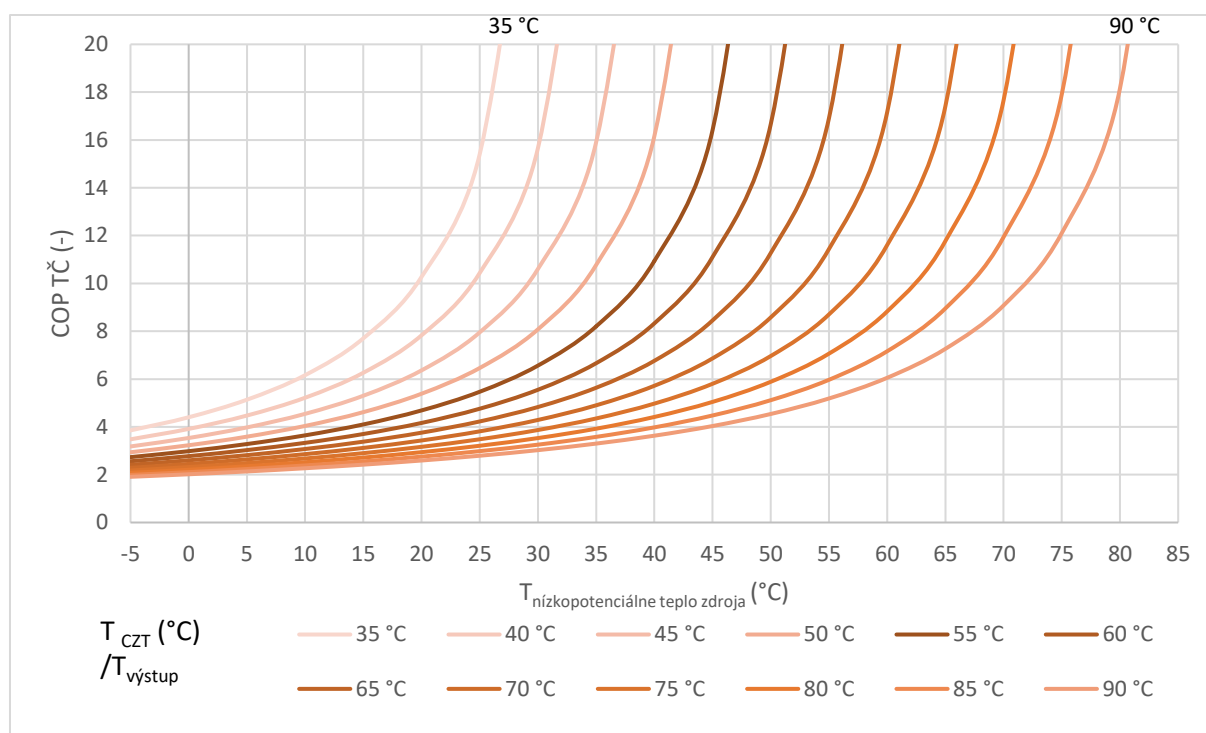
⁸⁰ Carnotov cyklus opisuje prácu ideálneho tepelného stroja pri maximálnej teoretickej účinnosti.

⁸¹ Arpagaus C, Bless F, Uhlmann M, Schiffmann J, Bertsch SS. High temperature heat pumps: market overview, state of the art, research status, refrigerants, and application potentials. Energy 2018;152. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.03.166>.

⁸² NUSSBAUMER, Thomas, Stefan THALMANN, Andres JENNI a Joachim KÖDEL. Handbook on Planning of District Heating Networks. 2020. ISBN 3-908705-39-8.

⁸³ Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

Graf 7: Závislosť COP tepelných čerpadiel od teplotnej úrovne nízopotenciálneho tepla pri rôznych výstupných teplotách



Zdroj: vlastné spracovanie

Pre názornosť môžeme popísať prípad využívania termálnej vody s teplotou 40 °C. Pokiaľ by v tepelnej sieti bola teplota v prívode primárneho potrubia na úrovni 90 °C, hodnota TČ COP by bola 3,63 a na produkciu 1 MWh tepla by bolo potrebné 0,276 MWh elektrickej energie. Pokiaľ by ale v sieti bola teplotná úroveň 55 °C, hodnota TČ COP by bola 10,94 a na produkciu 1 MWh tepla by bolo potrebné 0,091 MWh elektriny. Znížením teplotnej úrovne v sieti by potom došlo k úspore 0,185 MWh (67 %) elektriny pri produkcii rovnakého množstva tepla.

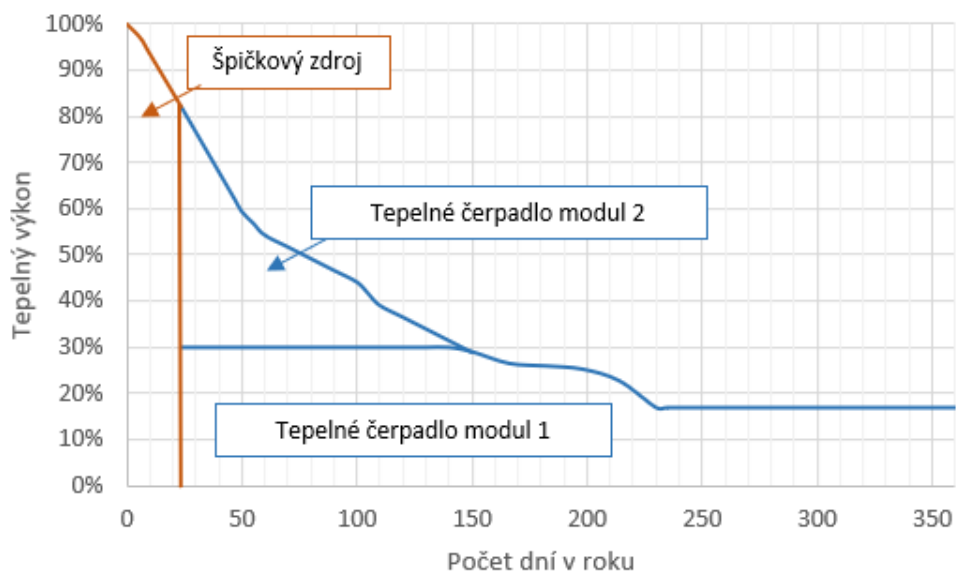
Tepelné čerpadlá vzduch-voda

Tepelné čerpadlá vzduch-voda využívajúce teplo okolia predstavujú osobitý prípad, ktorý je aplikovateľný pre rôzne tepelné siete, aj bez dostupnosti špecifického nízopotenciálneho zdroja tepla (termálna voda, odpadné teplo priemyslu a pod.). Bežné tepelné čerpadlá vzduch-voda dokážu dosahovať výstupné teploty v rozsahu 60 – 70 °C⁸⁴ v závislosti od použitého chladiva. V prípade vyšších výstupných teplôt je potrebné použitie vysokoteplotných tepelných čerpadiel. Pri použití tepelných čerpadiel vzduch-voda je však potrebné brať v úvahu špecifiká tohto zdroja, najmä čo sa týka premenlivosti dostupného výkonu a poklesu efektívnosti s klesajúcou vonkajšou teplotou. Zjednodušene je možné ako bivalentný bod možné uvažovať vonkajšiu teplotu -5 °C, pod hodnotu ktorej je vhodné zapájanie špičkového zdroja tepla a to buď bivalentným alternatívnym spôsobom prevádzky (pod -5 °C zabezpečuje špičkový zdroj úplný tepelný výkon) alebo bivalentným paralelným spôsobom (pod -5 °C sa pripája špičkový zdroj, ktorý dopomáha tepelnému čerpadlu dosiahnuť

⁸⁴ Maximálna výstupná teplota je u tepelných čerpadiel daná kondenzačnou teplotou chladiva. Chladivo R410a má kondenzačnú teplotu na úrovni 62,5 °C a teda na výstupe je možné dosiahnuť výstupnú teplotu na úrovni cca 60 °C, pričom je ešte potrebné zohľadniť teplotný spád výmenníka cca 5 K. Prírodné chladivo R290 má vyššie kondenzačné teploty a teplota výstupu dosahuje 70 °C.

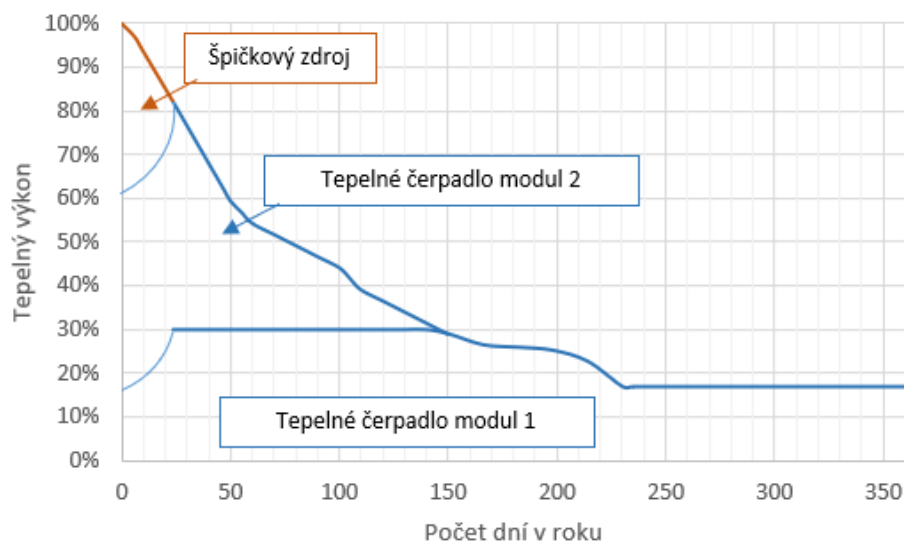
potrebný tepelný výkon). Spôsoby oboch prevádzok tepelného čerpadla a špičkového zdroja sú uvedené na nasledujúcich grafoch.

Graf 8: Bivalentný alternatívny spôsob prevádzky TČ vzduch-voda



Zdroj: vlastné spracovanie

Graf 9: Bivalentný paralelný spôsob prevádzky TČ vzduch-voda



Zdroj: vlastné spracovanie

1.3.3.6 Spaľovacie zariadenia

Medzi spaľovacie zariadenia používané v nízkotepelných systémoch môžeme zaradiť:

- kotly na biomasu, najčastejšie sa jedná o kotly na drevnú štiepku, prípadne pelety,

- kotly na zemný plyn a vykurovací olej, ich použitie je najčastejšie na pokrytie špičkových odberov. V nových a modernizovaných systémoch je snaha o znižovanie podielu fosílnych palív, prípadne ich eliminácia. Podiel fosílnych palív v nízkotepných systémoch spravidla nepresahuje 20%.⁸⁵

Pri dimenzovaní spaľovacích zariadení je potrebné zohľadniť aj priestorovú náročnosť pre technologické vybavenie a skladovanie paliva. Náročnosť uskladnenia paliva je analyzovaná v nasledujúcej tabuľke. Pre uskladnenie drevnej štiepky je potrebné približne 14 násobok priestoru oproti uskladneniu vykurovacieho oleja. Kvôli priestorovej náročnosti a s tým spojenými aj vyššími investičnými nákladmi spaľovacích zariadení na biomasu sú prevažne tieto zariadenia využívané ako základný zdroj s vyšším počtom prevádzkových hodín.

Tab. 13: Energetické parametre a analýza priestorovej náročnosti uskladnenia vybraných palív

Palivo	Obsah vody	Výhrevnosť	Objemová hmotnosť	Energetický obsah	Náročnosť uskladnenia
	(%)	(kWh/kg)	(kg/m ³)	(kWh/m ³)	(-)
Piliny	30%	3,5	130	455	22
Drevná štiepka	30%	3,5	200	700	14
Bylinná peleta	10%	4,5	600	2700	4
Drevné pelety	10%	4,7	650	3100	3
Vykurovací olej	0%	11,8	850	10 000	1

Zdroj: spracovanie na základe údajov - www.topin.cz ⁸⁶; Handbook on Planning of District Heating Networks ⁸⁷

Skladovacia kapacita by mala byť navrhnutá pre zabezpečenie potreby tepla počas najchladnejšieho obdobia v roku. Kvôli vysokým nárokom na skladovanie paliva je dôležité zabezpečiť priebežnú dodávku paliva v priebehu roka.

Pre určenie množstva potrebného paliva na pokrytie stanoveného podielu potreby tepla odberateľov je potrebné poznať účinnosť spaľovacích zariadení. Typické hodnoty prevádzkovej účinnosti vybraných spaľovacích zariadení v zmysle vyhlášky č. 88/2015 Z.z. sú určené v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 14: Typické hodnoty prevádzkovej účinnosti vybraných spaľovacích zariadení

Výkon kotla	Prevádzková účinnosť (%)						
	Biomasový kotol		Kotol na plynné palivo ⁸⁸			Kotly iné	
(MW)	Pevný rošť	Pohyblivý rošť	Štandardný	Nízkotepný	Kondenzačný	Kvapalné palivo ⁸⁹	Bioplyn
do 0,5	78	79	89	91	96	87	82
0,5 - 3	79	80	90	92	97	88	82
3 - 10	80	82	90	93	97	89	83
10 a viac	80	83	91	93	97	90	83

⁸⁵ NUSSBAUMER, Thomas, Stefan THALMANN, Andres JENNI a Joachim KÖDEL. Handbook on Planning of District Heating Networks. 2020. ISBN 3-908705-39-8.

⁸⁶ <https://www.topin.cz/clanky/kolik-kilogramu-pevneho-paliva-je-zapotrebi-k-vyrobe-gj-tepla-detail-6786>

⁸⁷ NUSSBAUMER, Thomas, Stefan THALMANN, Andres JENNI a Joachim KÖDEL. Handbook on Planning of District Heating Networks. 2020. ISBN 3-908705-39-8.

⁸⁸ zemný plyn, biometán a skvapalnené uhľovodíkové palivá

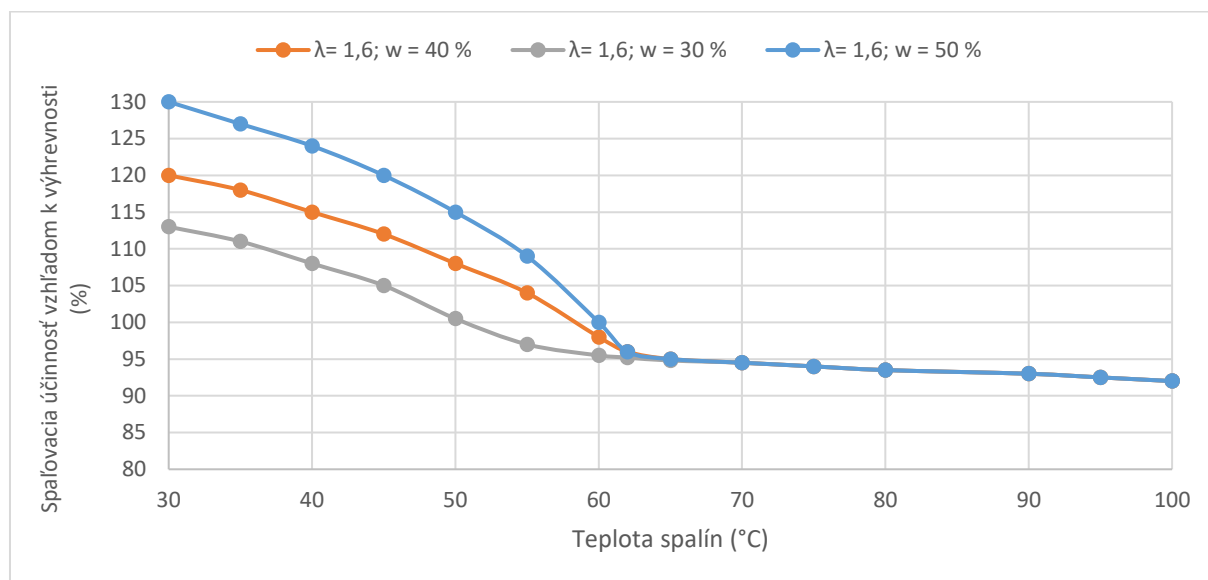
⁸⁹ ľahký vykurovací olej

Zdroj: Vyhláška č. 88/2015 Z.z.⁹⁰

Znižovaním teploty spiatočky v primárnom okruhu dochádza k zvyšovaniu účinnosti spaľovacích zariadení. Pri poklese teploty spiatočky pod teplotu rosného bodu spalín dochádza k výraznému zefektívneniu spaľovania, nakoľko dochádza k využívaniu kondenzačného tepla vodnej pary obsiahnutej v spalínach. Pri zemnom plyne je teplota rosného bodu spalín približne 57 °C a pri biomase sa rosný bod spalín pohybuje v rozmedzí od 53 do 65 °C v závislosti od vlhkosti paliva a prebytku spaľovacieho vzduchu. Teplota spiatočky v primárnom okruhu by mala byť o 5 – 10 °C nižšia ako je teplota rosného bodu spalín. Pri palivách s vyšším obsahom vody, ako je aj pri biomase, je prínos kondenzačného režimu významnejší, nakoľko sa v spalínach nachádza vyšší obsah vodnej pary. S každým znížením teploty spiatočky o 1 °C je možné navýšiť účinnosť kotla o približne 0,8 %. Pre využívanie kondenzačného režimu je nutné použitie kondenzátora spalín v biomasových kotloch, prípadne kondenzačného kotla pri použití zemného plynu.

Vplyv zníženia teploty spalín na účinnosť spaľovania v biomasovom kotly je uvedený v nasledujúcom grafe.

Graf 10: Závislosť spaľovacej účinnosti a teploty spalín v biomasovom kotly



Zdroj: hodnoty spaľovacej účinnosti prevzaté z publikácie - Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook⁹¹

1.3.3.7 Kombinovaná výroba elektriny a tepla (KVET)

KVET je technologický proces, pri ktorom dochádza k spoločnej výrobe elektriny a tepla.⁹² Tento spôsob výroby je zaužívaný kvôli hospodárnejšiemu využitiu paliva. V praxi je celková účinnosť zariadenia KVET v bilančnom období zvyčajne pod 80 %. Pre dosiahnutie tzv. úplnej kombinovanej výroby je potrebné dosiahnuť 80 % účinnosť pre spaľovaciu turbínu s kombinovaným cyklom a kondenzačnú parnú turbínu s odberom pary alebo 75% pre ostatné technológie KVET. Pri dosiahnutí

⁹⁰ Vyhláška č. 88/2015 Z.z., ktorou sa ustanovuje rozsah hodnotenia, spôsob výpočtu a hodnoty energetickej účinnosti zdrojov a rozvodov energie

⁹¹ Averfalk H et al, Low-Temperature District Heating Implementation Guidebook. IEA DHC Report, 2021

⁹² Môže dochádzať aj k výrobe mechanickej energie a tepla alebo mechanickej energie, tepla a elektriny. V praxi sa však jedná prevažne o výrobu elektriny a tepla.

týchto účinnosti je uvažované množstvo elektriny vyrobenej kombinovanou výrobou rovnaké, ako množstvo elektriny vyrobenej v bilančnom období (spravidla kalendárny rok). Pokiaľ tieto účinnosti KVET nie sú dosiahnuté, tak za elektrinu vyrobenú kombinovanou výrobou je považovaná len časť z celkového množstva elektriny vyrobenej v bilančnom období. Množstvo elektriny vyrobenej kombinovanou výrobou je potom možné určiť výpočtom v závislosti od použitej technológie. Z uvedeného dôvodu sú zdroje KVET navrhované tak, aby bol dosiahnutý podľa možnosti čo najvyšší stupeň spoločnej výroby elektriny a tepla a bola dosiahnutá čo najvyššia prevádzková účinnosť.

Celková účinnosť technológie KVET nad 80 % je dosahovaná len výnimočne, avšak pri optimálnej prevádzke je spravidla dosiahnuteľná celková účinnosť aspoň 75 %. Problematické je dosahovanie vyšších účinností v prípadoch, keď je prioritou zariadenia KVET dodávka regulačnej elektriny.

Ukazovateľ kombinovanej výroby „c“ udáva pomer elektriny a využiteľného tepla produkovaných v technológii KVET. Pre rôzne typy technológií KVET je možné použiť typické hodnoty pomeru elektriny a tepla určené zo štatistických hodnôt ich prevádzky. Typické hodnoty prevádzkovej účinnosti a ukazovateľa kombinovanej výroby c pre najpoužívanejšie technológie v teplárstve sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 15: Typické hodnoty prevádzkovej účinnosti a ukazovateľa kombinovanej výroby c pre najpoužívanejšie technológie v teplárstve

Typ technológie KVET	Palivo	Koeficient (elektrina/teplo)	c Prevádzková účinnosť (%)
Parné turbíny protitlakové	zemný plyn	0,4 - 0,7	78
	biomasa	0,4 - 0,7	73
	komunálny odpad	0,2 - 0,4	54
Spaľovacie motory	zemný plyn	0,5 - 1	68
	bioplyn	0,5 - 1	67

Zdroje: Kombinovaná výroba elektriny a tepla – hodnotenie splnenia podmienky vysokej účinnosti⁹³; Vyhláška č. 88/2016 Z.z.⁹⁴

Parné turbíny vo výkonovom rozsahu od 10 do 50 MW_{el} majú pomerne nízku účinnosť generovania elektrickej energie, zvyčajne na úrovni 10 % až 25 %. Kvôli nízkej účinnosti oddelenej výroby elektriny je vhodné najmä v tomto rozsahu využívať aj odpadné teplo. V prípade využitia na účely KVET sa preto využívajú protitlakové parné turbíny s využívaním odpadného tepla. Kondenzačné turbíny sú využívané na regulované (čiastočné) využitie odpadného tepla, prípadne len na oddelenú výrobu elektriny s vyššou účinnosťou produkcie elektriny, pretože odber odpadného tepla nad teplotou okolia túto účinnosť znižuje. Znižovanie teplotnej úrovne CZT má ale významný dopad na zvyšovanie efektívnosti výroby elektriny, pretože sa znižuje aj teplotná úroveň odberaného tepla. So znížením teplotnej úrovne

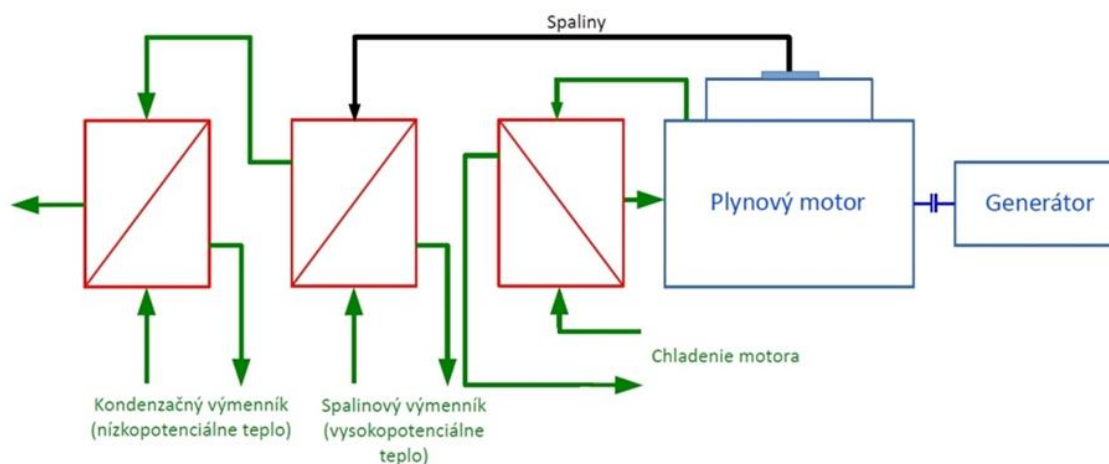
⁹³ Kombinovaná výroba elektriny a tepla – hodnotenie splnenia podmienky vysokej účinnosti [PDF]. Slovenská inovačná a energetická agentúra. Dostupné z: <https://www.siea.sk/odborne-o-energii/informacie-materialy/kombinovana-vyroba-elektriny-a-tepla-hodnotenie-splnenia-podmienky-vysokej-ucinnosti/>

⁹⁴ Vyhláška č. 88/2016 Z.z., ktorou sa ustanovuje rozsah hodnotenia, spôsob výpočtu a hodnoty energetickej účinnosti zdrojov a rozvodov energie

CZT o každý stupeň Celzia je možné navýšiť účinnosť elektriny v protitlakových parných turbínach o približne 0,71%.^{95,96}

V kogeneračných jednotkách so spaľovacím motorom sa využívajú prevažne zážihové štvortaktné motory. Ich výkonový rozsah sa pohybuje v rozmedzí od 10kW do 40MW. Typická elektrická účinnosť tejto technológie je od 25% do 40% a spravidla je vyššia u jednotiek s vyšším inštalovaným elektrickým výkonom. Odpadné teplo je tvorené z odpadného tepla spalín (približne 60%) a z tepla z chladenia motora (40%). Chladiaca kvapalina a mazací olej majú zvyčajne teploty 80 °C až 90 °C a teplota spalín je nad 350 °C v závislosti od typu motora. Pre použitie v nízкотеплотných systémoch CZT je preto potrebné použitie kondenzačného výmenníka.⁹⁵

Obr. 12: Schéma technológie kogeneračnej jednotky so spaľovacím motorom



Zdroj: www.oplyne.info ⁹⁷

Investície do technológií KVET vrátane príslušenstva sú pomerne vysoké, preto ich ročné využitie býva ako základný zdroj. Pri plánovaní nového zariadenia KVET je ale kvôli dosiahnutiu vysokých účinností KVET potrebné, aby množstvo využiteľného tepla zodpovedalo predpokladanej potrebe tepla v lokalite. Pre teplárenské systémy sú pri aplikovaní technológie KVET najdôležitejšie nasledovné ciele:

- dosiahnutie kritérií účinného CZT,⁹⁸
- dosiahnutie kritérií vysokoúčinnnej kombinovanej výroby.⁹⁹

⁹⁵ NUSSBAUMER, Thomas, Stefan THALMANN, Andres JENNI a Joachim KÖDEL. Handbook on Planning of District Heating Networks. 2020. ISBN 3-908705-39-8.

⁹⁶ Geyer, R., Krail, J., Leitner, B., Schmidt, R.-R., & Leoni, P. (2021). Energy-economic assessment of reduced district heating system temperatures. V Smart Energy (Roč. 2, s. 100011). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100011>

⁹⁷ <https://www.oplyne.info/oblast/vyroba-elektrickej-energie/zakladne-informacie-o-vyrobe-elektrickej-energie/kogeneracia-na-baze-plynovych-motorov-roznych-vykonov/>

⁹⁸ Systém CZT kde aspoň 50% tepla pochádza z obnoviteľných zdrojov, odpadového tepla, 75% z kombinovanej výroby elektriny a tepla, prípadne 50% tepla ich kombináciou.

⁹⁹ Výrobou KVET sa dosiahne úspora primárnej energie vo výške najmenej 10 % v porovnaní s referenčnými hodnotami pre samostatnú výrobu elektriny a tepla. Výrobou KVET malých výkonov (maximálny inštalovaný elektrický výkon nižší ako 1 MW) a veľmi malých výkonov (maximálny inštalovaný elektrický výkon nižší ako 50 kW) sa dosiahne úspora primárnej energie väčšia ako 0 % v porovnaní s referenčnými hodnotami pre samostatnú výrobu elektriny a tepla.

1.3.3.8 Energetická efektívnosť pri znižovaní teploty v teplárenskej sieti

Nízkotepelné systémy CZT umožňujú integráciu a efektívnejšie použitie alternatívnych a obnoviteľných zdrojov energie. Zlepšenie efektívnosti prevádzky používaných zdrojov v týchto systémoch sú nasledovné:

- Termické solárne panely – vyššia produkcia využiteľného tepla z termických panelov (nižšie tepelné straty solárnych panelov a vyššia účinnosť),
- Geotermálna energia - priame využitie tepla z vrtov v teplotnom rozmedzí 60 °C - 100 °C,
- Tepelné čerpadlá – nižšia spotreba elektriny pri využívaní nízkopotenciálneho tepla (nižší teplotný zdvih),
- Spaľovacie zariadenia - využitie kondenzačného tepla spalín v spaľovacích zariadeniach,
- Odpadné teplo – väčšie možnosti využitia odpadného tepla v teplotnom rozmedzí 60 °C– 100 °C a zníženie emitovaného odpadného tepla do prostredia.

Indikátory, ktoré kvantifikujú efekt zlepšenia efektívnosti sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 16: Indikátory energetickej efektívnosti vybraných technológií pri znižovaní teplotnej úrovne CZT

Technológia	Zlepšenie efektivity (%/°C)	Parameter zlepšenia
Tepelné čerpadlá	2,3	Nižšia spotreba elektriny
Ploché termické panely	2	Vyšší solárny zisk z rovnakej plochy
Trubicové termické panely	0,4	Vyšší solárny zisk z rovnakej plochy
Geotermálna energia -priame využitie	2,5	Zvýšenie využiteľného teplotného rozsahu pre potreby CZT
Odpadné teplo - priame využitie	2,5	Zvýšenie využiteľného teplotného rozsahu pre potreby CZT
Biomasový kotol	0,8	Navýšenie využitia kondenzačného tepla spalín. Nutné použitie kondenzátora spalín.
KVET s protitlakovou turbínou	0,34	Zvýšenie účinnosti produkcie elektriny
KVET s kondenzačnou turbínou	0,13	Zvýšenie účinnosti produkcie elektriny
Jamový zásobník (PTES) Horninový zásobník (BTES)	2,5	Navýšenie teplotne využiteľnej kapacity akumulácie
Akumulácia vo zvodnenej vrstve (ATES)	5,0	Navýšenie teplotne využiteľnej kapacity akumulácie
Okamžitý zásobník tepla	2,5	Navýšenie teplotne využiteľnej kapacity akumulácie

Zdroj: Energy-economic assessment of reduced district heating system temperatures ¹⁰⁰

¹⁰⁰ Geyer, R., Krail, J., Leitner, B., Schmidt, R.-R., & Leoni, P. (2021). Energy-economic assessment of reduced district heating system temperatures. V Smart Energy (Roč. 2, s. 100011). Elsevier BV.
<https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100011>

1.4 Ekonomická konkurencieschopnosť

Prechod či výstavba nových systémov CZT založených na nízkotepotnom režime prináša mnoho ekonomických benefitov, ak je projekt transformácie či výstavby nastavený od prvotných krokov správne.

Obchodný model klasického systému CZT s vyššími teplotami distribuovanej vody je mierne odlišný od nízkotepotného systému CZT. Pokiaľ v klasickom systéme CZT hovoríme hlavne o jednom dominantnom palivovom zdroji tepla (prípadne viacerých zdrojoch tepla umiestnených na jednom centrálnom mieste), ktorý vyrába teplo podľa aktuálnej potreby, pri nízkotepotnom systéme CZT sa bavíme o kombinácii zdrojov tepla, ktoré sú často limitované veľkosťou, lokalitou či dobou výroby tepla a je preto vždy potrebné medzi nimi hľadať synergické efekty a to ako z technologického tak aj ekonomického hľadiska. Aj z tohto dôvodu sa vo vyšších generáciách CZT vo veľkom uplatňujú okamžité a sezónne akumulácie a pokročilé systémy merania a regulácie.

Rozdiely medzi obchodnými modelmi je možné badať aj pri troch pozorovaných scenároch. Pri transformácii súčasného systému CZT na nízkotepotný systém CZT alebo transformácii súčasných systémov IZT na nízkotepotný systém CZT je mimoriadne dôležité postupovať smerom od spotrebiča (odberateľ tepla) ku zdrojom tepla. Ak nie je spotrebič pripravený na odber tepla z nízkotepotného CZT, spravidla takýto systém nebude môcť fungovať, respektíve v obmedzenej miere, čo sa prejaví na zhoršenej ekonomike projektu. Pri plánovaní nových systémov na zelenej lúke pre zásobovanie teplom nových štvrtí je tiež vhodné postupovať od spotrebiča k zdrojom tepla, avšak súčasné prísne legislatívne požiadavky v oblasti energetickej hospodárnosti novostavieb prakticky zaručujú možnosť pripojenia takýchto budov do systému. Dôležitosť v rámci plánovania by však mala byť kladená na ďalšie aspekty (priestorové nároky umiestnenia OST v novostavbe a ďalšie bežné požiadavky pri projektovej fáze nového nízkotepotného systému CZT).

Ekonomické posúdenie výhodnosti prestavby súčasných systémov CZT na nízkotepotné systémy CZT, transformácie súčasných systémov IZT na nízkotepotné systémy CZT či výstavby nových nízkotepotných systémov CZT pre nové štvrte je pomerne komplexná záležitosť. Z tohto dôvodu bude súčasťou tejto metodiky v rámci ekonomickej časti len príklady merných nákladov pri navrhovaní či transformácii nízkotepotného systému a stručný popis najčastejších postupov ekonomického hodnotenia projektov transformácie či výstavby nízkotepotného systému CZT.

1.4.1 Ekonomické posúdenia projektu nízkotepotného systému CZT metódou LCOH

V praxi sa pri ekonomickom hodnotení projektu CZT v prípravnej fáze využívajú rôzne spôsoby výpočtu. Pri nových projektoch sa v celom energetickom sektore uplatňuje hlavne metóda tzv. vyrovnanej ceny za energiu (z anglického „levelised cost of energy“). Táto metóda spočíva vo výpočte priemernej jednotkovej ceny energie, ktorú by platili odberatelia energie počas celého uvažovaného referenčného obdobia prevádzky projektu a vďaka ktorej by projekt v uvažovanej referenčnej dobe pri uvažovanej diskontnej sadzbe vykazoval čistú súčasnú hodnotu rovnú nule, respektíve vnútorné výnosové percento projektu by sa rovnalo uvažovanej diskontnej sadzbe.

Pri teplárenských systémoch sa používa pomenovanie „levelised cost of heat“ (ďalej len LCOH), čiže tzv. vyrovnaná cena za teplo. Výhodou tejto metódy je to, že výsledný parameter je priamo cena za jednotkové množstvo tepla (napr. EUR/MWh), ktorá je pochopiteľná pre širšiu verejnosť. Výsledná

LCOH definuje ekonomický potenciál uvažovaného scenára projektu a slúži na porovnanie s LCOH z iných scenárov. Najnižšia LCOH spravidla určuje, ktorý scenár projektu je ekonomicky najvýhodnejší. Samotná LCOH neudáva budúcu cenu tepla pre odberateľov, keďže cena tepla zo systémov CZT je na Slovensku regulovaná¹⁰¹ Úradom pre reguláciu sieťových odvetví a postup jej výpočtu je daný zákonom č. 250/2012 Z. z. o regulácii v sieťových odvetviach a vykonávajúcou vyhláškou č. 312/2022 Z. z., ktorou sa ustanovuje cenová regulácia v tepelnej energetike. Pri výpočte LCOH je možné uvažovať čiastočne s pokynmi vyplývajúcimi z vyhlášky č. 312/2022 Z. z. (napr. pre zadefinovanie oprávnených nákladov), avšak v LCOH nie je možné uplatniť primeraný zisk, ktorý je v rámci cenovej regulácie tepla zo systémov CZT na Slovensku povolený a jeho výpočet je zadefinovaný v spomínanej vyhláške. Pre porovnávajúce účely v predprípravnej fáze projektových scenárov systému CZT je však LCOH postačujúca.

Pre výpočet LCOH je potrebné rozdeliť investičné (kapitálové) náklady a prevádzkové (opakujúce sa) náklady.

Medzi kapitálové náklady patria najčastejšie:

- Náklady za zariadenia týkajúce sa zdrojov tepla (samotné zdroje tepla a príslušenstvo, stavebné celky, obstarávacie ceny za pozemky, cena práce pri výstavbe zdrojov tepla a pod.),
- Náklady za zariadenia týkajúce sa rozvodov tepla (samotné rozvody tepla a príslušenstvo, stavebné celky, obstarávacie ceny za pozemky, cena práce pri výstavbe rozvodov tepla, zariadenia v rámci OST a pod.).

Kapitálové náklady by mali byť rozdelené pomerovo do uvažovanej referenčnej doby, na základe uvažovanej potreby obstarania danej technológie v priebehu referenčného obdobia. Čiže ak je referenčná doba určená na 15 rokov a uvažovaná životnosť určitej dielčej technológie je 7,5 roka, je potrebné ju v rámci referenčnej doby zahrnúť 2-krát.

Medzi prevádzkové náklady patria najčastejšie:

- Palivové náklady pre palivové zdroje tepla, respektíve náklady za elektrinu pre zdroje tepla využívajúce elektrinu a podporné elektrické zariadenia (obehové čerpadlá, zariadenia merania a regulácie a pod.),
- Osobné náklady (mzdy zamestnancov a pod.),
- Náklady na údržbu, revízie, technologické hmoty, technologickú vodu, nájomné a pod.,
- Poplatky za znečistenie a náklady za emisné kvóty skleníkových plynov a pod.

Prevádzkové náklady je potrebné zahrnúť v rámci celej referenčnej doby, čiže ak je napr. palivo obstarávané na ročnej báze a referenčná doba projektu bola stanovená na 15 rokov, je potrebné uvažovať s 15-násobkom nákladov za palivo.

Presnejšie zadefinovanie kapitálových a operatívnych nákladov pre jednotlivé technológie a časti systému CZT je možné nájsť v kapitole 1.4.2.

Okrem kapitálových nákladov (skratka „ K_t “) a prevádzkových nákladov („ P_t “) je pre určenie LCOH ešte potrebné určiť nasledovné vstupné parametre:

- Diskontná sadzba pre projekt (skratka „ r “, napr. 6 %),
- Referenčná doba projektu („ t “, napr. na základe predpokladanej životnosti systému).

Rovnako je pri výpočte LCOH potrebné uvažovať s dotačnou podporou, ak je k dispozícii. V prípade, ak ide o nenávratný finančný príspevok, je vhodné touto sumou ponížiť príslušný kapitálový náklad.

¹⁰¹ Podľa § 11, odsek (3) zákona č. 250/2012 Z. z. o regulácii v sieťových odvetviach podlieha cenovej regulácii v tepelnej energetike len výroba, distribúcia a dodávka tepla, nie chladu.

Podobne treba uvažovať s prípadnou dotačnou podporou v rámci prevádzkových nákladov a je nutné jej vplyv zahrnúť do ekonomického hodnotenia projektu (napr. doplatok za výrobu tepla z OZE¹⁰²).

LCOH sa potom dá zjednodušene zadefinovať vzťahom nasledovne:

$$LCOH = \frac{\text{Čistá súčasná hodnota všetkých nákladov v priebehu referenčnej doby}}{\text{Celkové dodané teplo v priebehu referenčnej doby} - Q_t}$$

Vyjadrené vzorcom:

$$LCOH = \frac{\sum \frac{(K_t + P_t)}{(1+r)}}{\sum \frac{Q_t}{(1+r)}} [EUR/MWh]$$

Samotné určenie LCOH nie je vzhľadom k dynamickému charakteru výpočtu jednoduchý matematický úkon a je vhodné pri jeho stanovení použiť nejakú formu výpočtového softvéru (napr. MS Excel).

LCOH pre jednotlivé scenáre je vhodné porovnať (napr. formou stĺpcového grafu). Samotné LCOH je ekonomickým indikátorom vhodnosti projektu, ale nezahŕňa sociálne a ďalšie dôležité aspekty (napr. preferencie dotknutých samospráv a pod.) a je na samotnom investorovi projektu, k akému riešeniu sa prikloní.

Pri výstavbe nového nízkotepelného systému CZT pre novú štvrť je potrebné najskôr mať vyhodnotené projektové potreby tepla objektov a rozanalyzovať základné možnosti posudzovaného územia (dostupné inžinierske siete, potenciál obnoviteľných zdrojov tepla v okolí a pod.). Stručný opis úkonov k takejto analýze je možné nájsť v kapitole 2.2. Po prvotnej analýze by malo byť zrejmé, ktoré scenáre sú pre danú oblasť najvhodnejšie. Po voľbe technologického konceptu a zostavení jednoduchého rozpočtu sa môže pristúpiť k výpočtu LCOH pre jednotlivé scenáre.

Pri transformácii existujúceho systému CZT na nízkotepelný systém, resp. pri transformácii existujúceho systému IZT na nízkotepelný systém, je vhodné porovnávať navrhnuté scenáre so scenárom, ktorý bude vyjadrovať súčasný charakter výroby a dodávky tepla. Hypotetický scenár súčasného stavu by mal zohľadniť potrebné investície do súčasného technického stavu systému CZT, resp. IZT berúc v úvahu životnosť existujúcich technológií, ich potrebné opravy a údržbu a aj faktory ovplyvňujúce prevádzkové náklady (odhadovaný vývoj cien palív, zvyšujúce sa poplatky za emisie skleníkových plynov, predpokladaný rast platov zamestnancov a pod.). Hypotetický scenár súčasného stavu by mal byť posudzovaný pre rovnaké (podobné) referenčné obdobie ako ostatné scenáre projektu nízkotepelného systému CZT, čím by sa zaručila objektivita porovnania LCOH všetkých scenárov.

Ceny tepla pri diaľkovej dodávke tepla zo systémov CZT sú na Slovensku tvorené dvomi zložkami – variabilnou a fixnou zložkou ceny tepla. Do variabilnej zložky spadajú všetky oprávnené náklady týkajúce sa paliva, elektriny, technologických hmôt a pod. Variabilná zložka ceny tepla sa udáva v EUR/kWh. Fixná zložka ceny tepla je tvorená oprávnenými nákladmi spojenými s opravami, údržbou alebo odpismi zariadení, mzdami a odvodmi zamestnancov a pod. Okrem týchto položiek je súčasťou fixnej zložky aj tzv. primeraný zisk. Fixná zložka ceny tepla sa udáva v EUR/kW regulačného príkonu.

¹⁰² V súčasnosti nie je výroba tepla podporovaná žiadnou formou doplatku z verejných zdrojov a jedná sa len o fiktívny príklad.

Cenová regulácia v tepelnej energetike je ustanovená vyhláškou Úradu pre reguláciu sieťových odvetví č. 312/2022 Z. z.

Pre porovnanie LCOH navrhnutých scenárov s hypotetickým scenárom súčasného systému CZT je vhodné spraviť prepočet dvojzložkovej ceny tepla na jednotkovú cenu tepla (teda cenu tepla porovnateľnú s LCOH). Pre účely prepočtu je vhodné vychádzať z definície regulačného príkonu:¹⁰³

$$RP = \frac{\text{dodané množstvo tepla v roku } t - 2}{5300 \text{ hod}}$$

Regulačný príkon by sa mal určovať pre každé odberné miesto zvlášť, avšak pre účely prepočtu dvojzložkovej ceny tepla na jednotkovú cenu je možné pre dodané množstvo tepla v roku t-2 (tj. spred dvoch rokov) uvažovať s celkovým dodaným množstvom tepla v rámci celej sústavy CZT.

Zo známej hodnoty fixnej zložky ceny tepla, regulačného príkonu a dodaného množstva tepla je možné vypočítať fixnú zložku ceny tepla vztiahnutú na jednotku tepla (EUR/kWh). Následne môže byť známa variabilná zložka ceny tepla a vypočítaná fixná zložka ceny tepla vztiahnutá na jednotku tepla sčítaná a ich súčet bude udávať informatívnu hodnotu jednotkovej ceny tepla. Je dôležité podotknúť, že sa jedná o informatívny prepočet. ÚRSO ponúka k tomuto úkonu aj webovú kalkulačku¹⁰⁴.

Takto vypočítaná jednotková cena tepla však obsahuje tzv. primeraný zisk¹⁰⁵, ktorý naopak LCOH neobsahuje. Primeraný zisk spoločností podnikajúcich v teplárstve sa pohybuje zväčša v rozmedzí od 3 do 6 % z celkovej ceny tepla a pre účely porovnávania jednotlivých LCOH je ho vhodné odčleniť. V rámci metodiky uvažujeme, že zámer prechodu súčasného systému CZT na nízko-teplotný systém bude mať investor, ktorý bude priamo vlastníkom, resp. prevádzkovateľom existujúceho systému CZT, resp. bude s vlastníkom alebo prevádzkovateľom spolupracovať a tak bude mať prehľad o hodnote primeraného zisku a preto nebude problém ho z orientačne vypočítanej jednotkovej ceny tepla odčleniť. Spôsob určenia výšky primeraného zisku je daný § 5 v predmetnej vyhláške č. 312/2022 Z. z.

V prípade, že sa investor po predprojektovej fáze rozhodne začať s podrobným plánovaním projektu, je samozrejme namieste vypočítať cenu tepla podľa metodiky ÚRSO z vyhlášky č. 312/2022 Z. z.

1.4.2 Merné náklady nízko-teplotného systému CZT

Kapitálové náklady rozličných častí systému CZT sa líšia podľa typu a značky obstarávaných zariadení. Spravidla platí, že subjekt podnikajúci v tepelnej energetike vie zariadenia obstaráť za priaznivejšie ceny než sú bežné cenníkové ceny dodávateľov technológií. Väčšina zariadení v teplárskom segmente prechádza z roka na rok technologickým vývojom a ceny týchto zariadení sa menia. Ceny sa často líšia aj od lokality a veľkú rolu hrá aj cena práce (projekcia, stavba, inštalácia). Navyše je rozdiel, ak je obstarávaná len časť technológie (napr. kotol na štiepku v existujúcej kotolni) alebo celá stavba (celá kotolňa). Z tohto dôvodu je prakticky nemožné zdefinovať presné cenové rozsahy jednotlivých technológií.

Podobnú komplexnosť predstavujú operatívne náklady. V prípade elektriny a zemného plynu sa stretávame s tržnými výkyvmi a cena komodity závisí hodne aj od predvídavosti výrobcu tepla pri nákupe. Palivá na báze biomasy sú často ovplyvnené cenou silovej elektriny, resp. cenou pohonných

¹⁰³ Vyhláška č. 312/2022 Z. z.

¹⁰⁴ <https://data.urso.gov.sk/CISRES/Agenda.nsf/DvojzlozkovaCena>

¹⁰⁵ Primeraný zisk sa vypočíta podľa postupu z vyhlášky Vyhláška č. 312/2022 Z. z.

hmôt, keďže sa pri spracovaní tohto paliva v určitej miere využívajú. Časť prevádzkových nákladov môžu tvoriť aj výdavky za dopravu paliva, technologické hmoty a technologickú vodu a elektrinu, prípadne palivo na vlastnú spotrebu.

Ostatné prevádzkové náklady sú tvorené hlavne osobnými nákladmi, nákladmi spojenými s údržbou, revíziami a odbornými prehliadkami a posudkami (napr. overenie hospodárnosti), poplatkami zaznečistenie ovzdušia, poplatkami za tvorbu skleníkových plynov (uvažujúc nakúpené emisné kvóty), nákladmi za nájomné či poistenie a iné.

V nasledujúcej tabuľke sú preto aspoň zhrnuté položky pre jednotlivé technológie, na ktoré je potrebné myslieť pri tvorbe rozpočtu. Ako bolo uvedené už v kapitole 1.4.1, cenotvorba tepla na Slovensku je regulovaná ÚRSO a to prostredníctvom vyhlášky 312/2022 Z. z. Vyhláška pomerne jasne definuje aj oprávnenosti jednotlivých výdavkov a tieto definičné rámce je možné využiť aj pri stanovení orientačného rozpočtu pre účely LCOH. Samotný výpočet LCOH v sebe už zahŕňa diskontnú sadzbu (vrátane uvažovanej úrokovej miery) a odpisovanie zakúpenej technológie je dané výpočtom zo zadaných kapitálových nákladov pri obstaraní v uvažovanej referenčnej dobe. Z tohto dôvodu nie je potrebné v rámci rozpočtovania pre určenie LCOH uvažovať s odpismi hmotného a nehmotného majetku zadefinovaného v kapitálových nákladoch a ani s úrokmi za tento majetok (rozdiel oproti vyhláškovému postupu).

Tab. 17: Zadefinovanie kapitálových a prevádzkových nákladov pre účely vyhodnotenia LCOH

Segment	Kapitálové náklady	Operatívne náklady
Kotly na biomasu	Technologická časť (zariadenia, spotrebný materiál, inštalácia, projektová dokumentácia) Stavebná časť kotolne ¹⁰⁶ (materiál, pozemok, výstavba, projektová dokumentácia)	Náklady na palivo Náklady za dovoz paliva, pomocnú elektrinu, technologickú vodu, technologické hmoty Náklady na údržbu, revízie, odborné prehliadky, nájomné, poistenie, poplatky za znečisťujúce látky a pod.
Plynové kotly	Technologická časť (zariadenia, spotrebný materiál, inštalácia, projektová dokumentácia) Stavebná časť kotolne (materiál, pozemok, výstavba, projektová dokumentácia)	Náklady na palivo Náklady za dovoz paliva, pomocnú elektrinu, technologickú vodu, technologické hmoty a pod. Náklady na údržbu, revízie, odborné prehliadky, nájomné, poistenie, poplatky za znečisťujúce látky a nákup emisných kvót a pod.
Solárne kolektory	Technologická časť (pozemok ¹⁰⁷ , zariadenia, spotrebný materiál, výmenníková stanica, inštalácia, projektová dokumentácia)	Náklady za pomocnú elektrinu, technologickú vodu, technologické hmoty

¹⁰⁶ Stavebná časť je spravidla potrebná aj pre uskladnenie tuhého paliva.

¹⁰⁷ V prípade pozemnej inštalácie.

	Stavebná časť (materiál, príprava pozemku pre inštaláciu,	Náklady na údržbu, revízie, odborné prehliadky, poistenie, nájomné a pod.
Fotovoltické panely ¹⁰⁸	Technologická časť (pozemok ¹⁰⁷ , zariadenia, spotrebný materiál, inštalácia, projektová dokumentácia)	Náklady na údržbu, revízie, odborné prehliadky, poistenie, nájomné a pod.
KGJ (na báze spaľovacieho motora s generátorom) ¹⁰⁹	Technologická časť (zariadenia, spotrebný materiál, inštalácia, projektová dokumentácia) Stavebná časť strojovne (materiál, pozemok, výstavba, projektová dokumentácia)	Náklady na palivo Náklady za dovoz paliva, technologickú vodu, technologické hmoty a pod. Náklady na údržbu, revízie, odborné prehliadky, poistenie, nájomné, poplatky za znečisťujúce látky a nákup emisných kvót a pod.
TČ (všetky typy)	Technologická časť (zariadenia, spotrebný materiál, inštalácia, projektová dokumentácia, technológia zabezpečujúca nízkopotenciálne teplo) Stavebná časť strojovne (materiál, pozemok, výstavba, projektová dokumentácia)	Náklady na elektrinu Náklady za technologickú vodu, technologické hmoty a pod. Náklady na údržbu, revízie, odborné prehliadky, poistenie, nájomné, poplatky za užívanie vôd a pod.
Geotermálny vrt	Technologická časť vrtu (geofyzikálne merania, technológia vrtu, realizácia vrtu, ponorné čerpadlo, výmenníková stanica (strojovňa), inštalácia, projektová dokumentácia) Stavebná časť výmenníkovej stanice (pozemok, výstavba, projektová dokumentácia)	Náklady za pomocnú elektrinu, technologickú vodu, technologické hmoty a pod. Náklady na údržbu, revízie, odborné prehliadky, poistenie, nájomné, poplatky za užívanie vôd a pod.
Sezónna akumulácia – typ PTES	Technologická časť (geologický prieskum, technológia a spotrebný materiál, výkopové práce, realizácia zásobníka, tepelný napájač, projektová dokumentácia)	Náklady na revízie, odborné prehliadky, poistenie, nájomné a pod.

¹⁰⁸ Pri zariadeniach vyrábajúcich elektrinu by mali byť uvažované len tie náklady, ktoré sa týkajú elektriny využívanéj pri výrobe, distribúcii alebo dodávke tepla.

¹⁰⁹ Pri kombinovanej výrobe elektriny a tepla by mali byť odčlenené náklady týkajúce sa výroby elektriny a náklady týkajúce sa výroby tepla. Do výpočtu LCOH by mali byť dosadené len náklady týkajúce sa výroby tepla. Je možné zvoliť postup podľa vyhlášky 312/2022 Z. z.

	Stavebná časť (pozemok, zabezpečenie podlažia, budova výmenníkovej stanice, projektová dokumentácia)	
Sezónna akumulácia – typ BTES	Technologická časť (geofyzikálne merania, technológia vrtov, realizácia vrtov, tepelný napájač, projektová dokumentácia) Stavebná časť výmenníkovej stanice ¹¹⁰ (jednoduchá stavba, projektová dokumentácia)	Náklady na revízie, odborné prehliadky, poistenie, nájomné a pod.
Sezónna akumulácia – typ ATES	Technologická časť (geofyzikálne meranie, technológia vrtov, realizácia vrtov, výmenníková stanica (strojovňa), tepelný napájač, projektová dokumentácia) Stavebná časť výmenníkovej stanice ¹¹⁰ (jednoduchá stavba, projektová dokumentácia)	Náklady na revízie, odborné prehliadky, údržbu vrtov, poistenie, nájomné a pod.
Okamžitá akumulácia (zásobník)	Technologická časť (zariadenia, spotrebný materiál, inštalácia, projektová dokumentácia) Stavebná časť strojovne ¹¹¹ (materiál, pozemok, výstavba, projektová dokumentácia)	Náklady na revízie, odborné prehliadky, poistenie, nájomné a pod.
Rozvody tepla	Technologická časť (náklady za technológiu, spotrebný materiál, výkopové práce ¹¹² a práce spojené s uložením, pozemok) Stavebná časť (úprava povrchu po uložení ¹¹³)	Náklady na elektrinu (obehové čerpadlá) Náklady na údržbu, revízie, odborné prehliadky, nájomné a pod.
OST	Technologická časť ¹¹⁴ (zariadenia, spotrebný materiál, inštalácia, projektová dokumentácia)	Náklady na revízie, odborné prehliadky, poistenie, nájomné a pod.

¹¹⁰ Môže byť súčasťou iného stavebného objektu.

¹¹¹ Väčšinou súčasť inej stavebnej časti.

¹¹² Rozdiel pri cenách výkopových prác realizovaných na tvrdom povrchu (cesty, chodníky) a na zeleni.

¹¹³ Platí hlavne v prípade uloženia rozvodov tepla pod komunikáciami.

¹¹⁴ Neuvažujeme so stavebnou časťou, pretože priestor pre umiestnenie domovej OST je väčšinou poskytnutý vlastníelmi pripojeného objektu (je jeho súčasťou). V prípade blokovej OST (mimo objekt odberu tepla) je potrebné uvažovať aj stavebnú časť.

Ostatné náklady neviazané na konkrétnu technológiu	Projektová dokumentácia celkového systému (štúdia realizovateľnosti apod.)	Platy zamestnancov
--	--	--------------------

Zdroj: vlastné spracovanie

2 Postup posúdenia možnosti aplikácie nízko-teplotných systémov CZT

Transformácia alebo výstavba nového systému CZT sa spravidla skladá z niekoľkých projektových fáz¹¹⁵:

1. Predbežné posúdenie realizovateľnosti zámeru,
2. Návrh projektu,
3. Proces plánovania výstavby a kontrahovanie dodávateľov technologických celkov,
4. Výstavba a schválenie.

Po realizácii nastáva spustenie prevádzky, pričom určitý čas dochádza k jej optimalizácii a až následne je systém CZT prevádzkovaný v optimálnom režime.

V rámci tejto metodiky a nasledujúcich podkapitol sa budeme venovať len prvej projektovej fáze, a síce predbežnému posúdeniu realizovateľnosti zámeru.

2.1 Postup posúdenia potenciálu transformácie existujúcich systémov CZT

Transformácia existujúcich systémov CZT na nízko-teplotné systémy je najzásadnejšou výzvou pre prevádzkovateľov sústav CZT na území Slovenska. Prechod súčasných systémov na nízko-teplotné predstavuje prakticky jedinou realistickú možnosť zachovania prevádzky veľkého množstva sústav CZT na Slovensku.

Pod pojem nízko-teplotné systémy CZT zaraďujeme 4. a 5. generáciu CZT (viď kapitola 1.1). Pri transformácii existujúcich systémov CZT sa stretávame hlavne s prechodom na 4. generáciu, čo je dané aj zaužívaným usporiadaním primárnej rozvodnej siete (kapitola 1.3.2.2). Ďalšie dôvody neuvažovania pri transformačných procesoch s 5. generáciou sú:

- Nutnosť veľkoplošného vykurovania, prípadne inštalácie decentralizovaného TČ voda/voda¹¹⁶ do každej domovej OST kvôli zaisteniu tepelnej pohody odberateľov. V prípade chladenia by bola nutná dodatočná inštalácia veľkoplošného chladiaceho systému (stenový alebo stropný), čo je v prípade existujúcich stavieb prakticky nemožné zrealizovať.

¹¹⁵ NUSSBAUMER, Thomas, Stefan THALMANN, Andres JENNI a Joachim KÖDEL. Handbook on Planning of District Heating Networks. 2020. ISBN 3-908705-39-8.

¹¹⁶ Myslí sa voda z primárneho okruhu a voda zo sekundárneho okruhu.

- Zníženie teploty dodávanej vody v primárnom okruhu CZT pod 50 °C by kládlo požiadavku na decentralizovanú prípravu TV, čo by oslabilo ekonomický význam systému CZT (nulová dodávka tepla v letnom období).

Pod pojmom transformácia súčasných systémov CZT na nízko-teplotné systémy v rámci tejto kapitoly preto myslíme hlavne prestavbu existujúcich sústav CZT na sústavy 4. generácie (teplota dodávanej vody v primárnej sieti na úrovni 60 °C a nižšie, v najchladnejšie dni na max. 70 °C)¹¹⁷.

Transformácia existujúceho systému CZT na nízko-teplotný má aj mnoho bariér, ktoré je potrebné prekonať a ktoré vychádzajú zo súčasného stavu systému (súčasný zdroj tepla, rozloženie rozvodov tepla, aktuálny tepelno-technický stav budov odberateľov tepla a pod.). Samotné posúdenie potenciálu transformácie nie je možné vykonať od stola a je potrebná úzka spolupráca s vlastníkmi budov (napr. skrz správcu budovy) a prevádzkovateľa existujúceho systému CZT. Stručne opísaný postup nižšie nie je jedinou možnosťou ako posúdiť potenciál transformácie existujúceho systému CZT na nízko-teplotný. Existujúce systémy CZT sa vzájomne líšia v mnohých oblastiach a čo platí pre jeden systém, nemusí platiť pre druhý.

Prvotná analýza

Transformácia existujúcej sústavy CZT sa začína základnou analýzou, v rámci ktorej je nutné rozhodnúť, či bude proces transformácie prebiehať po častiach (napr. rozdelením siete CZT na podsiete, kaskádovaním a pod.)¹¹⁸ alebo dôjde k prestavbe celej sústavy CZT. Pre takéto rozhodnutie je však potrebné mať dôkladný prehľad o súčasnom stave existujúceho systému CZT. Pri rozhodovaní je možné postupovať nasledovne:

- 1.) Zhodnotenie topológie existujúceho systému CZT (kapitoly 1.3.2.1 a 1.3.2.2). Niektoré topológie predurčujú možnosti, ktoré je možné v rámci existujúcej sústavy CZT urobiť pri prechode na nízko-teplotný režim.
- 2.) V prípade rozvetvenej sústavy CZT je potrebné roztriediť odberateľov tepla na základe umiestnenia v rámci siete CZT. Pre skupiny odberateľov v jednotlivých vetvách v rámci rozvodnej siete je vhodné vyhodnotiť parametre ako hustota odberu tepla (spravidla väčší odber tepla rovná sa prominentnejší zákazník), kritickosti odberateľa (kapitola 1.3.1.1), teploty dodávanej vody do odberného miesta alebo iné aspekty (končiaca technická životnosť zariadení, obchodné záväzky apod.).
- 3.) Predbežné rozhodnutie, či sa bude uvažovať s transformáciou celého systému CZT na nízko-teplotný režim alebo sa začne len s určitou časťou siete. Pri väčších systémoch CZT je vhodnejšie sa v prvom kroku upriamiť na takú vetvu rozvodnej sústavy, kde je už možné pristúpiť k zníženiu teploty distribuovanej vody a paralelne s touto aktivitou pracovať na príprave ostatných častí systému CZT smerom k znižovaniu teplôt. V prípade niektorých zokruhovaných topológií (kapitola 1.3.2.1) je potrebné pristúpiť k transformácii celého systému CZT.
- 4.) Posúdenie potenciálu prechodu vybranej časti systému CZT (prípadne celého systému) na nízko-teplotný režim (viď text nižšie).

¹¹⁷ Na základe definície zo štúdie: LUND, Henrik et al. 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. 2014.

¹¹⁸ Opísané v kapitole 1.3.2.2

Aktivity v rámci posúdenia prechodu existujúceho systému CZT by mali mať logickú postupnosť v zmysle pravidla prvoradosti energetickej efektívnosti. Aktivity by teda mali smerovať od spotrebičov tepla (spravidla budovy) cez rozvodnú sieť až k zdrojom tepla. Pri niektorých aktivitách je však možné postupovať paralelne aj mimo túto postupnosť, ak je vopred jasné, že predchádzajúci krok je už v zmysle potenciálnej transformácie splnený. Posúdenie transformačného potenciálu systému CZT má síce zadanú postupnosť, avšak postup posúdenia nie je spravidla vykonávaný jednorazovo. Takmer vždy je potrebné posúdiť potenciálne opatrenia v systéme niekoľkokrát až dôjde k optimálnej podobe (tzv. iteračný spôsob posúdenia).

Budovy

Pri analýze stavu spotrebičov tepla (Tab. 18) uvažujeme s predpokladom, že na posudzovanej časti systému CZT nie je pripojený odberateľ, ktorý vyžaduje teplotné médium o iných parametroch než by ponúkal uvažovaný nízko teplotný systém CZT (napr. potreba technologického tepla o vyššej teplote vody). Takýto odberateľ tepla by mohli byť riešení vo forme kaskádneho zapojenia (kapitola 1.3.2.2), prípadne lokálneho doohrevu. Vzhľadom ku komplexnosti problematiky a rozsahu tejto metodické príručky sú nasledujúce kroky uvažované pre zaužívané usporiadanie primárnych rozvodov tepla (kapitola 1.3.2.2).

Tab. 18: Akčné kroky pri posúdení potenciálu zníženia teploty vody v existujúcich budovách pre vybranú časť existujúceho systému CZT

Poradie	Aktivita	Kroky v rámci aktivity	Zdroj údajov pre posúdenie
1.	Identifikácia kritických odberných miest	Pre zvolenú časť existujúceho systému CZT je vhodné vykonať identifikáciu kritických odberných miest a neefektívnych OST (viď. kapitoly 1.3.1.1 a 1.3.2.7). Výsledky analýzy môžu preukázať neefektívnosť niektorých odberných miest (budov) už pri súčasných teplotných parametroch siete a je pravdepodobné, že tieto budovy budú problematické aj pri ďalšom znižovaní teplôt v sieti.	prevádzkovateľ SCZT, správcovia a vlastníci budov
2.	Vytvorenie prehľadu o pripojených budovách	Zbieranie údajov o ročných spotrebách tepla na vykurovanie, prípravu TV, teplote prívodu a spiatočky na vetve ÚK, teplote prívodu a cirkulácie na vetve TV sekundárneho okruhu apod. (kapitola 1.3.1.3)	prevádzkovateľ SCZT, správcovia a vlastníci budov
3.	Zadefinovanie limitnej teploty pre prípravu TV	Určenie limitnej teploty v prívode primárneho okruhu na základe potrebnej teploty TV na výtoku (rozdiel pri príprave TV cez výmenník tepla a v zásobníku TV). Problematika riešená v kapitolách 1.3.2.2, 1.3.2.8. V prípade rozhodnutia pre zmenu spôsobu prípravy TV, ktorý odstráni limitáciu teploty z dôvodu prípravy TV, je možné uvažovať len s limitáciou teploty vykurovacej vody (viď ďalšia aktivita).	prevádzkovateľ SCZT, správcovia a vlastníci budov

4.	Zadefinovanie limitnej vykurovacej teploty	Určenie limitnej teploty prívodu na vetve ÚK v sekundárnom okruhu berúc v ohľad možnosti zníženia teploty prívodu v primárnom okruhu (problematika súvisiaca s úzkymi miestami v rozvodoch tepla, viď kapitola 1.3.2.3). Teplota musí byť nastavená tak, aby zabezpečila tepelnú pohodu užívateľov (viď. ďalšia aktivita).	prevádzkovateľ SCZT
5.	Overenie vhodnosti budovy a vykurovacieho systému budovy	Postup opísaný v kapitolách 1.3.1.4 a 1.3.1.5.	správca a vlastníci budovy
6.	Rozhodnutie ďalšieho postupu	V prípade, že stav tepelnej ochrany budovy a vykurovacej sústavy vyhovuje prevádzke pri zvolenej zníženej teplote vykurovacej vody, môže sa pristúpiť k ďalším krokom (overenie OST). V prípade, že nevyhovuje, je potrebné pristúpiť ku krokom z bodu 6 v postupe z kapitoly 1.3.1.4.	-

Zdroj: vlastné spracovanie

Najväčším problémom pri transformácii existujúcich systémov CZT na nízko teplotné je to, že prevádzkovateľ systému CZT nemá priamy vplyv na stav sekundárneho okruhu v budovách. V praxi sa však využívajú overené spôsoby ako motivovať alebo prinútiť odberateľa tepla zefektívniť hospodárenie s dodávaným teplom, čo sa prejaví pozitívne na nižšej teplote vody v spiatočke sekundárneho okruhu a následne nastaví možnosti zníženia teplôt vody aj v primárnom okruhu systému CZT. Najčastejšie ide o:

- Nastavenie limitu teploty spiatočnej vody v sekundárnom okruhu (nastavenie max. teploty spiatočky),
- Nastavenie limitu teplotného spádu v sekundárnom okruhu (nastavenie minimálneho teplotného spádu),
- Motivačná tarifa v cene tepla za dodržiavanie nastavených limitov (nastavená v závislosti od prvých dvoch bodov),
- Poplatky za prekročenie nastavených limitov (nastavené v závislosti od prvých dvoch bodov),
- Ponúknutie služieb energetických špecialistov pre odberateľov s najvyššími prietokmi.

Pri niektorých vyššie opísaných opatreniach môže nastať rozpor so súčasnou legislatívou v oblasti cenotvorby tepla (vyhlášky č. 312/2022 Z. z.).

OST a primárne rozvody tepla

V rámci primárnej rozvodnej siete a analýze možnosti jej použitia pre nízko teplotný systém je najdôležitejšie zanalyzovať schopnosť prevádzky OST pri znížených teplotách vody. Pri samotných rozvodoch tepla je prakticky jedinou bariérou potenciálny výskyt úzkych miest (tzv. bottlenecks). Posúdenie rozvodnej siete a OST v zmysle prechodu na nízko teplotný režim je pomerne náročná a odborná úloha a vyžaduje si zapojenie expertnej skupiny. Aktivity opísané v tabuľke nižšie (Tab. 19) by mali nasledovať po vyriešení nedostatkov týkajúcich sa spotrebičov tepla (pripojených budov).

Tab. 19: Akčné kroky pri posúdení potenciálu zníženia teploty v OST pre vybranú časť existujúceho systému CZT

Poradie	Aktivita	Kroky v rámci aktivity	Zdroj údajov pre posúdenie
1.	Identifikácia kritických odberných miest	Vyhodnotenie efektívnosti existujúcich OST v rámci posudzovanej časti existujúceho systému CZT (1.3.2.7). Túto aktivitu je vhodné vykonať aj pred posúdením potenciálu zníženia teplôt v rámci pripojených budov (viď. aktivita č.1 v Tab. 18) a aj po vyhodnotení a vyriešení problematiky budov a vykurovacích telies (viď. aktivita č.6 v Tab. 18) z dôvodu overenia funkčnosti OST pri nových teplotných parametroch.	prevádzkovateľ SCZT
2.	Technická kontrola OST	Podrobná kontrola neefektívnych OST. Typické problémy v OST sú opísané v kapitole 1.3.2.8. Vyhodnotenú technické problémy OST by mali byť odstránené.	prevádzkovateľ SCZT
3.	Voľba teploty prívodu a spiatočky v primárnych rozvodoch	Zvolenie teplotných pomerov (teplôt prívodu a spiatočky) v primárnom okruhu na základe uvažovaných znížených teplôt v sekundárnom okruhu.	prevádzkovateľ SCZT
4.	Overenie rizikovosti vzniku úzkych miest (tzv. bottlenecks)	Overenie možnosti výskytu tzv. bottlenecks v existujúcich primárnych rozvodov pri znížených teplotných pomeroch v rámci posudzovanej časti existujúceho systému CZT (1.3.2.3).	prevádzkovateľ SCZT
5.	Rozhodnutie ďalšieho postupu	Ak je primárna sieť systému CZT a posudzované OST schopné fungovať pri zvolených nižších teplotách vody (nehrozia poruchy v OST a ani tzv. bottlenecks pri špičkovej dodávke tepla), môže sa postupovať k ďalším krokom (zdroje tepla). Ak hrozí výskyt tzv. bottlenecks alebo poruchy v OST, je potrebné vykonať niektoré z opatrení, ktoré sú opísané v kapitolách 1.3.2.8 a 1.3.2.3.	-

Zdroj: vlastné spracovanie

Zdroje tepla

Pri dimenzovaní zdrojov tepla vhodných pre nízkoteplotný režim je potrebné, aby bola zabezpečená dodávka tepla pri maximálnych odberoch tepla. Práve bezpečnosť dodávky tepla je určitou bariérou pri úplnej dekarbonizácii tepelných sietí. Integrovanie nových zdrojov tepla vychádza z charakteru odberu tepla, ktorý je definovaný krivkou trvania odberu tepla 1.3.3.2. Použitie nízkoteplotných systémov CZT umožňuje integráciu obnoviteľných zdrojov energie, ktoré sú limitované rozsahom vhodnej aplikácie.

Tab. 20: Akčné kroky pri posúdení potenciálu zníženia teploty pre vybranú časť existujúceho systému CZT – zdroje tepla

Poradie	Aktivita	Kroky v rámci aktivity	Zdroj údajov pre posúdenie
1.	Posúdenie súčasného stavu zdrojov tepla	Posúdenie účinnosti, technického stavu, poruchovosti a zostávajúcej životnosti súčasných zdrojov tepla.	prevádzkovateľ SCZT
2.	Aktualizácia krivky odberu tepla	Zostavenie krivky odberu tepla na základe znížených teplotných parametrov a stanovenie maximálneho tepelného výkonu (kapitoly 1.3.3.1 a 1.3.3.2) uvažujúc znížené tepelné straty v rozvodoch (1.3.2.5) a zvýšenú efektívnosť na strane spotreby tepla (1.3.1.5, 1.3.2.8).	prevádzkovateľ SCZT
3.	Posúdenie súčasných zdrojov tepla v nízkoteplotnom režime	Analýza použiteľnosti jestvujúcich zdrojov tepla na prevádzku v nízkoteplotnom režime. Rozhodnutie o vylúčení a ponechaní zdrojov tepla berúc v úvahu zámer projektu, bezpečnosť dodávky tepla, technický stav jestvujúcich zdrojov (aktivita 1) a iné aspekty ovplyvňujúce projekt.	prevádzkovateľ SCZT
4.	Analýza dostupnosti a použiteľnosti nových zdrojov tepla	Analýza potenciálu zdrojov tepla v lokalite a posúdenie možnosti ich integrácie do jestvujúceho systému SCZT (kapitola 0) berúc v úvahu zámer projektu, bezpečnosť dodávky tepla, technický stav jestvujúcich zdrojov (aktivita 1) a iné aspekty ovplyvňujúce projekt. Stanovenie potrebných výkonov jednotlivých zdrojov.	prevádzkovateľ SCZT, samospráva a iné subjekty v rámci vymedzeného územia
5.	Vyhodnotenie nového energetického mixu	Vyhodnotenie podielu dodávky tepla zabezpečovaného jednotlivými zdrojmi tepla a následné vyčíslenie spotreby palív, elektriny a energie z obnoviteľných zdrojov použitím ukazovateľov účinnosti výroby tepla jednotlivých zdrojov.	-

Zdroj: vlastné spracovanie

Ekonomické hodnotenie

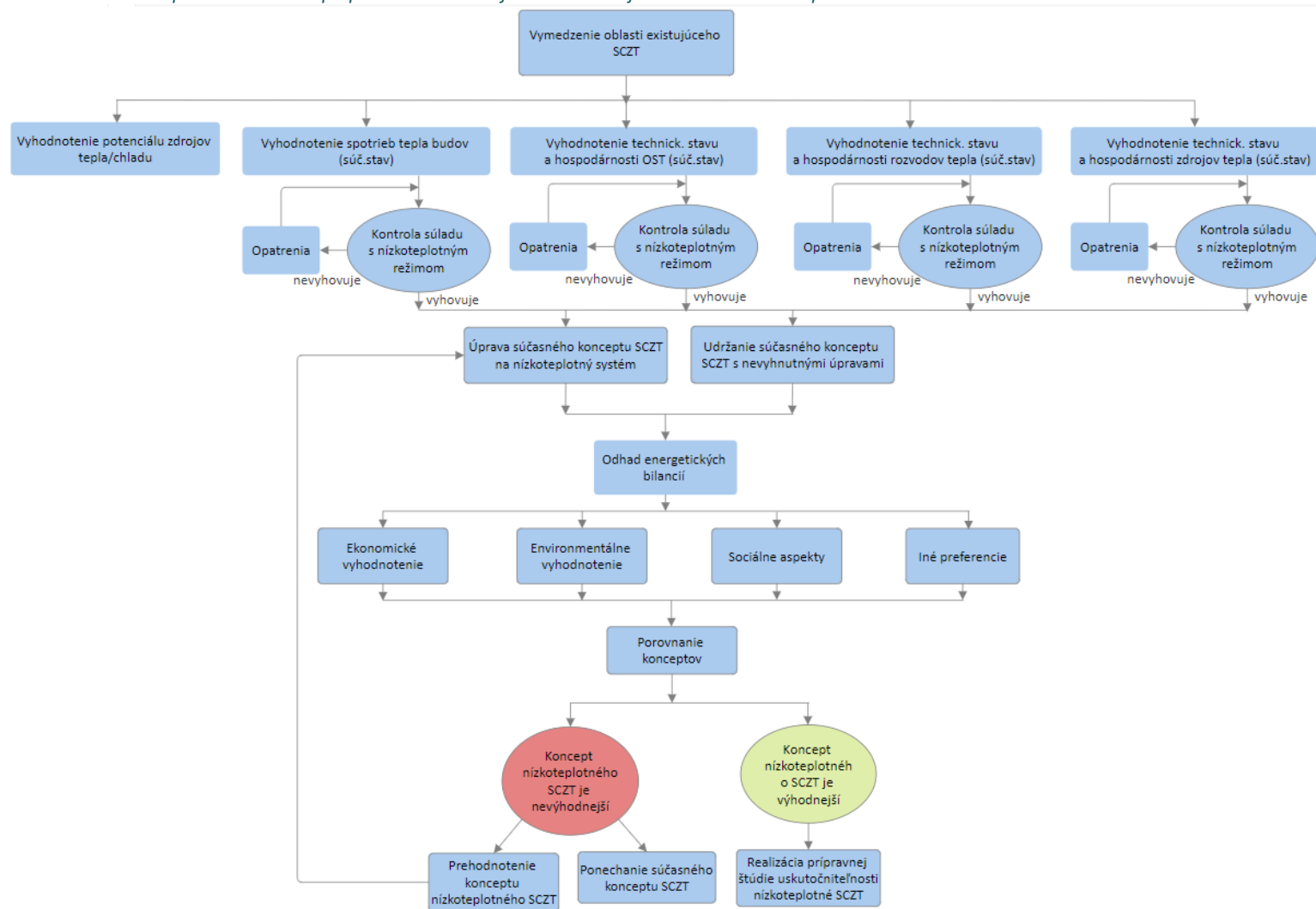
Opatrenia, ktoré vyplynuli po posúdení potenciálu zníženia teplotných pomerov pre jednotlivé technologické celky systému CZT (budovy, OST, primárne rozvody a zdroje tepla) je potrebné ekonomicky vyhodnotiť. Pri transformačnom projekte systému CZT na nízko teplotný režim je možné určiť približné LCOH podľa postupu v kapitole 1.4.1 a na základe výberu zadaných kapitálových a prevádzkových nákladov z kapitoly 1.4.2. Pre zvolené kapitálové položky z Tab. 17 je potrebné stanoviť ceny napr. formou oslovenia dodávateľských firiem technológií. Pre prevádzkové položky vybrané z Tab. 17 je predpokladaný ročný náklad stanovený odhadovanou cenou palív, elektriny a zvyšných operatívnych nákladov (údržba, obhliadky a pod.). V prípade, že je možné uvažovať s viacerými scenármi prechodu existujúceho systému CZT na nízko teplotné, je vhodné vytvoriť viacero LCOH a vzájomne ich porovnať.

Ostatné faktory

Pri podobných projektoch je vždy vhodné posudzovať aj ďalšie dopady takýchto riešení (napr. sociálny dopad). V rámci tohto metodického dokumentu neboli postupy hodnotenia iných dopadov analyzované.

Orientačná schéma predbežného posúdenia vhodnosti transformácie existujúcich SCZT na nízko teplotné SCZT je uvedená na Obr. 13. V prípade predbežného posúdenia je možné kontrolu súladu s nízko teplotným režimom pre jednotlivé aktivity určiť predpokladom, avšak je potrebné tieto predpoklady definovať. V ďalších krokoch projektovej prípravy bude nevyhnutné stanovené predpoklady overiť a podľa zistených skutočností aktualizovať podmienky limitujúce úpravu súčasného konceptu SCZT na nízko teplotný systém. Pre pristúpenie k prípravnej štúdii uskutočniteľnosti by mal byť koncept transformácie na nízko teplotný SCZT výhodnejší ako koncept SCZT zohľadňujúci len nevyhnutné úpravy pre udržanie súčasného stavu. Výhodnosť konceptu transformácie na nízko teplotný SCZT by mala byť dosiahnutá z viacerým hľadísk (ekonomické, environmentálne, sociálne a iné).

Obr. 13: Orientačná procesná schéma pri posudzovaní transformácie existujúcich SCZT na nízko teplotné SCZT



Zdroj: vlastné spracovanie

2.2 Postup posúdenia výstavby nízko-teplotných systémov CZT pre nové štvrte

Vzhľadom k platným legislatívnym predpisom v oblasti energetickej hospodárnosti budov sa prakticky pri každej novostavbe uvažuje s nízko-teplotným vykurovaním, najčastejšie veľkoplošným. Väčšina nových stavieb je realizovaná aj s uvažovaním potreby chladenia. Na základe tejto úvahy je možné pri postupe posúdenia výstavby nízko-teplotných systémov CZT pre nové štvrte uvažovať okrem 4. generácie aj s 5. generáciou zásobovania teplom.

Pri výstavbe nových systémov CZT v nových štvrtiach má prvotná fáza plánovania násobne menej okrajových podmienok ako je tomu u projektov transformácie existujúcich systémov CZT. Logika postupu posúdenia je taktiež mierne odlišná a vychádza z bežného postupu plánovania projektov výstavby nových systémov CZT. Výhodou výstavby systému na zelenej lúke je to, že budovy sa môžu navrhnuť tak, aby vyhovovali zvoleným parametrom zamýšľaného systému CZT. Pri paralelnej výstavbe nového systému CZT a novej štvrte je nutná dôsledná spolupráca medzi tímom developera stavebnej časti projektu a projektantom systému CZT.

Pre účely posúdenia potenciálu výstavby nového systému CZT novej štvrte uvažujeme s existenciou základnej dokumentácie urbanistického riešenia (situačné rozloženie budov, komunikácií, základnej infraštruktúry apod.). Aktivita v rámci posúdenia v Tab. 21 sú síce zoradené, avšak postup posúdenia nie je spravidla vykonávaný jednorazovo. Jednotlivé kroky je spravidla potrebné vykonať niekoľkokrát až dôjde k optimálnej podobe návrhu (iteračný spôsob). Rovnaký postup sa zopakuje pre ďalší scenár projektu, ak je požiadavka mať viacero riešení.

Tab. 21: Akčné kroky pri posúdení potenciálu výstavby nízko-teplotného systému CZT v novej štvrti

Poradie	Aktivita	Kroky v rámci aktivity	Zdroj údajov pre posúdenie
1.	Stanovenie maximálneho tepelného výkonu a ročnej potreby tepla	Určenie maximálneho tepelného výkonu a ročnej potreby tepla na základe poskytnutých údajov o potrebe tepla na ÚK, na prípravu TV a prípadne potrebe chladu od developera projektu na základe prvotných projektov urbanistického riešenia (kapitola 1.3.3.1 a 1.3.3.2). V prípade nedostupnosti dát o potrebe tepla a chladu je nutné odhadnúť tieto hodnoty z celkových podlahových plôch plánovaných objektov uvažujúc kategórie budov (možné použiť údaje z vyhlášky 364/2012 Z. z., prípadne normy STN 730540-2). Pri posudzovaní sa ešte neodporúča robiť komplikované výpočty ročnej potreby energie	developer projektu novej štvrte

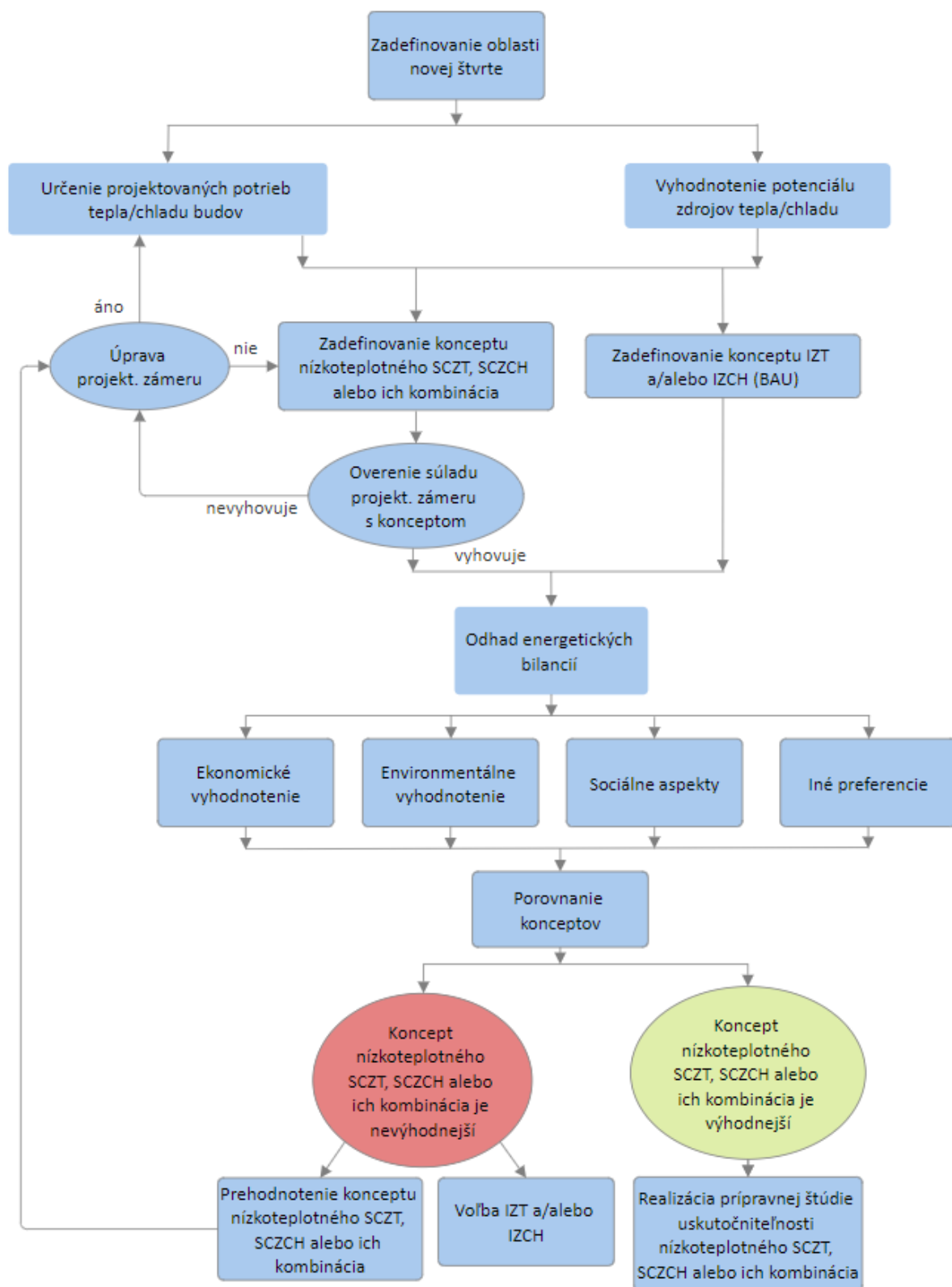
		uvažovaných budov. V prípade chladu je nutné spraviť aj vlastnú krivku odberu chladu.	
2.	Zostavenie krivky odberu tepla (prípadne aj chladu)	Zostavenie krivky odberu tepla (prípadne aj chladu) na základe údajov o potrebe tepla na ÚK, na prípravu TV zistených v predchádzajúcom kroku (kapitoly 1.3.3.1 a 1.3.3.2). V prípade chladu je nutné spraviť aj vlastnú krivku odberu chladu.	-
3.	Analýza dostupnosti a použiteľnosti zdrojov tepla (prípadne chladu) v lokalite	Určenie potenciálu zdrojov tepla v lokalite a stanovenie ich funkcie z hľadiska zabezpečenia ročnej potreby tepla, prípadne chladu (kapitoly 0 až 1.3.3.8).	developer projektu novej štvrte, samospráva a iné subjekty v rámci vymedzeného územia
4.	Zostavenie tepelného riešenia	Voľba použitia zdrojov tepla (a chladu) vyplývajúca z analýzy v predchádzajúcom kroku.	-
5.	Zjednodušený výpočet tepelnej siete alebo simulácia	Po zvolení zdrojov tepla sa pristúpi k návrhu predpokladaného rozloženia rozvodnej siete tepla (poprípade aj chladu) berúc v úvahu vhodnosť topológie z kapitol 1.3.2.1 a 1.3.2.2 a nastavené projektové podmienky (poloha cestných komunikácií a chodníkov, ostatná energetická infraštruktúra, rozmiestnenie budov a pod.). Vypočítané parametre tepelnej siete (pre dodávku tepla, prípadne aj dodávku chladu) sa môžu použiť pre aktualizáciu krivky odberu tepla a chladu uvedenú v aktivite č.1.	developer projektu novej štvrte
6.	Posúdenie ekonomickej konkurencieschopnosti navrhnutých scenárov	Výpočet LCOH na základe odhadovaných kapitálových a prevádzkových nákladov (kapitoly 1.4.1 a 1.4.2.) navrhnutých zariadení a v prípade požiadavky komparatívnej štúdie aj porovnanie zvoleného riešenia s bežne používaným riešením na trhu (napríklad individuálne zásobovanie teplom pomocou tepelných čerpadiel vzduch/voda alebo kondenzačným plynovým kotlom) alebo iným riešením na báze SCZT. Všetky riešenia by mali byť vyhodnotené rovnakou metódou výpočtu ceny tepla/chladu (napr. metóda LCOH).	-

Zdroj: vlastné spracovanie

V rámci posúdenia je možné uvažovať aj ďalšie faktory (napr. komunitný alebo sociálny aspekt), ktorých preferencia môže limitovať využitie niektorých riešení. Tieto faktory sú na developerovi projektu a nesúvisia s energetickým návrhom riešenia.

Orientačná schéma predbežného posúdenia vhodnosti výstavby nízkotepelných SCZT pre nové štvrte je uvedená na Obr. 14Obr. 13. V prípade predbežného posúdenia je nevyhnutné overiť kompatibilitu projektového zámeru výstavby novej štvrte s konceptom nízkotepelného SCZT. Podľa stupňa spracovania projektového zámeru je možné dosiahnutie súladu vzájomnou úpravou konceptu nízkotepelného SCZT a projektového zámeru. Pokiaľ nie je možná úprava projektového zámeru, tak je nevyhnutné len prispôbienie konceptu nízkotepelného SCZT. Koncept nízkotepelného SCZT by mal byť výhodnejší ako typické riešenie IZT v danej oblasti tzv. BAU – „Business As Usual“. BAU môžu predstavovať napríklad kotly na zemný plyn, prípadne tepelné čerpadlá typu vzduch/voda. Výhodnosť konceptu nízkotepelného SCZT by mala byť dosiahnutá z viacerým hľadísk (ekonomické, environmentálne, sociálne a iné).

Obr. 14: Orientačná procesná schéma pri posudzovaní výstavby nízkoenergetických SCZT pre nové štvrte



Zdroj: vlastné spracovanie

2.3 Postup posúdenia transformácie existujúcich systémov IZT

Prestavba systémov IZT na nízkoteplotný systém CZT je možná len za mimoriadne výhodných podmienok. Z praxe sa jedná najčastejšie o rozširovanie už existujúceho systému CZT, ktoré dokáže ponúknuť atraktívnu cenu tepla pre potenciálnych odberateľov uvažovanej oblasti. V takýchto prípadoch sa vychádza z údajov, ktoré sú k dispozícii, keďže systém CZT už existuje.

Omnoho komplikovanejší prípad prestavby systémov IZT na systémy CZT je v prípade vybudovania úplne nových nízkoteplotných systémov CZT. V takomto prípade je potrebné začať od potenciálnych spotrebičov tepla – budov.

Tab. 22: Akčné kroky pri posúdení potenciálu transformácie existujúcich systémov IZT na nízkoteplotný systém CZT

Poradie	Aktivita	Kroky v rámci aktivity	Zdroj údajov pre posúdenie
1.	Analýza vhodnosti oblasti vybudovania nového systému CZT	Prvotná analýza územia by mala byť rýchla a môže vychádzať z verejne dostupných údajov a máp – ideálne sú oblasti s hustejším osídlením (bytové domy, hustá zástavba rodinných domov a pod.). Použité môže byť aj hodnotenie formou hustoty odberu tepla (parameter vysvetlený nižšie pod tabuľkou). Použiť sa dajú aj webové nástroje (napr. hotmaps ¹¹⁹).	údaje z katasterportálu, samospráva
2.	Stanovenie maximálneho tepelného výkonu a ročnej potreby tepla	Určenie maximálneho tepelného výkonu a ročnej potreby tepla z krivky na základe získaných údajov o potrebe tepla (kapitola 1.3.3.1). Dáta o spotrebe tepla objektov väčšinou nie sú k dispozícii a je nutné vykonať terénny prieskum ¹²⁰ . Možno je postupovať aj na základe odhadovaných potrieb tepla podľa obdobia výstavby budovy alebo obdobia rekonštrukcie tepelnej ochrany budovy (napr. podľa metodiky ¹²¹).	majitelia budov (terénny prieskum)

¹¹⁹ <https://www.hotmaps.eu/map>

¹²⁰ Napr. kontaktovaním majiteľov budov formou dotazníkov.

¹²¹ BENDŽALOVÁ, Jana a Daniela MUŠKÁTOVÁ. Metodika na stanovenie potreby energie a potenciálu energetických úspor v sektore budov: Metodický postup pre tvorbu regionálnych nízkouhlíkových stratégií. 2020. Dostupné z: https://energoportal.org/images/dokumenty/Vystupy_EVS/Metodika_budovy_web.pdf

3.	Zostavenie krivky odberu tepla	Zostavenie krivky odberu tepla na základe zistených údajov o spotrebe/potrebe tepla na ÚK a na prípravu TV (kapitoly 1.3.3.1 a 1.3.3.2).	-
4.	Analýza dostupnosti a použiteľnosti zdrojov tepla v lokalite	Určenie potenciálu zdrojov tepla v lokalite a stanovenie ich funkcie z hľadiska zabezpečenia ročnej potreby tepla (kapitoly 0 až 1.3.3.8).	samospráva a iné subjekty v rámci vymedzeného územia
5.	Zostavenie tepelného riešenia	Voľba použitia zdrojov tepla vyplývajúca z analýzy v predchádzajúcom kroku.	-
6.	Zjednodušený výpočet tepelnej siete alebo simulácia	Po zvolení zdrojov tepla sa pristúpi k návrhu predpokladaného rozloženia rozvodnej siete tepla berúc v úvahu vhodnosť topológie z kapitol 1.3.2.1 a 1.3.2.2 a nastavené projektové podmienky (poloha cestných komunikácií a chodníkov, ostatná energetická infraštruktúra, rozmiestnenie budov a pod.). Vypočítané parametre tepelnej siete sa môžu použiť pre aktualizáciu krivky odberu tepla uvedenú v aktivite č.1.	-
7.	Posúdenie ekonomickej konkurencieschopnosti navrhnutých scenárov a existujúceho riešenia	Výpočet LCOH na základe odhadovaných kapitálových a prevádzkových nákladov (kapitoly 1.4.1 a 1.4.2.) a porovnanie zvoleného riešenia s existujúcim riešením (systémy IZT). Vzhľadom k nutnosti presvedčenia väčšiny vlastníkov budov (nutnosť kolektívneho rozhodnutia) je vhodné porovnať vypočítané LCOH navrhnutých scenárov nových systémov CZT s LCOH najlacnejšieho systému IZT ¹²² uvažujúc celkové prevádzkové (napr. dovoz dreva) a kapitálové náklady (napr. odpisy existujúceho kotla na drevo).	majitelia budov (terénny prieskum)

Zdroj: vlastné spracovanie

¹²² Pri dotazníkovom prieskume je vhodné zistiť aj súčasný zdroj tepla v systémoch IZT.

Hustota odberu tepla

Pri prvotnej analýze potenciálu novej štvrte (oblasti) k vybudovaniu systému CZT, prípadne k rozšíreniu existujúceho systému CZT o novú štvrť, je vhodné vyhodnotiť tzv. hustotu odberu tepla¹²³:

$$\text{Hustota odberu tepla} = \frac{\text{Prepokladaný ročný odber tepla [kWh/rok]}}{\text{Zastavaná plocha [m}^2\text{]}}$$

Výsledná hustota odberu tepla udáva predbežnú informáciu o atraktivite uvažovanej oblasti v zmysle výstavby nového systému CZT, resp. pripojenia uvažovanej oblasti k existujúcej sieti CZT. Spravidla platí, že ak oblasť vykazuje hustotu odberu tepla pod 50 kWh/(m².rok), tak pre prípadný projekt systému CZT nie je atraktívna a nemalo by sa s ňou uvažovať. Najideálnejší prípad je, keď je hustota odberu nad 70 kWh/(m².rok).

Obr. 15: Určenie hustoty odberu tepla použitím webového nástroja hotmaps.eu



Zdroj: www.hotmaps.eu

INFORMATION	VALUE
HEAT DENSITY TOTAL	
Heat demand total	61.58 GWh/yr
Counted Cells	109 cells
Heat density min	28.98 MWh/(ha*yr)
Heat density max	1 221.53 MWh/(ha*yr)
Average heat density	564.99 MWh/(ha*yr)

¹²³ NUSSBAUMER, Thomas, Stefan THALMANN, Andres JENNI a Joachim KÖDEL. Handbook on Planning of District Heating Networks. 2020. ISBN 3-908705-39-8.

Orientačná schéma predbežného posúdenia vhodnosti transformácie existujúcich systémov IZT na nízkotepločné SCZT je uvedená na Obr. 16. V prípade predbežného posúdenia je nevyhnutné určiť predpoklad kompatibility budov a ich vykurovacích systémov s nízkotepločným režimom. V ďalších krokoch projektovej prípravy bude nevyhnutné tento predpoklad overiť a podľa zistených skutočností aktualizovať podmienky limitujúce koncept nízkotepločného SCZT. Pre pristúpenie k prípravnej štúdii uskutočniteľnosti by mal byť koncept nízkotepločného SCZT výhodnejší ako koncept zachovania súčasného IZT. Výhodnosť konceptu nízkotepločného SCZT by mala byť dosiahnutá z viacerým hľadísk (ekonomické, environmentálne, sociálne a iné).

Obr. 16: Orientačná procesná schéma pri posudzovaní transformácie existujúcich systémov IZT na nízkotepločné SCZT

