




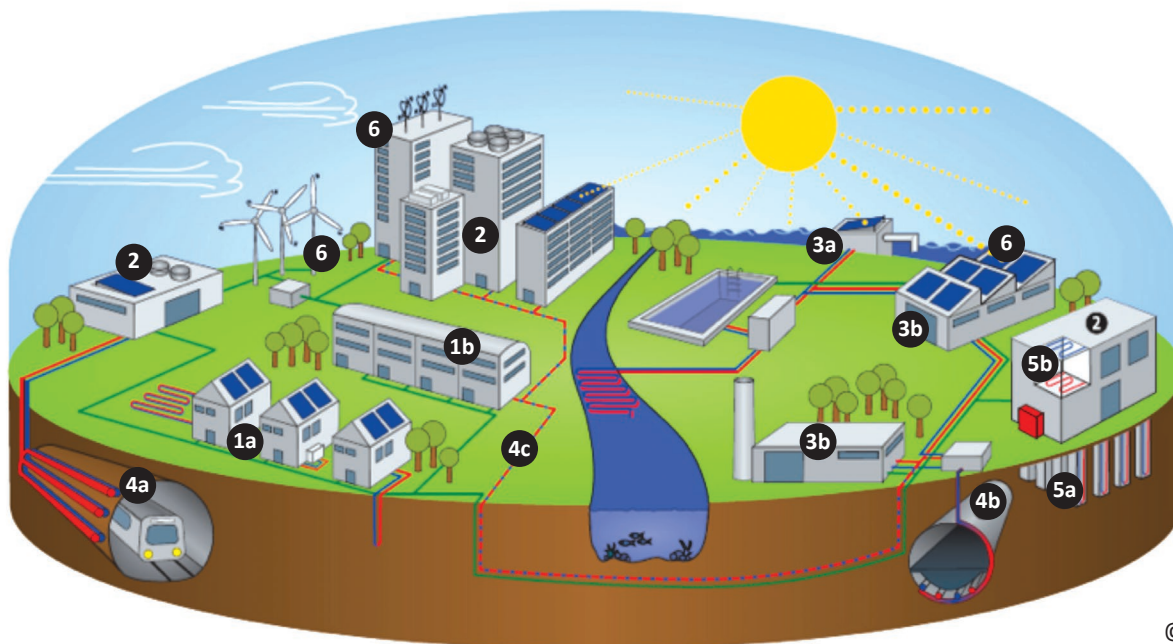
Nové
technologie
a aplikace

tepelných čerpadel



rozšiřující možnosti
jejich uplatnění
(nejen) v podmínkách ČR

2014



© EHPA

1 Tepelná čerpadla v rezidenčním sektoru:

1a – tepelná čerpadla v rodinných domech

1b – tepelná čerpadla v bytových domech

2 Tepelná čerpadla v administrativních a komerčních stavbách

3 Tepelná čerpadla v průmyslu:

3a – tepelná čerpadla jako zdroj tepla pro systémy CZT

3b – tepelná čerpadla jako zdroj tepla ve výrobních procesech

4 Využití tepelných čerpadel v infrastruktuře měst:

4a – tunely/metro

4b – kanalizace

4c – systémy dálkového vytápění či chlazení

5 Konstrukce staveb jako výměník tepla:

5a – základové piloty

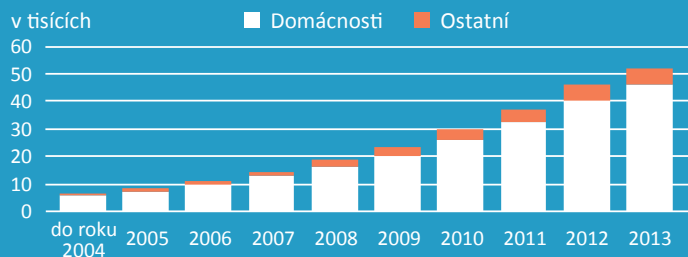
5b – aktivovaný beton

6 Tepelná čerpadla jako akumulátor energie pro (nepravidelnou) výrobu zelené elektřiny



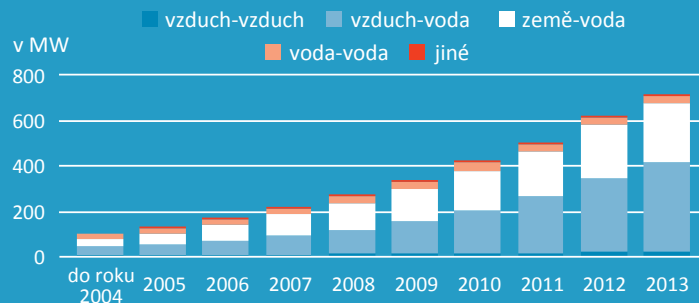
ÚVOD	5
TECHNOLOGICKÉ INOVACE	6
Tepelná čerpadla s mechanickým pohonem	6
Efektivnější kompresory	7
Efektivnější elektropohony a výkonová regulace	8
Modifikace pracovního okruhu tepelných čerpadel	8
Optimalizace ostatních komponent tepelných čerpadel	10
Alternativní zdroje mechanické energie a nízkopotenciálního tepla	11
Tepelná čerpadla poháněná tepelnou energií	12
Absorpční tepelná čerpadla	12
Adsorpční tepelná čerpadla	13
Jiné technologie tepelných čerpadel	14
(ve stádiu vývoje či počátečního komerčního uplatnění)	
INOVACE V APLIKACÍCH	15
Aplikace na tradiční/obnovitelné zdroje tepla	15
Vysokoúčinné aplikace využívající venkovní vzduch	15
Vysokoúčinné aplikace využívající zemské teplo	17
Vysokoúčinné aplikace využívající (povrchovou i podzemní) vodu	19
Aplikace na netradiční/sekundární zdroje tepla	21
Využití odpadního tepla v průmyslu za pomoci tepelných čerpadel	21
Využití odpadních vod z kanalizace a čistíren za pomoci tepelných čerpadel	22
Využití jiných netradičních sekundárních zdrojů tepla	34
ENVIRONMENTÁLNÍ A EKONOMICKÉ PŘÍNOSY TEPELNÝCH ČERPATEL	23
Účinnost tepelných čerpadel na lokální a globální úrovni	23
Ekonomické souvislosti zvyšování účinnosti tepelných čerpadel	26

Vývoj instalací tepelných čerpadel v ČR kumulativně podle počtu



(Zdroj: MPO)

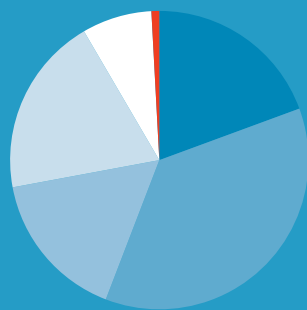
Vývoj instalovaného výkonu tepelných čerpadel v ČR kumulativně podle typu



(Zdroj: MPO)

Využívání energie pro topné účely

Struktura konečné spotřeby energie v sektoru domácností a nevýrobní sféry – současný stav



- el. energie pro krytí tepel. potřeb (7,6 %)
- el. energie pro nezáměnné účely (19,5 %)
- teplo z CZT (16,2 %)
- zemní plyn (36,5 %)
- pevná paliva (19,4 %)
- tepelná energie z TČ obnovitelného původu (0,8 %)

(Zdroj: dle statistik ČSÚ pro rok 2012)

Scénář plné náhrady elektřiny využívané dnes pro topné účely za pomoci tepelných čerpadel

Možný stav při náhradě veškerých přímo- a akumulčních elektrických topidel a kotlů tepelnými čerpadly



- el. energie pro krytí tepel. potřeb (7,6 %)
- el. energie pro nezáměnné účely (19,5 %)
- teplo z CZT (13,2 %)
- zemní plyn (31,6 %)
- pevná paliva (15,5 %)
- tepelná energie z TČ obnovitelného původu (12,6 %)

(Zdroj: modelový scénář dle vlastních výpočtů)

Jen málokterá technologie výroby tepla zažívá v posledních letech tak dynamický rozvoj, jakým jsou tepelná čerpadla (dále také jen „TČ“). Podle statistik MPO se u nás jejich počet i souhrnný tepelný výkon zvýšil za posledních deset let více než osminásobně a na konci tohoto roku (2014) bude některý druh tepelného čerpadla využívat již **okolo padesáti tisíc domácností a více než šest tisíc institucí**.

Za rostoucím počtem instalací lze v první řadě hledat **technologické inovace**. Díky nim se nové modely stávají účinnějšími (dosahují vyšších hodnot tzv. „topného faktoru“ či zkráceně „COP“ z angl. *Coefficient of Performance*) a výkonnějšími (za jinak stejných teplotních podmínek) anebo umožňují docílit vyšších výstupních teplot ohřívání média. Vlivem technologického pokroku se rozšiřuje technický a ekonomický potenciál jejich možného uplatnění, a tím se současně rozšiřuje skupina potenciálních zákazníků. Rostoucí poptávka snižuje náklady výroby a tím klesá prodejní cena nových modelů TČ. O to více se tepelná čerpadla pro zákazníky stávají atraktivnějšími.

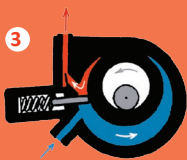
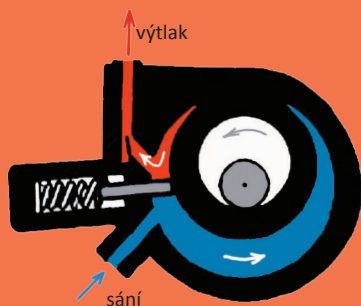
Podle zatím platného Národního akčního plánu ČR pro energii z obnovitelných zdrojů (NAP OZE) ze srpna 2012 by se měl celkový instalovaný výkon tepelných čerpadel v zemi do roku 2020 oproti roku 2013 zdvojnásobit a dosáhnout **více než 1400 MW**. Tomu by odpovídala výroba tepla z obnovitelných zdrojů převyšující **6,5 PJ/rok**.

V dlouhodobém horizontu by se význam TČ v energetické bilanci země měl dále zvyšovat, jak konkretizuje připravovaná Aktualizace Státní energetické koncepce ČR (ASEK ČR). Její návrh předložený Min. průmyslu a obchodu ČR do mezirezortního řízení v srpnu tohoto roku (2014) předpokládá, že do roku 2040 se výkon a výroba „obnovitelného tepla“ tepelnými čerpadly oproti roku 2013 zvýší téměř 5 x. Roční celková výroba tepla TČ by měla převyšovat **15 PJ/rok**.

Pokud přihlédneme k faktu, že mezi lety 2004 až 2014 se celkový tepelný výkon v provozovaných TČ zvýšil 8x, přičemž každé 3–4 roky došlo ke zdvojnásobení, cíl k roku 2020 se jeví jako dosažitelný. I dlouhodobá vize predikující kolik tepla budou TČ v roce 2040 u nás vyrábět má reálný základ. Vlivem technických inovací a stále větší cenové dostupnosti TČ nelze vyloučit, že tato hranice bude dosažena o několik let dříve.

Rozvoj tepelných čerpadel může mít přitom zásadní environmentální přínosy pro celou společnost. Domácnosti, firmy a instituce, které jsou dnes připojeny k distribuční síti na úrovni nízkého napětí a využívají některou ze zvýhodněných „topných“ distribučních sazeb, spotřebovávají každoročně více než 9 TWh elektřiny v době platnosti tzv. „nízkého tarifu“, z čehož min. 80–85 % připadá na topné elektrospotřebiče (přímotopy, akumulární ohříváče). Pokud bychom uvažovali, že postupně stejné množství elektřiny bude využíváno pro výrobu tepla za pomoci TČ, podařilo by se v konečné spotřebě **přidat až 50 PJ tepelné energie obnovitelného původu**, a tím by se podstatně snížilo užití ostatních forem energie (pevná paliva, zemní plyn apod.). Znamenalo by to **až 20 % snížení konečné spotřeby energie** u staveb rezidenčního sektoru a nevýrobní sféry (služeb) v budoucnu při současném nezvýšení celkové spotřeby elektřiny – primární energie potřebné na její výrobu. Uvedených 50 PJ přitom neobsahuje spotřebovanou elektřinu (zatímco dnes je ve statistikách implicitně uvedena a zvyšuje celkovou výrobu tepla z OZE za pomoci TČ).

Je zřejmé, že TČ mají u nás značný rozvojový potenciál; tato publikace si klade za cíl ukázat jak rychle se technologie TČ vyvíjí a kde všude ji lze již dnes nasadit tak, aby její přínosy převážily nad počátečními náklady – jako inspirace pro různé zájmové skupiny, které mohou či by mohly takovéto projekty iniciovat či k jejich vzniku napomoci (investory, projektanty, energetické auditory, správce podpůrných programů a orgány st. správy).



nízký tlak



vysoký tlak

Technologie tepelných čerpadel se neustále vyvíjí. Technologické inovace posledních let se zaměřují na to, aby nové modely byly, účinnější, výkonnější a umožňovaly dosahovat vyšších výstupních teplot (a tím mohly nalézt širší uplatnění). Dlouhodobým trendem je pak vývoj a využití materiálů a komponent, které mají nižší negativní vliv na životní prostředí (relevantní zejména pro použité pracovní látky přenášející teplo mezi zdrojem tepla a ohříváním médiem, tzv. chladiva).

Výrobci tepelných čerpadel jeden či více z těchto parametrů vylepšují inovativním provedením některé z komponent tepelného čerpadla či jeho celku; někdy tato inovace bývá patentována a nese zvláštní označení.

Tepelná čerpadla s mechanickým pohonem

Zdaleka nejpočetněji zastoupená jsou tepelná čerpadla využívající **uzavřeného pracovního okruhu**, v kterém proudí chladivo měnící opakovaně své skupenství při různých (výparných a kondenzačních) teplotách za pomoci **mechanické energie** pohánějící kompresor. Zdrojem mechanické energie bývá nejčastěji **elektrický motor**, ve speciálních případech jím pak mohou být i jiné stroje (spalovací motor, spalovací turbína apod.)¹. Hlavními komponenty pracovního okruhu jsou vedle kompresoru výparník, kondenzátor a expanzní ventil.

Konkrétní tepelně-energetické vlastnosti tepelného čerpadla jsou determinovány druhem a teplotou primárního zdroje tepla, od kterého jej TČ přímo přes teplosměnnou plochu – výparník nebo za pomoci vloženého okruhu obsahujícího teponosné médium na bázi vody a nemrznoucí kapaliny odebírá, kondenzační teplotou chladiva, při které teplo předává ohřívávanému médiu (vodě nebo vzduchu), dále použitým typem chladiva a dalšími částmi pracovního okruhu.

Nejrychleji zřejmě procházejí technologickými inovacemi tepelná čerpadla, která jako primární zdroj tepla využívají (venkovní) vzduch.

Tento typ TČ charakterizuje zpravidla tepelný výkon v řádu desítek kilowatt a dále skutečnost, že se v zásadě jedná o konstrukčně upravené stroje dříve využívané pro chlazení budov respektive jejich vnitřního prostředí. Tepelná čerpadla tohoto typu se však od „klimatizací“ odlišují opačným způsobem provozu (venkovnímu vzduchu teplo nepředávají, ale odebírají jej od něj) a tím, že kondenzátor pracovního okruhu zpravidla nepředává teplo vzduchu ale vodě, protože otopné soustavy staveb v našich podmínkách bývají teplovodní.

¹ Není-li uvedeno jinak, dále v textu je pod kompresorem rozuměn kompresor poháněný elektromotorem.

Níže uvádíme významné technologické inovace, které se v posledních letech zejména díky rostoucí oblíbenosti TČ typu vzduch-voda objevily na trhu.

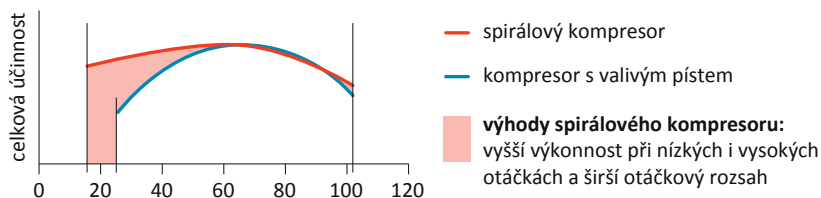
Efektivnější kompresory

Pro tepelná čerpadla menšího výkonu se v posledních letech staly standardem kompresory typu *scroll* (v češtině je lze označovat jako spirálové). Oproti pístovým kompresorům, které byly v chladírenské technice tradičně používány, se vyznačují údajně až dvojnásobnou životností (dle předních výrobců až 40 mil. cyklů, zejména proto, že mají o 70 % menší počet pohyblivých částí), dále jsou tišší a také mají vyšší účinnost, pokud trvale pracují ve zvoleném pracovním bodě.

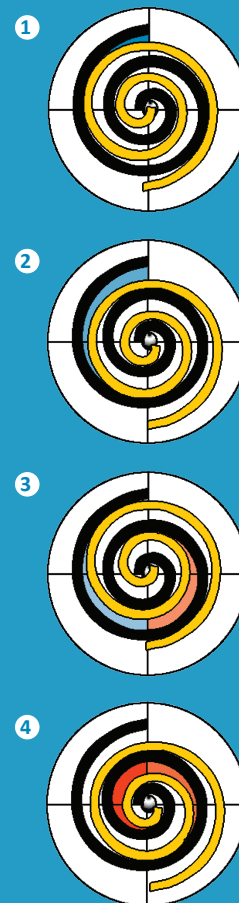
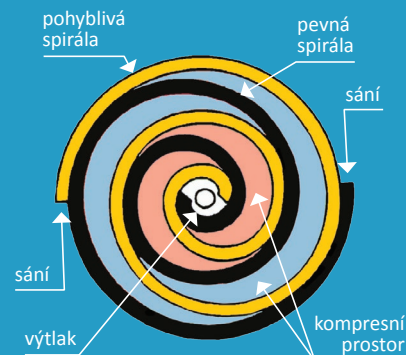
Právě z tohoto důvodu se tento typ kompresorů prosadil jako řešení obvyklé pro menší tepelná čerpadla země-voda i voda-voda, u kterých charakter provozu bývá pro spirálové kompresory příhodný. Tento typ TČ byl zpravidla koncipován tak, že pracoval pouze v jediném (uživatelé či řídicí jednotkou zvoleném) optimálním pracovním bodě, tj. určené kondenzační teplotě, a v případě převisu tepelného výkonu nad potřebami bylo zařízení dočasně odstaveno (tj. řízení on/off) anebo byl do systému zapojen akumulátor tepla pro dočasné vyrovnání rozdílů ve výrobě a spotřebě tepla. U větších aplikací je řešením kaskádové provedení, v němž je k dispozici větší počet jednotek uváděných do provozu a odstavených z provozu dle potřeby. Současně se zde používají jiné typy kompresorů dosahujících vysokých účinností (šroubové, turbokompresory apod.).

Stále častěji se však v praxi prosazuje požadavek na výkonovou regulaci, protože otopné soustavy objektů při ekvitermním řízení pracují s proměnnou teplotou topné vody v závislosti na teplotě venkovního vzduchu. Do popředí se tak dostává účinnost kompresoru v celém rozsahu možného výkonu. Někteří výrobci se tak v aplikacích, kde je požadován/praktikován proměnný výkon tepelného čerpadla, přiklánějí k rotačním vačkovým kompresorům ve dvojitém provedení, v němž je dosahováno vyšších účinností a kompresor má menší velikost (v angličtině nazývány jako *twin rotary* kompresory). Oproti *scroll* kompresorům mají *twin rotary* kompresory dosahovat v částečném a maximálním zatížení vyšší účinnosti (viz obrázek níže), jejich životnost však vzhledem k většímu počtu pohyblivých částí bude kratší (uvádí se přibližně poloviční).

Scroll kompresory však nicméně přesto nacházejí uplatnění i v tepelných čerpadlech s výkonovou regulací.



Princip spirálového kompresoru



Obrázek 4: Srovnání účinnosti obou typů kompresorů při měnících se otáčkách (Zdroj: Toshiba)

Efektivnější elektropohony a výkonová regulace

Integrální součástí kompresorů jsou **elektromotory**, jejichž prostřednictvím lze regulovat výkon kompresorů. I ty procházejí technologickými inovacemi, které umožňují docílovat tepelným čerpadlům vyšší účinnosti. Tradičně v kompresorech a dalších doprovodných součástech tepelných čerpadel (čerpadla, ventilátory) bývaly asynchronní indukční motory s konstantními otáčkami.

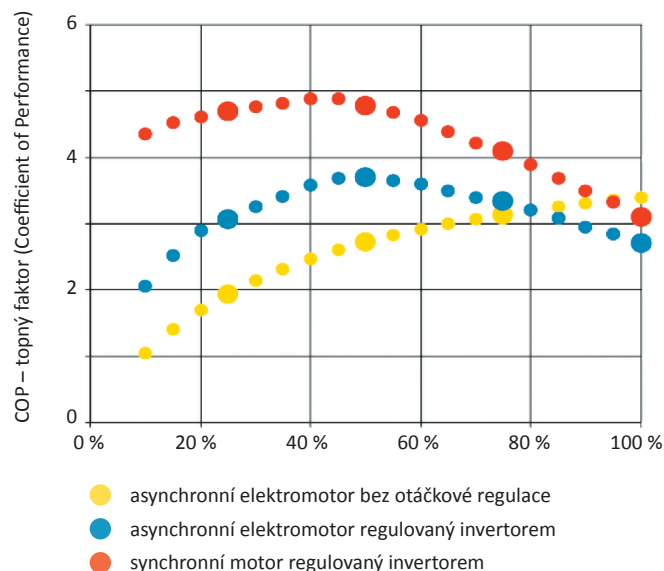
Protože tepelná čerpadla vzduch–voda byla původně využívána v klimatizacích, u kterých bylo a je nutné výstupní chladicí výkon a kondenzační teplotu řídit relativně přesně (aby jednotka chladila jen požadované množství vzduchu na požadovanou výstupní teplotu), jejich standardním pohonem se již před řadou let staly tzv. invertorem řízené asynchronní elektromotory. Invertor zde funguje jako plnohodnotný frekvenční měnič, který změnou frekvence a velikosti síťového střídavého napětí mění počet otáček motoru a tím výkon kompresoru (namísto síťového napětí 50 Hz napájí elektromotor střídavým napětím různé velikosti s typickým rozmezím frekvence 15–105 Hz).

Schopnost výkonové regulace je u tepelných čerpadel vzduch–voda i u jiných druhů TČ výhodná tehdy, pokud otopná soustava objektu využívá řízení teploty topné vody podle teploty venkovního vzduchu (tzv. ekvitermní regulaci) a tedy se v průběhu roku mění. Zde jsou energetické ztráty, které frekvenční měnič způsobuje (může spotřebovat až 4 % procházející energie), menší než přínosy v podobě vyšší hodnoty sezónní účinnosti v důsledku výkonové regulace.

Další zefektivnění elektropohonů kompresorů tepelných čerpadel přineslo zavedení **synchronních bezkartáčových motorů, které mají rotor z permanentních magnetů (v angličtině označované zkratkou BLDC případně jen DC)**. Jejich integrální součástí je opět invertor měnící velikost a průběh střídavého sinusoidního síťového napětí, čímž je motor schopen docílovat výrazně vyšší účinnosti při nižších než jmenovitých otáčkách (zatížení).

Nejnovější inovací je umístění permanentních magnetů ze vzácných zemin přímo do rotoru (zatímco dříve to bylo na jeho povrchu), což dále zlepšuje vlastnosti tohoto elektropohonu zejména z pohledu většího točivého momentu (je nazýván jako *IPM motor* z angl. *Interior Permanent Magnet Motor*). Výrobci uvádí, že **(BL)DC** elektromotory s permanentními magnety uvnitř rotoru dosahují oproti asynchronním motorům vyšší účinnosti až o **4–5 %** (při částečném zatížení), a to i při zohlednění ztrát způsobených invertorem.

Při nasazení těchto elektromotorů i u ventilátorů, případně čerpadel, schopnost výkonové regulace dále roste a umožňuje podstatným způsobem zvyšovat sezónní hodnotu topného faktoru tepelného čerpadla oprotiv srovnání s prostou regulací on-off.



Obrázek 5: Ukázka srovnání dosažené hodnoty COP pro různé výkonové potřeby u tří kompresorů lišících se elektropohonem (Zdroj: CAREL)

Modifikace pracovního okruhu tepelného čerpadla

Významným nedostatkem standardních tepelných čerpadel využívajících jako primární zdroj tepla venkovní vzduch je to, že v důsledku klesající teploty venkovního vzduchu podstatně klesá i jejich tepelný výkon (při požadavku na neměnnou výstupní teplotu ohřívajícího média se snižuje výkon standardního TČ např. při teplotě -15 °C proti teplotě 0 °C i o 40 %). Protože navíc s klesající venkovní teplotou rostou tepelné ztráty objektu a tedy i potřeby tepla, bývají výkonově TČ navrhována na bod bivalence (tedy takovou teplotu venkovního vzduchu, kdy již TČ musí vypomoci bivalentní zdroj, jímž je typicky elektrokotel) -2 až -7 °C , tj. výrazně méně než jak bývá běžné pro TČ země–voda či voda–voda.

Tato nevýhoda, která je důsledkem nízkého sacího tlaku a tedy i toku chladiva kompresorem při velmi nízkých teplotách primární-

ho zdroje tepla, byla eliminována modifikací pracovního okruhu TČ **přídáním interního tepelného výměníku – ekonomizéru a dalšího expanzního ventilu.**

Při velmi nízkých teplotách venkovního vzduchu se část zkvapalněného chladiva opouštějícího kondenzátor oddělí od pracovního okruhu a přes dodatečný expanzní ventil je přivedena na primární stranu ekonomizéru, v jehož sekundární části prochází zkvapalněné chladivo z kondenzátoru směrem do výparníku. Tím je zajištěno dodatečné vychlazení chladiva a zvyšuje se následná účinnost výparníku. Chladivo z primární strany vloženého výměníku je následně v částečně plynné a částečně kapalně podobě podle aktuálních podmínek přiváděno do kompresoru zvláštním přívodem a zajišťuje, že kompresor má dostatek chladiva, které následně může využít v kondenzátoru. Kompresory bývají tzv. dvoustupňové a plynné chladivo z interního výměníku obcházející výparník je vstříkáváno mezi prvním a druhým stupněm.

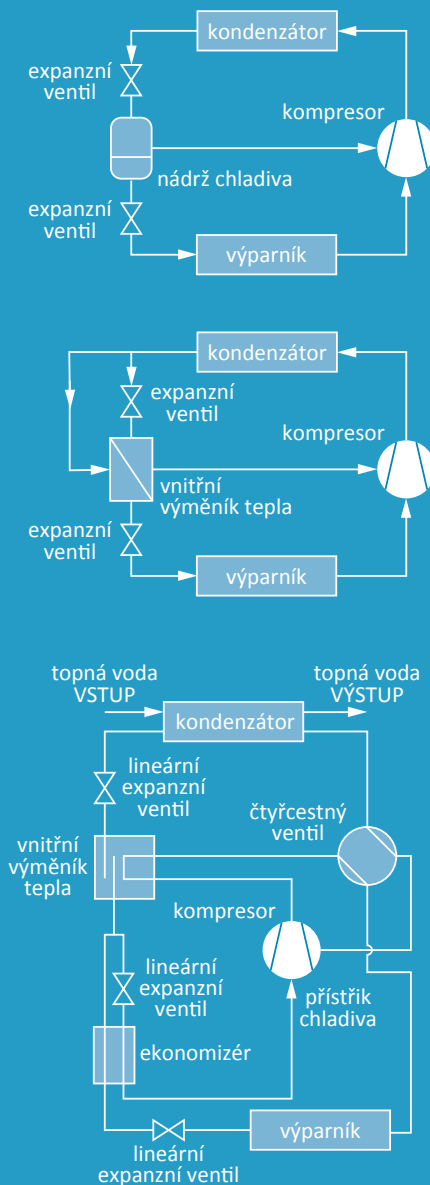
Jistou modifikací této technologie, kterou využívají někteří výrobci, je přímé zapojení dodatečného expanzního ventilu do pracovního okruhu, za nímž je umístěn separátor, jenž oddělí část chladiva, u které dojde ke změně skupenství (separátor je nazýván jako tzv. *flash tank*). Chladivo, které zůstalo nadále v kapalně formě, poté odchází do standardního expanzního ventilu a následně do výparníku.

V praxi toto řešení umožňuje, že takové TČ má tepelný výkon blízký jmenovitému i při teplotách -15°C a nižších a současně umožňuje dosahovat vysoké teploty ohřivaného média (u nejpokročilejších modelů je to i více než 60°C). Určitou daní za to je horší účinnost systému klesající za těchto podmínek (rozdíl mezi výparnou a kondenzační teplotou 50 a více $^{\circ}\text{K}$) i k hodnotě COP nižší než 2 .

Provozní vlastnosti tepelných čerpadel vybavených přístřikem (plynného) chladiva do kompresoru obtokem výparníku pak někteří výrobci ještě vylepšují **dodatečnou vnitřní výměnou tepla mezi parami chladiva za výparníkem a kapalným chladivem** za kondenzátorem spolu s dalším expanzním ventilem. To dále zvyšuje spolehlivost provozu TČ za velmi nízkých teplot. Takovéto zapojení dnes využívá například tepelné čerpadlo *ZUBADAN* od společnosti *Mitsubishi Electric*.

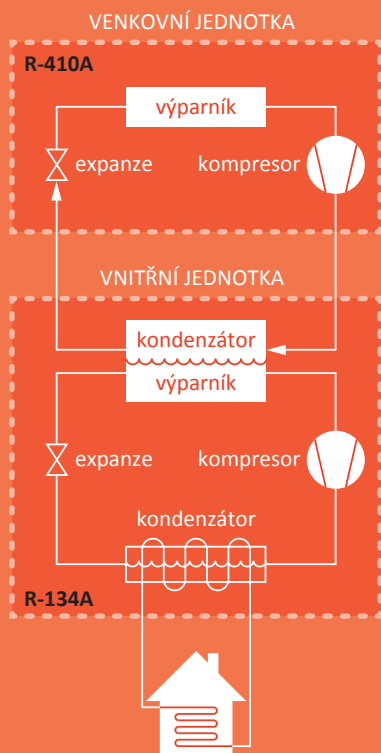
Vysokopotenciální teplo přehřátých par chladiva opouštějících kompresor je pak možné rovněž využít i na dohřev ohřivaného média na teploty, které by jinak v kondenzátoru nebyly dosažitelné. To lze s výhodou využít například na ohřev teplé vody na požadovaných např. 65°C . Protože množství takto získaného tepla představuje pouze asi jen 10% tepla jinak předávaného kondenzátorem, pro smysluplné využití musí mít ohřivané médium jiný průtok. Zatím však toto řešení výrobci komerčně nenabízejí a vysoké výstupní teploty (zpravidla je tím míněno nad 55°C) řeší nasazením chladiv a kompresorů schopných dosahovat vysoké kondenzační teploty anebo zdvojením pracovního okruhu, které pak pracují sériově; v každém z okruhů je využíváno jiné chladivo optimalizované na dané teplotní podmínky. Toto řešení umožňuje trvale poskytovat tepelný výkon až o výstupní teplotě 80°C (využívá zatím jen TČ *Altherma HT* vyráběné společností *Daikin*).

Pracovní okruhy tepelného čerpadla



Obrázek 6: Schémata tří možných provedení pracovních okruhů tepelného čerpadla s přístřikem chladiva do kompresoru (využívaného pro udržování tepelného výkonu za nízkých teplot venkovního vzduchu)

Tepelné čerpadlo se dvěma pracovními okruhy



Obrázek 7:
Schéma tepelného čerpadla se dvěma sériově zapojenými pracovními okruhy s různými chladivými (zde R410A a R134A) pro vyšší výstupní teploty ohřívání média

(Zdroj: Daikin)

Optimalizace ostatních komponent TČ

Technicko-energetické parametry tepelných čerpadel dále umožňuje zlepšit správné dimenzování (či lépe předdimenzování) a konstrukce **výparníku a kondenzátoru**. Zejména konstrukční řešení a dimenzování výparníku je důležité u TČ vzduch-voda, protože má vliv na tvorbu námrazy a její potřebu odtávání. Protože nejučinnější je přenos tepla při využití výměníků na 40–50 % jejich jmenovitého výkonu, u výkonově regulovaných TČ tak účinnost těchto komponent při částečném zatížení roste.

Dalším nikoliv nevýznamným zlepšením je nasazení nikoliv termostatického, ale **elektronicky řízeného expanzního ventilu** (označován v angličtině zkratkou *EEV*). Od termostatického se *EEV* ventil odlišuje přesným řízením průtoku chladiva za pomoci krokového elektropohonu ovládaného kontrolní jednotkou TČ, což dále zlepšuje účinnost celého pracovního okruhu (snižuje kompresní práci, zvyšuje vychlazení v kondenzátoru). *EEV* ventily jsou dále vylepšovány za pomoci pohonů s tzv. duální polaritou (mají vyšší točivý moment) a schopných skutečně přesného – lineárního řízení a pak jsou označovány jako *LEV ventily* (u *EEV* ventilu je odezva na požadavek na změnu průtoku paliva mírně nelineární).

Spojovacím prvkem všech použitých komponent pracovního okruhu je volba **konkrétního chladiva**. V tepelných čerpadlech menších výkonů dnes bývají využívána tato tři chladiva: **R410A, R407C a R134a**. Jedná se o směsi několika různých *HFC uhlovodíků*, přičemž každé z nich má jisté přednosti, které se však mohou naplno využít při systémové optimalizaci zahrnující všechny komponenty pracovního okruhu tepelného čerpadla. Jejich společným rysem je to, že nemají negativní dopad na ozonovou vrstvu (*Ozone Depleting Potential* či zkráceně *ODP* je u nich roven 0), vykazují však relativně vysokou hodnotu vlivu na globální oteplování (tzv. *Global Warming Potential* či zkráceně *GWP* se u nich pohybuje od 1300 pro R134a až po 1725 pro R410A).

Právě tento fakt zvyšuje zájem o chladiva s výrazně nižší hodnotou *GWP*, tj. o přírodní chladiva, přičemž kromě v průmyslovém chlazení běžně používaném **čpavku (R717)** začíná být v segmentu malých tepelných čerpadel jako chladivo nasazován **oxid uhličitý (R744)**, u nějž *GWP* je rovno jedné. Tepelná čerpadla s tímto chladivem vyžadují speciální kompresory schopné docílovat velmi vysokých kompresních tlaků (115 i více bar), jejich velkou předností je ale výjimečná účinnost při vysokých rozdílech vstupní a výstupní teploty ohřívání média, jaké jsou obvyklé například při přípravě teplé vody či v průmyslových aplikacích (delta 50 K a vyšší). Parametr *COP* může za těchto teplotních podmínek dokonce převyšovat hodnotu 4, čímž je možné docílovat velmi nízkých provozních nákladů a šetřit podstatné množství primární energie.

V Japonsku, kde tento typ TČ byl za podpory státu konsorciem několika organizací vyvinut a následně uveden do praxe (nabízen se státní podporou různými výrobci pod společným obchodním názvem *EcoCute*), je velmi populární a na konci roku 2013 počet instalovaných kusů již přesáhl hranici 4 milionů, a to nejen v domácnostech, ale i v institucích nevýrobní sféry (zdravotnická zařízení, školy, výrobní závody, hotely apod.). Tepelné čerpadla *EcoCute* jako primární zdroj tepla standardně využívají venkovní vzduch a umožňují vyrábět teplou vodu až do teploty 90 °C i při venkovních teplotách -20 °C. Při teplotě venkovního vzduchu okolo 4–5 °C, vstupní teplotě studené vody okolo 10 °C a výstupní teplotě 65 °C dosahují prokazatelně hodnoty *COP* vyšší než 3.



Obrázek 8: Model TČ SGH 165 s dodávkou tepla v podobě páry; vpravo tepelné čerpadlo, vlevo parní kompresor

(Zdroj: Kobelco Ltd.)

Právě schopnost docílovat vysokých výstupních teplot při vysoké hodnotě COP dále rozšiřuje možnosti uplatnění tepelných čerpadel i do sektoru výrobní sféry – průmyslu. Dnes jsou dokonce komerčně dostupná řešení TČ, která umožňují dosáhnout výstupních teplot (vzduchu či vody) vyšších než 100 °C a jsou tedy schopná dodávat například i páru. Využívána jsou k tomu pak jiná chladiva (např. R245fa) s dvojstupňovým kompresorem. Při sériovém zapojení tzv. parního kompresoru je dnes dokonce docílováno výstupních teplot páry až 160 °C (0,6 MPa) při celkové účinnosti měřené COP ~2,5. Pro svůj chod však tento typ tepelného čerpadla kromě elektřiny vyžaduje ještě odpadní zdroj tepla v podobě páry o nižších parametrech (pohánějící parní kompresor).

Alternativní zdroje mechanické energie a nízkopotenciálního tepla

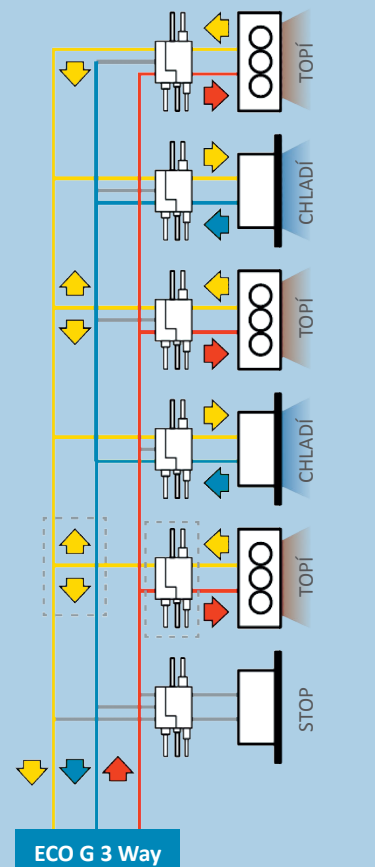
Využití jiných zdrojů mechanické energie a nízkopotenciálního tepla patří k dalším inovativním řešením, která využitelnost tepelných čerpadel rozšiřují. Místo elektromotoru může být využit pohon v podobě **spalovacího motoru** na zemní plyn případně LTO (nazývány jakou pak v angl. jako *Gas Heat Pumps* či zkráceně *GHP*).

U některých modelů může spalovací motor vyrábět elektřinu pro potřeby doprovodných komponent tepelného čerpadla (ventilátory, čerpadla, řídicí jednotka) souběžně za pomoci malého generátoru. Čerpadlo pak spotřebovává téměř jen plyn.

Tento typ tepelných čerpadel se zatím prosazuje v místech, kde je cena plynu výrazně nižší než cena elektřiny, případně kde platí technická omezení na zvyšování el. odběru. Ekonomický elekt může dále zvýšit současná potřeba chlazení, které se může stát zdrojem nízkopotenciálního tepla, jež je přes chladivový okruh opětovně zpětně využíváno na vyšší teplotní hladině.

Souběh potřeby topení a chlazení se nejčastěji vyskytuje v administrativních budovách a také v některých průmyslových výrobcích; za určitých podmínek může takové řešení významně snížit celkové energetické nároky.

System centrálního teplovzdušného vytápění a chlazení

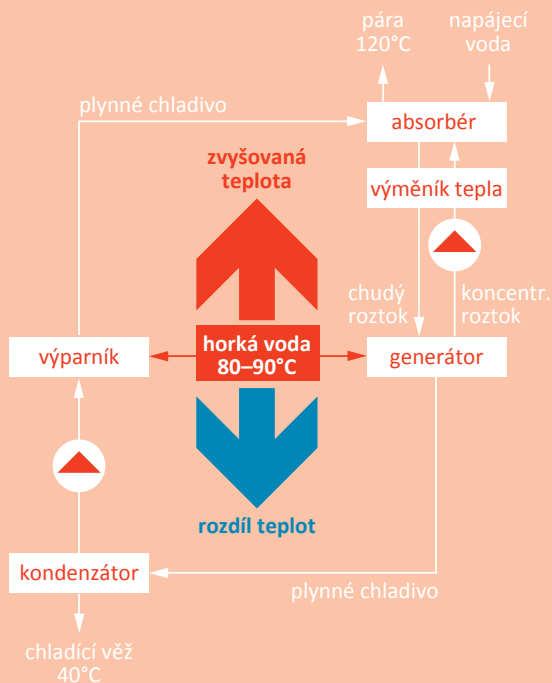


- chladivo pro chlazení (v kapalné fázi)
- chladivo pro topení (v plynné fázi o vysoké teplotě a tlaku)
- sací potrubí (chladivo v plynné fázi o nízké teplotě a tlaku)

Obrázek 9: Ukázka centrálního teplovzdušného systému vytápění a chlazení vhodného pro administrativní objekty, kde centrálním zdrojem tepla/chladu je tepelné čerpadlo ECO G 3 Way poháněné spalovacím motorem na zemní plyn

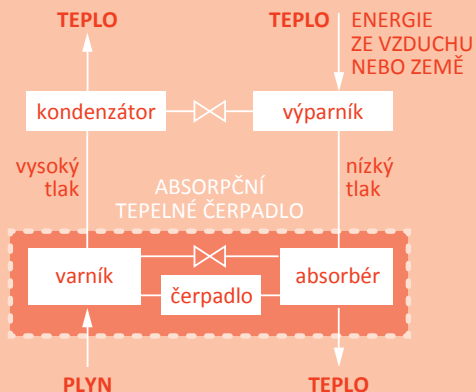
(Zdroj: Panasonic)

Absorpční tepelná čerpadla



Obrázek 11: Schématický obrázek pracovního okruhu absorpčního tepelného čerpadla vyrábějícího páru z teplé vody o teplotě menší než 90 °C páru

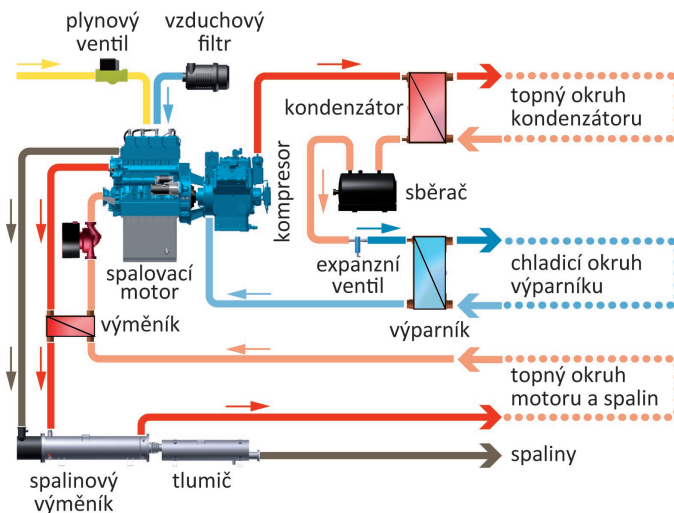
(Zdroj: EBARA Refrigeration Equipment & Systems Co., Ltd.)



Obrázek 12: Principiální schéma absorpčního tepelného čerpadla vzduch(země) – voda

(Zdroj: Robur)

Ve výrobní sféře přitom nízkopotenciálním zdrojem tepla mohou být různé průmyslové systémy chlazení (např. v potravinářském průmyslu) s tím, že odebrané teplo je za pomoci chladivového okruhu s kompresorem poháněným spalovacím motorem posléze využito na vyšší teplotní úrovni pro různé potřeby (předehřevy apod.). Za současných cen elektřiny a zemního plynu se toto řešení zatím prosazuje pouze tam, kde je využito jak vysokopotenciální teplo z chlazení spalovacího motoru a spalin (výstupní teplota okolo 85 °C), tak i nízkopotenciální teplo produkované kondenzátorem chladivového okruhu (výstupní teplota ohřívání média podle použitého chladiva ~45–65 °C).



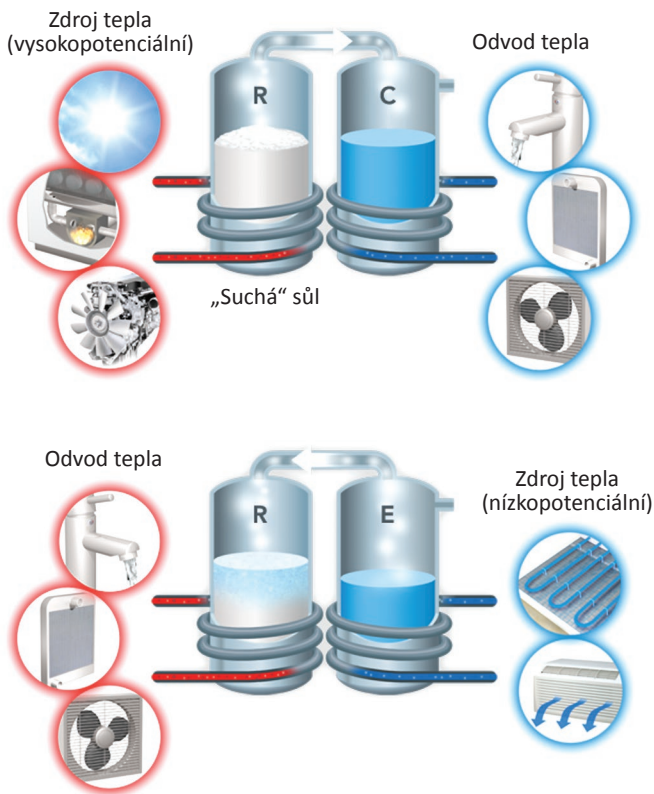
Obrázek 10: Funkční schéma plynového tepelného čerpadla TEDOM Polo 100 (Zdroj: TEDOM)

Tepelná čerpadla poháněná tepelnou energií

Absorpční tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla absorpčního typu podobně jako absorpční chladiče vyžadují hnací energii v podobě teplé/horké vody, vzduchu či páry o určité minimální teplotě (uvádí se alespoň 88 °C). Čím vyšší teplotu hnací energie má, tím efektivněji TČ pracuje. Protože při teplotách hnací energie pod 100 °C klesá hodnota COP pod 1, mají v těchto případech absorpční tepelná čerpadla ekonomické opodstatnění jen za podmínky, že toto teplo nelze ekonomicky využít.

Kromě hnací energie je zapotřebí podobně jako u TČ s chladivovým okruhem zdroj primárního tepla, jehož teplota se má zvyšovat. Toto teplo by mělo být



Obrázek 13: Chemické TČ absorpčního typu využívající jako pracovní médium směs vody a soli (Zdroj: ClimateWell)

rovněž odpadního charakteru (tj. bez možnosti ekonomického využití); má-li dostatečnou úroveň, může z něj absorpční tepelné čerpadlo vyrábět páru (viz obrázek níže). Jako pracovní médium se využívá směs vody a LiBr anebo amoniak (R717); tepelná čerpadla absorpčního typu také potřebují elektrickou energii pro chod nezbytných součástí jednotky (řídící jednotka, čerpadla, případně i ventilátory chladící věže).

TČ absorpčního typu našla doposud uplatnění v různých průmyslových aplikacích a rovněž pak v systémech dálkového vytápění a chlazení, do kterých byly zapojeny zdroje nízkopotenciálního odpadního tepla (např. spalovny komunálních odpadů s mokřým čištěním spalin).

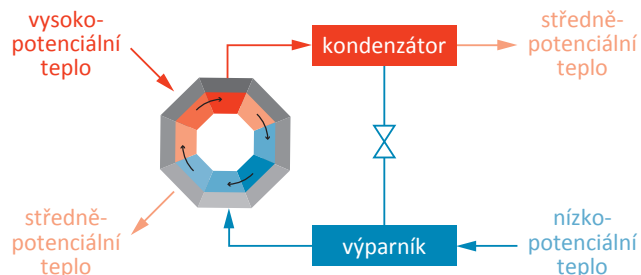
Vlivem technologického pokroku je však možné na trhu nalézt tepelná čerpadla absorpčního typu menších výkonů vhodná zvláště pro

administrativní a obytné budovy, u nichž hnacím médiem je zemní plyn respektive teplo z něj vyrobené a zdrojem primárního tepla venkovní vzduch, případně země nebo voda. Jejich předností je vyšší hodnota COP, která může dosahovat v sezónním průměru hodnoty 1,3–1,4 v našich klimatických podmínkách, je-li pro provozovatele dostačující výstupní teplota ohřívání média (vody) max. 50–55 °C. Jak pracovní médium využívají směs vody a amoniaku (R717).

Zvláštní typ tepelného čerpadla absorpčního typu byl nedávno uveden na trh švédskou společností ClimateWell. Ta využívá pouze dvojice výměníků, přičemž jeden funguje jako reaktor a druhý plní funkci jak výparníku, tak i kondenzátoru. Jako pracovní médium je využívána směs vody a soli udržované ve vakuu. Ohřevem reaktoru za pomoci vysokopotenciálního tepla (např. generované hořákem na zemní plyn) se oddělí kapalina od soli, aby posléze zkondenzovala za pomoci přívodu nízkopotenciálního tepla (např. venkovního vzduchu) v druhé nádobě pracující v režimu kondenzátoru. Následně se za pomoci přívodu nízkopotenciálního tepla kapalina v kondenzátoru pracujícího jako výparník odpaří a poté teplo předá v druhém reaktoru na vyšší teplotní úrovni opětovnou absorpcí do soli. Množství energie, které takto reaktor předá např. topné vodě, je vyšší, než kolik energie je do reaktoru původně ve formě vysokopotenciální energie vloženo (údajně až o 40 % více, což by znamenalo COP na úrovni 1,4).

Adsorpční tepelná čerpadla

Adsorpční tepelná čerpadla zatím komerčně nabízena nejsou, důvodem je zejména nekonkurenceschopná účinnost i cena. Jako hnací energie se rovněž využívá tepelná energie (o vysoké teplotě média), s jejíž pomocí je z tzv. adsorpčního kompresoru vypuzena pracovní látka (opět obvykle amoniak), aby následně v kondenzátoru předala teplo odebrané ve výparníku nízkopotenciálnímu zdroji



Obrázek 14: Funkční schéma adsorpčního tepelného čerpadla

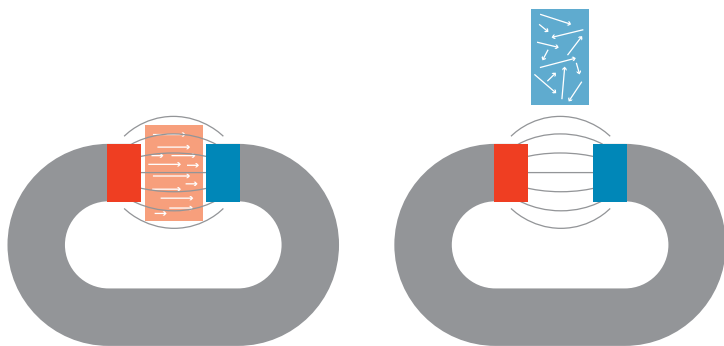
tepla. Pro plynulý tok chladiva by adsorpční kompresor měl mít nejlépe podobu víceúhelníku, jenž se otáčí proti směru hodinových ručiček a jenž ve své spodní části adsorbuje chladivo v plynné formě odcházející z výparníku, aby jej v horní části za pomoci dodaného tepla uvolnil (viz principiální obrázek na další straně). I u adsorpčních tepelných čerpadel je nutné předpokládat spotřebu elektřiny na doprovodné pohony a řídicí jednotku.

Jiné technologie tepelných čerpadel

(ve stádiu vývoje či počátečního komerčního uplatnění)

Kromě výše uvedených technologií může oblast tepelných čerpadel v blízkém budoucnu významně ovlivnit některé naprosto nové řešení.

Za pozornost stojí využití **vody** jako chladiva (R718). Její předností je nulová hodnota GWP a nehořlavost a potenciálně vysoká hodnota COP (údajně minimálně dvojnásobná proti běžným chladivům). Vyžaduje však pracovní okruh pracující ve vakuu a výrazně větší zdvihový objem kompresoru (oproti běžným chladivům až 500násobný), což znamená i vyšší investiční náklady. Zatím se voda jako chladivo spíše prosazuje jako zdroj chladu (a ledu, protože voda v pracovním okruhu dosahuje tzv. trojného bodu).

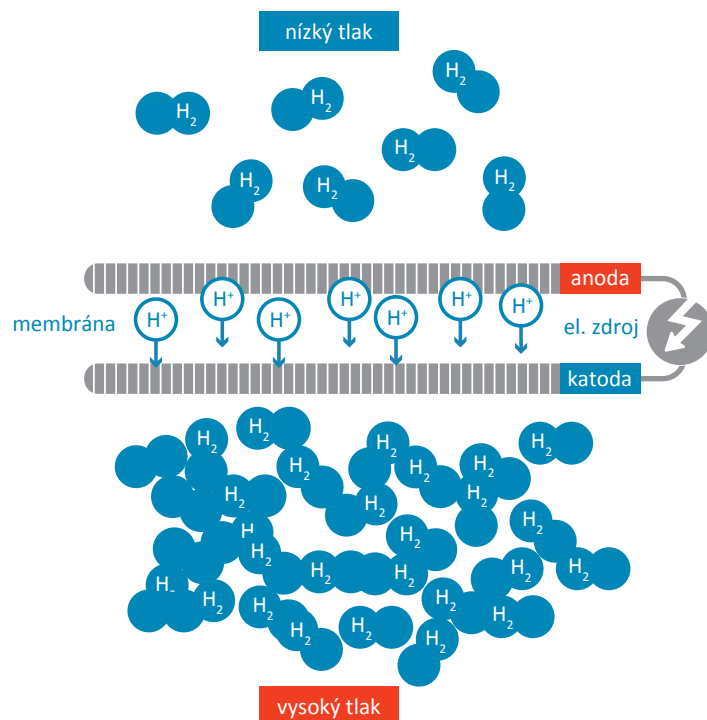


Obrázek 15: Principiální schéma magnetokalorického jevu a jeho možné praktické využití pro vytápění a chlazení

(Zdroj: Cooltech Applications)

Velmi perspektivní technologií, která je považována za vážného nástupce chladivových okruhů s elektrickým kompresorem, je využití tzv. vratného **magnetokalorického efektu**. Při cyklické magnetizaci a demagnetizaci jsou zvláštní sloučeniny kovů (např. typu RCO_2 nebo TbCo_2) schopné absorbovat a uvolňovat relativně významné množství tepla na různé teplotní úrovni. První komerční výrobky ve formě chladících zařízení jsou již na trhu a lze očekávat, že v horizontu několika let může vývoj technologie dospět i pro aplikace tepelných čerpadel. Hnací energií je elektřina a technologie má údajně schopnost dosahovat o 30 až 40 % vyšší účinnosti, než systémy s chladivovými okruhy poháněnými el. energií a co víc – nepotřebuje žádné chladivo, s nímž by se pojila nějaká ekologická či zdravotní negativa.

Jinou inovativní technologií, která nevyužívá žádné pohyblivé části, je tzv. **elektrochemická komprese** (vyvíjí společnost Xergy Inc.).



Obrázek 16: Principiální schéma elektrochemické komprese

(Zdroj: Wikipedia)

Inovacemi v aplikacích lze rozumět taková řešení, která z nějakého důvodu zatím nejsou v našich podmínkách běžná. Jsou to instalace TČ neobvyklé druhem využívaného primárního zdroje tepla anebo zvoleným technickým řešením pokud jde druh nasazeného tepelného čerpadla a způsob využití vyráběného tepla.

Častokrát se přitom tyto faktory vzájemně synergicky ovlivňují a výsledkem je, že TČ v dané aplikaci dosahuje vysoké celoroční účinnosti neboli hodnoty **SCOP** (z anglického *Seasonal Coefficient of Performance*).

Předpokladem tomu je návrh a realizace technického řešení založeného na systémové optimalizaci zahrnující vhodnou volbu primárního zdroje tepla, samotného tepelného čerpadla a způsobu jeho integrace do návazného tepelného hospodářství.

Z empirických zkušeností vyplývá, že **pouhá změna výparné či kondenzační teploty o 1 °C vede ke změně topného faktoru o 2–3 %**, což má významný vliv na ekonomiku provozu.

Na druhou stranu však efektivnější řešení zpravidla vyžadují vyšší počáteční investice a častokrát i koordinovaný přístup různých stran (nikoliv jen samotného investora, ale například i státního či samosprávného orgánu odpovědného za vydávání povolení pro možné užití daného zdroje tepla).

Hodnotě sezónní účinnosti je věnována stále větší pozornost, protože se může dosti výrazně odchylovat od jmenovitých podmínek, za kterých výrobci zatím v souladu s příslušnými normami TČ testují pro možné uvedení na evropský trh.

Navíc se systémový přístup projevuje i ve změně posuzování účinnosti TČ poháněných elektrickým kompresorem, kdy výroba tepla je porovnávána vůči primární energii potřebné na výrobu elektřiny spotřebované TČ (viz **další kapitola**).

Jen s tímto přístupem je možné objektivně rozhodnout, zda TČ jsou environmentálně prospěšná či nikoliv a podle toho jejich zavádění případně vhodně podporovat z veřejných prostředků.

A právě takovými projektům, které svým pojetím naplňují princip systémové optimalizace vedoucí k nadprůměrné hodnotě SCOP generující úspory primární energie, bude níže věnována pozornost s cílem poskytnout cennou inspiraci jak pro možné investory, tak i administrátory programů poskytujících různé formy veřejné podpory pro jejich možnou replikaci v našich podmínkách.

Aplikace na tradiční/ obnovitelné zdroje tepla

Vysokoučinné aplikace využívající venkovní vzduch

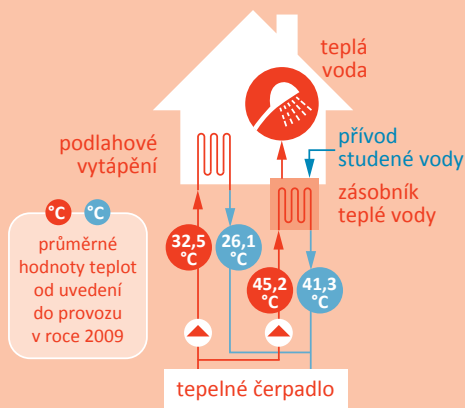
Tepelná čerpadla využívající jako zdroj tepla venkovní vzduch patří z důvodu cenové dostupnosti i snadnosti instalace k nejčastějším, a to jak v ČR, tak i v rámci celé EU.

Nejvyšší tepelné účinnosti dosahují TČ typu **vzduch – vzduch**, které jsou zvláště oblíbené v zemích s méně chladnými zimami i proto, že jsou obvykle klimatizacemi schopnými reverzního chodu.

V zemích, které mají tradiční systém ústředního vytápění řešen jako teplovodní, se TČ **vzduch – voda** musí vypořádat s tím, že výstupní teploty topné vody musí být pro správnou činnost otopné soustavy a možnost předeřevu či ohřevu teplé vody vyšší.

U novostaveb lze tento požadavek minimalizovat instalací nízkoteplotního systému vytápění (typicky označovány takové, u kterých je nejvyšší teplota topné vody navržena na +35 °C). Ta nejprogresivnější řešení umožňují pro udržení požadované teploty vzduchu v interiéru dodávku topné vody o teplotě jen o několik stupňů vyšší. Parametr SCOP u těchto aplikací může dosahovat hodnot **3,5 i vyšší**.

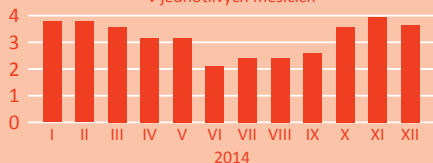
U stávajících staveb je situace komplikována skutečností, že otopné soustavy objektů byly dimenzovány na výrazně vyšší teploty topné vody. Obvyklé je, že v nejchladnějších dnech je zapotřebí dodávat



Vysokoučinnné tepelné čerpadlo vzduch-voda pro rodinné domy

V Německu již několik let probíhá monitoring několika desítek TČ různého provedení instalovaných v rodinných domech s cílem ověřit dosahovanou účinnost v reálných podmínkách. Jednou z instalací je TČ vzduch-voda o tepelném výkonu 9 kW (při A2/W35), které pracuje s průměrnou roční hodnotou COP na úrovni převyšující 3,5 (viz graf níže). Umožňují to nízké teploty topné vody vytápěného objektu díky existenci nízkoteplotní otopné soustavy v podobě podlahového topení (průměrná teplota topné vody dodávané do topení je za více než 5 let provozu cca 33 °C). Vysoká hodnota SCOP je dosažena i při započtení více energeticky náročné přípravy teplé vody, která je řešena za pomoci zásobníkového ohřívače se samostatným topným okruhem (v jeho případě je průměrná teplota topné vody 45 °C, což indikuje průměrnou teplotu vody v ohřívači okolo 40 °C).

Naměřený topný faktor (COP) v jednotlivých měsících



do radiátorů vodu o teplotě až 70 °C. Technologie TČ těchto teplot dosahovat již dnes sice umí, avšak za cenu nižšího topného faktoru, který při rozdílu teplot venkovního vzduchu a výstupní teploty topné vody 50 K (např. A0/W50) klesá na úroveň 2,5 a při teoretickém největším rozdílu 90 K (A-20/W70) na pouhých 1,5 či ještě méně.

V těchto případech je investičně nejméně nákladným řešením využít TČ jen na udržování určité dostačující teploty objektu (např. na 15–17 °C) a vyšší teplotu si zajišťovat za pomoci lokálního topidla v místnosti, v které je nejčastější pobyt osob. Výrobci tepelné techniky pak již nabízí i řešení spočívající v plynovém kondenzačním kotli, do něž je integrováno malé TČ vzduch-voda (nazýváno je jako tzv. **hybridní tepelné čerpadlo**). V přechodové části topné sezóny a v létě jsou tepelné potřeby objektu kryty TČ a plynový kotel přebírá funkci hlavního zdroje tepla v chladných dnech, kdy by provoz TČ byl s nízkou účinností a výkonově nestačil. Řešení umožňuje dosáhnout vysoké průměrné roční účinnosti – vyšší, než kdyby byl využíván pouze plynový kotel anebo tepelné čerpadlo.

Ke zvýšení účinnosti provozu TČ pak přispívá zavedení řízení teploty topné vody dodávané do systému ÚT v závislosti na venkovní teplotě (namísto udržování konstantní teploty). Toto opatření má však efekt jen při venkovních teplotách nad bodem mrazu, protože v mrazivých dnech je stejně nutné dodávat topnou vodu s vysokou výstupní teplotou (nad 60 °C) – tedy s nízkým COP.

Protože řada staveb byla postavena před 30 i více lety, je praktickým řešením alespoň částečné zateplení objektu, takže střední teplota topné vody v systému může klesnout o 15–20 °C, přičemž snížený tepelný výkon těles pro dosažení žádané vnitřní teploty postačuje. Opatření je však při komplexním řešení investičně nákladné, lze jej však rozdělit v čase (nejprve výměna oken, pak zateplení střechy, obvodových zdí atd.).

Situaci může zlepšit případná výměna otopných těles za tělesa s větší přestupnou plochou, což však není vždy možné z prostorových důvodů udělat. Budovat podlahové vytápění je pak představitelné jen u rozsáhlých rekonstrukcí interiéru staveb.

Zatímco u novostaveb je možné odhadovat, že naprostá většina provozuje TČ s vysokou hodnotou SCOP (alespoň 3–3,5), u stávajících domů se takovýchto výsledků dosahuje výjimečně respektive za podmínky souběžné rekonstrukce otopné soustavy na nízkoteplotní.

Výrazně lepších výsledků z pohledu SCOP mohou dosahovat TČ vzduch – voda u administrativních staveb, u kterých systém vytápění je řešen současně i jako systém chlazení. V období přechodové sezóny nebo ve slunných zimních dnech, kdy je souběh vytápění (či přípravy teplé vody) i chlazení, může takto koncipovaný systém dosahovat velmi vysokých hodnot SCOP. Zpravidla je přitom do koncových topných/chladících elementů přímo dopravováno chladivo a teplo je odebíráno či

předáváno teplovzdušným systémem, což dále systém zefektivňuje.

TČ využívající jako chladivo CO₂ umožňuje využití venkovního vzduchu s vysokou účinností i v případě vysokoteplotní aplikace. V Japonsku oblíbená technologie je v Evropě zatím popelkou; v ČR je zatím pouze jediná známá komerční aplikace.

Vysokoučinné aplikace využívající zemské teplo

Druhým nejčastějším zdrojem tepla bývá využití tepla země. Standardním řešením jsou kolektory pokládáné na pozemku okolo objektu, který má být topen/chlazen TČ, do nezámrazné hloubky anebo geotermální vrty do hloubky 100 i více metrů. V jejich případě je realizace komplikována skutečností, že je nutné k realizaci získat souhlas vodoprávního úřadu. Někdy tento úřad vyžaduje vyjádření odborně kvalifikované osoby – hydrogeologa, že vrt negativně neovlivní místní vodní poměry. Geotermální vrty musí být rovněž posouzeny z hlediska vlivů na životní prostředí, o tom rozhoduje příslušný odbor Krajského úřadu.

TČ s geotermálními vrty v kombinaci s podlahovým vytápěním jsou schopné docílovat SCOP až 5., Pokud je otopná soustava tvořena primárně radiátory o návrhové teplotě +55 °C, pak je dosažitelnou hodnotou 3,5.

Pro větší výkony v řádu stovek kilowatt tepelného výkonu je přitom jedinou cestou provedení většího počtu vrtů (na 1 kW tepelného výkonu je zapotřebí 15–20 metrů vrtné hloubky; či jinak z jednoho odvrtného metru je možné získat 100–120 kWh za topnou sezónu).

Elegantním alternativním řešením u velkých novostaveb je využití základové konstrukce jako zemního kolektoru. Zřejmě poprvé se toto řešení v ČR podařilo realizovat u nejvyšší tužské výškové stavby – brněnského mrakodrapu AZ TOWER.

V zahraničí je podobné řešení využito dokonce i u dopravních staveb, jako jsou železniční tunely nebo stanice metra. Konkrétním příkladem může být několik stanic prodloužené linky metra U2 ve Vídni, které jsou vytápěny i chlazeny za pomoci tepelných čerpadel. Dobrou příležitostí pro obdobné řešení by se mohla stát výstavba nové linky metra D v Praze.

První aplikace tepelného čerpadla vzduch-voda s CO₂ chladivem v ČR

První komerční aplikací TČ vzduch-voda využívající jako chladiva oxid uhličitý se nachází v sídle společnosti IVT v Praze. Od roku 2014 je zde instalováno TČ Aquaeco2 o tepelném výkonu 2,5–4,5 kW dostupném až do venkovních teplot -15 °C. TČ je určeno na přípravu teplé vody, přičemž studená voda je přiváděna přímo na kondenzátor a je ohřívána na teplotu 65 °C a ukládána do zásobníku o objemu 500 litrů. Při průměrné teplotě venkovního vzduchu v topné sezóně 4–5 °C by SCOP měl dosahovat minimálně hodnoty 3 při současně velmi nízké hlučnosti celého zařízení (výrobce uvádí 40 dB).



Vzorový dům: TČ v kombinaci s vlastním zdrojem elektřiny

Energetická náročnost krytí tepelných potřeb za pomoci tepelných čerpadel může být v blízkém budoucnu dále snížena instalací vlastního zdroje elektřiny. Nejjednodušší se jeví doplnit objekt o fotovoltaické panely s „chytrým“ regulátorem, s jehož pomocí by provoz TČ byl řízen tak, aby vyráběná elektřina byla využita pro výrobu tepla (není-li ji možné využít pro chod jiných elektrospotřebičů či dodávat do distribuční sítě). S touto pomocí by pak bylo možné podle zkušeností snížit nákup elektřiny z distribuční soustavy o další desítky procent a tím významně zvýšit nezávislost objektu na dodávkách energie z externích zdrojů.

Rodinný dům byl postaven v roce 2000 jako montovaná dřevostavba splňující kritéria pro zařazení do energetické třídy „A“. Jeho podlahová plocha činí cca 270 m² a vytápěn byl původně elektrokotlem za pomoci nízkoteplotní otopné soustavy. V roce 2006 elektrokotel nahradilo TČ vzduch-voda, které 3,5x zvýšilo účinnost výroby tepla. Díky tomu se podařilo snížit spotřebu elektřiny na vytápění a ohřev vody na méně než polovinu (z původní hodnoty 59 kWh/m²/rok na 24 kWh/m²/rok). Další snížení spotřeby elektřiny přinesla instalace FV elektrárny v roce 2011 o výkonu 3,36 kWp, která nyní zajišťuje roční výrobu cca 3,3 MWh a umožnila snížit nákup elektřiny ze sítě na pouhých 12 kWh/m²/rok.





Stanice metra U2 ve Vídni

V rámci rozšíření linky U2 vídeňského metra byly do části prostor nástupišť metra a základových prvků (piloty, základové desky, stěny, atd.) vybranych čtyř stanic integrovány kolektory pro jímání nízkopotenciálního geotermálního tepla, které je prostřednictvím tepelných čerpadel nebo chladicích strojů dále využito pro vytápění resp. chlazení prostor stanic metra či dalších komerčně využívaných přidružených prostor.

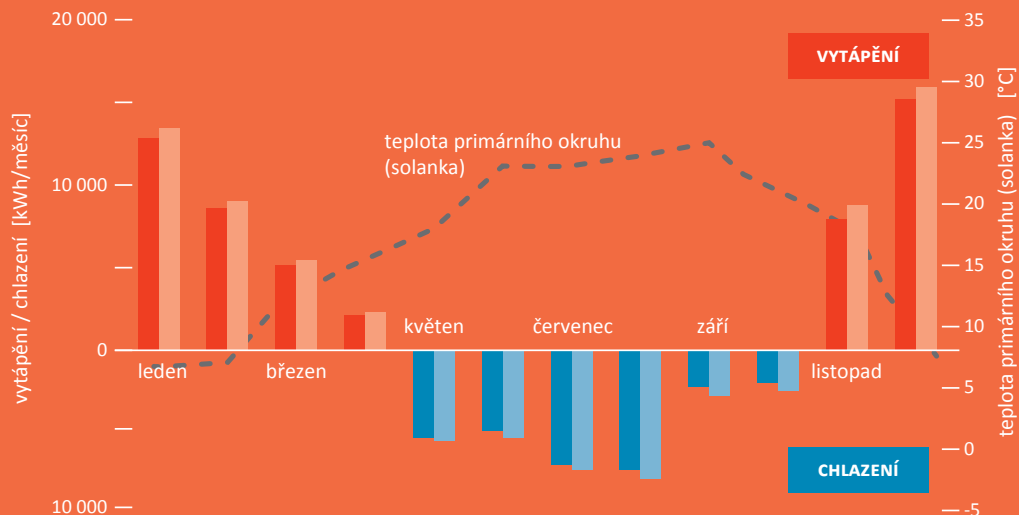
Soubor zařízení instalovaných ve 4 stanicích metra (konkrétně Schottenring, Taborstrasse, Praterstern a Messe) dosahuje v součtu cca 450 kW tepelného výkonu a cca 230 kW výkonu pro chlazení. Dostupné zdroje uvádějí bližší technické specifikace pro stanici U2/3 Praterstern, kde kolektor nízkopotenciálního tepla (resp. absorbér v případě chlazení) představuje 3 700 m² plochy základové desky a 7 350 m² plochy vnějších stěn stanice. V tomto případě pak celý systém (včetně tepelných čerpadel) na svém výstupu dosahuje projektovaného tepelného výkonu 154 kW, resp. 92 kW výkonu pro chlazení.



Mapa tras vídeňského metra: červeně vyznačené stanice využívají geotermální energie



Simulace energetické bilance (vytápění, chlazení) v průběhu roku pro stanici U2/1 Schottenring



Kolektory položené do betonových základů stanic



Jinou inovací v tomto segmentu je využití TČ absorpčního typu, které jako pohonnou energii využívá zemní plyn. První projekty tohoto typu v ČR již existují, jedním z úspěšných je projekt vytápění ZŠ v Dolním Újezdě.

Vysokoučinné aplikace využívající (povrchovou i podzemní) vodu

Využití podzemní či povrchové vody je u nás zatím nejméně častým řešením. V případě podzemní vody je hlavní příčinou omezený výskyt dostatečně vydatného zdroje, dále omezené prostorové podmínky (nutné provést dva vrty – jeden pro odběr spodní vody a druhý pro její vrácení) a také možné problémy, které jsou spojeny se zpětným vsakováním spodní vody do země.

U povrchové vody je situace primárně omezována stávajícím systémem poplatků za využití vody pro tepelné účely, které jsou správci vodních děl či spíše toků požadovány a které jsou proti západním zemím výrazně vyšší (např. proti Německu až desetinásobně. Zpoplatnění využití povrchové vody, tzv. Wassercent, je v jednotlivých spolkových zemích rozdílné).

Zejména větší vodní toky či velká jezera poblíž měst se mohou přitom stát relativně efektivním zdrojem tepla v topné sezóně a lze je s výhodou využít i jako účinné řešení pro chlazení namísto běžných chladičů odvádějících teplo do vzduchu. Není příliš známo, že například v samotném centru Paříže je dnes v provozu rozsáhlý systém centrálního chlazení, který mimo jiné zásobuje chladem slavný Louvre, a který pro odvod tepla využívá vodu z řeky Seiny. Jiným příkladem může být využití vody ze Ženevského jezera pro chlazení vybraných objektů v Ženevě.

Ve světě pak existují hlubinné vrty do hloubek několika kilometrů, které čerpají vodu o teplotě převyšující 90 °C. Jednu z nejvydatnějších lokalit je možné nalézt v jižním Německu; nachází se nad tzv. *Bavarian Molasse Bassin*. Jen například v okolí Mnichova je dnes více než deset vrtů a čerpaná podzemní voda z hloubky více než 3 kilometry je využita např. pro krytí potřeby tepla mnichovského výstaviště. Podzemní voda po předání tepla je vtlačena zpět do podzemního vodního zásobníku.

I v ČR je dnes několik již uskutečněných zajímavých projektů využívajících spodní či povrchovou vodu. Nepochybně největším z nich je využití tepla podzemní vody v rámci systému dálkového vytápění v Děčíně uvedené do provozu v roce 2002. Druhým významným projektem je instalace reverzního chladičového stroje v Národním divadle v roce 2007, která využívá vodu z Vltavy jako zdroj chladu i tepla; vltavskou vodu respektive tzv. průsakovou vodu v jejím povodí využívá od roku 2011 pro vytápění i chlazení za pomoci TČ Palác Žofín.



Topení a chlazení za pomoci zemského tepla v AZ TOWER

Budova je vybavena celkem 90 základovými betonovými piloty o celkové délce 900 m, do nichž je umístěn primární okruh tepelného čerpadla o celkové délce potrubí okolo 12 km. Teplo využívá čtveřice tepelných čerpadel o souhrnném tepelném výkonu více než 240 kW. Piloty současně slouží jako chladič a zároveň akumulátor energie generované v letním období systémem chlazení. Tepelná čerpadla vytápí celou spodní část objektu a ohřívají teplou vodu pro kanceláře, fitness a ostatní komerční prostory. Díky tomu systém dosahuje relativně vysoké celoroční účinnosti vytápění i chlazení.



Příklad nasazení vysokoúčinného geotermálního tepelného čerpadla absorpčního typu

V letech 2009 až 2011 byla provedena komplexní rekonstrukce areálu ZŠ v Dolním Újezdě, jenž je tvořen celkem pěti samostatnými objekty (historická budova, nový pavilon, tělocvična, spojovací chodba, školní jídelna a kuchyně). V první fázi proběhlo komplexní zateplení objektů, na které pak navázala rekonstrukce zdroje tepla, kdy původní atmosférické kotle na zemní plyn nahradila kaskáda celkem šesti vysokotepelných absorpčních tepelných čerpadel rovněž poháněných zemním plynem o celkovém tepelném výkonu 225 kW.

TČ využívají jako primární zdroj tepla geotermální vrty a jsou schopné dosáhnout výstupních teplot topné vody až +65 °C. Díky relativně stabilní teplotě zemního vrtu, který je navíc v létě regenerován teplem ze solárních kolektorů, je dosahováno vysoké sezonní účinnosti nazývané u absorpčních tepelných čerpadel „SPER“ – 1,5, špičkově až 1,7. Díky souběžnému zateplení a modernizaci zdroje tepla se podařilo snížit původní spotřebu zemního plynu téměř až o 70 %.

Využití podzemních vod za pomoci TČ pro CZT v Děčíně

Pod městem se v hloubce více než 550 metrů nachází obrovské podzemní jezero, z něhož prostřednictvím realizovaného vrtu vytéká v množství více než 50 l/s voda o teplotě okolo 30 °C.

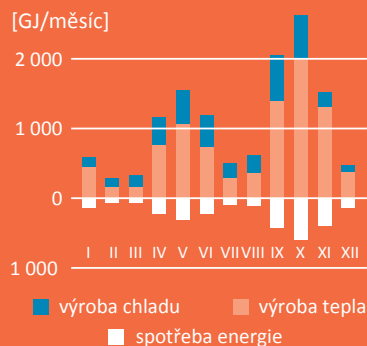
Za pomoci dvojice tepelných čerpadel o celkovém tepelném výkonu 6 MW je vychlazena na 10 °C a tepelná čerpadla takto získané teplo na teplotní úrovni více než 70 °C dodávají do místního systému CZT. Průměrná roční hodnota SCOP má dosahovat okolo 3,5. Ročně je takto z podzemního jezera vyčerpáno asi 1 milionů m³ a vyrobeno cca 80 tis. GJ tepla. Po předání nízkopotenciálního tepla je voda následně dodávána do městského vodojemu a rozvodů jako pitná voda.

Další zajímavostí je, že tepelná čerpadla osazená kompresorovým okruhem jsou poháněna elektřinou vyráběnou dvěma plynovými kogeneračními jednotkami o elektrickém výkonu celkem 1,6 MWe, které současně z chlazení motorů a spalín dodávají rovněž teplo do systému CZT. Při špičkování a jako záloha pak slouží dva plynové horkovodní kotle (2 x 16,5 MW).



Vytápění a chlazení za pomoci vltavské vody v Národním divadle

Vltavská voda je dnes vedle kondenzačních plynových kotlů významným zdrojem tepla pro Národní divadlo. V roce 2007 instalovaný reverzní chladicí stroj totiž může pracovat i v režimu tepelného čerpadla a získávat „nízkopotenciální“ teplo obsažené ve vltavské vodě. Podle potřeby slouží tento stroj jako zdroj chladu nebo jako zdroj tepla k ohřevu TUV a vytápění. Tepelný výkon stroje za jmenovitých podmínek přesahuje 1,4 MW a stroj umožňuje dodávat topnou vodu o mezní teplotě 55 °C. Vltavská voda je využívána jako primární zdroj tepla do +5 °C, tj. obvykle od začátku března do konce listopadu, a průměrný SCOP stroje přesahuje hodnotu 3. TČ vyrobí zhruba 30 % tepelné energie spotřebované v budovách ND a ročně svým provozem ušetří více než 1 mil. Kč v nákladech za energii.



Výroba chladu, tepla a spotřeba energie tepelným čerpadlem v jednotlivých měsících roku 2013 v Národním divadle

Vytápění a chlazení Paláce Žofína za pomoci podzemní vody

Prostory pražského Paláce Žofína jsou od roku 2011 vytápěny a chlazeny za pomoci kaskády trojice tepelných čerpadel typu voda – voda o tepelném výkonu 370 kW. Zdrojem tepla/chladu jsou tři studny hloubky každá cca 16 metrů, které byly na ostrově vyvrtány. Jedná se de facto o průsakovou vodu z Vltavy, jejíž teplota je v průměru o 5–7 °C vyšší v topné sezóně a naopak nižší v letním období, což zvyhodňuje její využití oproti vltavské vodě.

V režimu vytápění je průměrný roční topný faktor TČ více než 4, vysoce efektivní je i systém chlazení. Špičkovými zdroji tepla zůstávají plynové kotle, teplovodní systém podlahového a radiátorového vytápění doplňuje dále vzduchotechnika, celé TZB řídí společný systém M&R. Zatím spolehlivý chod komplikuje pouze vyšší přítomnost železitých příměsí, které nebyly původně předpokládány.



Použití v netradičních/ sekundárních zdrojích tepla

Využití odpadního tepla v průmyslu za pomoci tepelných čerpadel

Řada výrobních procesů je spojena s produkcí nízkopotenciálního tepla, které bývá z důvodu provozní jednoduchosti bez užitku mařeno. Typickým příkladem jsou různé systémy chlazení, u kterých kondenzátory chladivových okruhů jsou zdroji tepla odváděného nejčastěji za pomoci ventilátorů volně do ovzduší. Je-li současně v jiném místě výrobního závodu zapotřebí teplo, může být za určitých podmínek výhodné nahradit stávající chladicí kompresory za nové, vodou chlazené. Úpravou pracovních teplot je pak chladicí kompresor zdrojem dále využitelné tepelné energie (umožní např. předeřevy teplé vody), což je řešení hojně dnes uplatňované u nově instalovaných kompresorů stlačeného vzduchu.

Rekuperovat teplo ze systémů chlazení lze i bez výměny kompresorů. Z kompresoru vystupují (přehřáté) páry chladiva mající u větších výkonů často více než 100°C. Teplo je nakonec zmařeno v kondenzátoru stroje na mnohem nižší úrovni (typicky do 30°C). Podle konkrétního provedení je možné až 15 % tepelné energie horkých spalin získat tím, že páry vystupující z kompresoru jsou před vstupem do kondenzátoru částečně vychlazeny za pomoci vloženého dodatečného tepelného výměníku. Na jeho sekundární stranu je přiváděna teplotně nízká látka primárního okruhu tepelného čerpadla, s jejíž pomocí je teplo předáno TČ, aby bylo následně využito na vyšší teplotní úrovni např. pro přípravu teplé vody. Takovéto řešení je úspěšně realizováno například na zimním stadionu v Třebíči a umožňuje pracovat s průměrným SCOP téměř 3,8 (a to za podmínek, že výstupní teplota ohřívání vody činí 60–62°C).

Jiným řešením v případech, kdy instalovaný chladicí stroj je již chlazen vodou, je jeho doplnění o tepelné čerpadlo, které pak nahradí původní chladicí věž systému chlazení. Příkladem takového uspořádání může být systém ve výrobním závodě společnosti BOSCH v Č. Budějovicích, který patří zřejmě k největší průmyslové instalaci v ČR.

Využití odpadního tepla za pomoci tepelných čerpadel ve výrobních závodech se nemusí spoléhat jen na (existující) systémy strojního chlazení. Může se jednat o jakýkoliv zdroj tepla o teplotní úrovni 20–30°C ve formě odpadního vzduchu či vody. Dobrým příkladem je instalace TČ o tepelném výkonu cca 200 kW pro dochlazování technologických van eloxovací linky ve výrobním závodě REMERX, kde získávané teplo je následně využito pro vytápění výrobní haly a poblíž ležícího skladu.



IVT
TEPELNÁ ČERPADLA

Rekuperace odpadního tepla za pomoci tepelného čerpadla ve výrobním závodě BOSCH

V nově postavené výrobní hale BOSCH v Českých Budějovicích, která má plochu 9 000 m², je využito 11 tepelných čerpadel IVT o celkovém tepelném výkonu 600 kW. Zdrojem energie je v tomto případě chladicí voda kompresorů strojního chlazení, které je využíváno pro chlazení forem linky tzv. vstřikolisů. Tepelná čerpadla zde fungují jako rekuperátor energie, který dokáže využít vznikající odpadní teplo a převést ho na vyšší teplotní hladinu 65°C. Rekuperovaná energie je pak snadno využitelná pro vytápění výrobní haly a kanceláří.

Pro účely rekuperace byla původně navržena dvě průmyslová tepelná čerpadla na bázi chladících jednotek voda/voda. Nové řešení s využitím tepelných čerpadel IVT přineslo díky vyššímu topnému faktoru úsporu elektřiny ve výši 12 %, vyšší výstupní teplotu topné vody a nižší náklady na servis díky menšímu množství chladiva.



ODSTĚPNÝ ZAVOD
G-TERM
HENNICH s.r.o.

Nasazení TČ ve výrobním závodě REMERX

Od roku 2004 je ve výrobním závodě specializujícím se na povrchovou úpravu hliníku a jeho slitin v provozu tepelné čerpadlo zajišťující chlazení a současně ohřev technologických van eloxovací linky. Teplo je odbíráno na teplotní úrovni okolo 20 °C a předáváno s výstupní teplotou dosahující až 70 °C. Přebytečné teplo je využíváno k vytápění výrobní haly. Chladicí výkon (výparník) TČ činí necelých 130 kW a topný výkon (kondenzátor) jednotky pak necelých 200 kW. Rozdíl je doplňován el. poháněným kompresorem. Návrh investice u této instalace byla 1,6 roku.



Využití tepla vyčištěných odpadních vod pro vytápění obytné čtvrti ve švýcarském Winterthuru

V roce 2009 byla po několika letech příprav zahájena výstavba nové části kanalizační stoky v obytné čtvrti Wässerwiesen o velikosti cca 400 bytových jednotek a 1000 obyvatel, která byla vytápěna ze společného tepelného zdroje.

Do kanalizačního potrubí byl umístěn výměník o celkové délce cca 150 m a ploše 160 m², který umožňuje současně instalovaným tepelným čerpadlům voda-voda získávat do centrální kotelny rezidenční čtvrti až 800 kW tepelného výkonu a krýt až 70 % mezních tepelných potřeb.

Využití tepla vyčištěných odpadních vod pro vytápění obytné čtvrti Bremgarten ve švýcarském Bernu

Čistírna odpadních vod švýcarského hlavního města je dimenzována na cca 350 tis. obyvatel a skýtá potenciál ve využití tepla z vyčištěných odpadních vod až 30 MW. Část tohoto potenciálu o velikosti až 1,4 MW je získávána s pomocí dvou výměníků tepla (2 x 700 kW), ve kterých se vypouštěná odpadní voda z ČOV zchladí až o 2°C. S využitím tepelného čerpadla předá teplo topné vodě v navazujícím systému CZT, který zásobuje 4 a půl kilometru dlouhým potrubím soubor stovek rodinných domů. Dodavatel tepla prodá ročně celkem až 5 GWh tepla a okolo 60% z toho pochází z odpadních vod. Průměrný roční topný faktor (SCOP), vč. započtení oběhových čerpadel, má dosahovat hodnoty 3,0.

Využití odpadních vod z kanalizace a čistíren za pomoci tepelných čerpadel

V městských aglomeracích zpravidla existuje rozsáhlý systém kanalizačních sítí sloužících k transportu zejména splaškových vod z domácností, objektů občanského vybavení nebo průmyslových objektů do čistíren odpadních vod (dále jen „ČOV“). Spolu s těmito odpadními vodami odchází z budov značné množství tepelné energie, kterou je možno odčerpat a účelně využít.

Ve srovnání s tradičními zdroji energie prostředí poskytují odpadní vody během otopného období vyšší teploty pohybující se velmi zřídka pod 10°C. V průběhu letního období teploty odpadních vod mohou být až na úrovni mírně přes 20°C.

Ekonomicky výhodné využití se nabízí zejména v místech, kde je odpadní voda k dispozici neustále a v dostatečném množství. Typicky se může jednat o budovy s vysokou spotřebou vody (nemocnice, průmyslové provozy, sportovní centra, obytné stavby a čtvrti, aj.), páteřní odpadní stoky z obytných nebo průmyslových oblastí anebo přímo ČOV.

Teplo z odpadních vod je možné získávat buď přímo v objektech (řešitelné za pomoci akumulačních zařízení s instalovanými výměníky tepla), po trase v kanalizační síti (doplněním kanalizačního potrubí o výměníky tepla) nebo až v samotné čistírně; rozhodující jsou dodatečné náklady na zpětné využití tepla. V zahraničí existují projekty, kdy je teplo získáváno z vyčištěné vody, která je z ČOV dopravována zvláštním potrubím k místu potřeby a až poté je vypouštěna do vodního toku. Výhodou je, že vyčištěné odpadní vody jsou čistší a tedy méně zanášejí teplosměnné plochy a že je možné je více vychladit oproti nevyčištěným odpadním vodám (aby nebyla ohrožena činnost ČOV). Jeden z největších projektů na využití tepla odpadních vod je možné nalézt v norském Oslo, v němž se z páteřní kanalizační sítě získává tepelný výkon až 18 MW. Menší projekty odpovídající spíše našim podmínkám je možné nalézt ve švýcarském Winterthuru a Bernu.

Kromě výše uvedených lze za pomoci TČ využívat i jiné sekundární zdroje tepla. TČ mohou efektivně zpětně využít teplo odváděné například při větrání strojoven osazených spalovacími kogeneračními jednotkami na zemní plyn, u kterých 5 až 10 % energie v palivu má podobu ztrát sáláním povrchu motoru a chlazením palivové směsi (není-li zapojena do chlazení motoru a spalín). Teplo může být pak využito pro predehřev vratné vody smyčky CZT.

Ve skandinávských zemích se vyskytují instalace využívající zbytkové teplo odebírané například ze spalín respektive mokrých systémů jejich čištění, které se využívají u zařízení na energetické využití odpadů, pro dodávku do systémů CZT. Kromě TČ s kompresory s chladivovým okruhem poháněným el. kompresorem nacházejí uplatnění absorpční tepelná čerpadla, u nichž je hnací energií pára (řešení se vyplatí, protože umožňuje docilovat SPER vyšší než 1).

ENVIRONMENTÁLNÍ A EKONOMICKÉ PŘÍNOSY TEPELNÝCH ČERPADEL

Účinnost tepelných čerpadel na lokální a globální úrovni

Účinnost tepelných čerpadel je v posledních letech předmětem stále intenzivnější diskuze, zvláště z důvodu míry skutečných environmentálních přínosů v podobě snížení spotřeby primární energie na tzv. globální úrovni.

Výrobci tepelných čerpadel uváděných na jednotný trh EU musí respektovat požadavky relevantních technických předpisů a v rámci „prohlášení o shodě“ svá tepelná čerpadla ověřují, mimo jiné také z pohledu energetické účinnosti. Relevantními evropskými normami pro ověření energetické účinnosti TČ poháněných elektrickým kompresorem byla od roku 1997 norma (ČSN) **EN 255-2**, kterou v roce 2008 nahradila (ČSN) **EN 14511-2**.

Dle této normy byli výrobci těchto druhů tepelných čerpadel povinni ověřovat tepelný výkon a COP pro různé stavové podmínky (např. pro tepelná čerpadla vzduch-voda typicky pro podmínky A2/W35, tj. teplotu venkovního vzduchu +2 °C a výstupní teplotu vody opouštějící kondenzátor +35 °C) a v technických listech ji pak u modelů uvádět.

Protože výrobci své výrobky mohli ověřovat ve svých laboratořích² a praxe ukázala, že deklarované parametry byly často nadhodnocovány, rozhodla se Evropská asociace tepelných čerpadel (EHPA) zavést asi před deseti lety dobrovolný systém hodnocení a certifikace v nezávislých akreditovaných testovacích centrech akreditovaných EHPA.³

Certifikační systém je určen pro TČ s elektrickým kompresorem pro vytápění případně i přípravu teplé vody do jmenovitého tepelného výkonu 100 kW využívající jako primární zdroj tepla vzduch, zem

2) Výjimkou byli tuzemští výrobci TČ, pro které platí národní legislativa vyžadující, aby jejich výrobky byly ověřovány třetí stranou (viz Nařízení vlády č. 163/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na vybrané stavební výrobky, ve znění nařízení vlády č. 312/2005 Sb).
3) Viz <http://www.ehpa.org/ehpa-quality-label/>

nebo vodu, a to v různém provedení (teplo předáváno vodě nebo vzduchu, samostatně jsou řešeny případy TČ s přímým výparem).

Asociace vydala pro jednotlivé typy tepelných čerpadel jednotné metodiky testování, přičemž tyto metodiky obsahují i předepsanou podobu zprávy o výsledcích testování.

Asociace definuje určité minimální energetické účinnosti sledované parametrem COP pro zvolené stavové podmínky (např. pro TČ vzduch-voda je jím pro A2/W35 min. hodnota COP 3,1).



Pokud model TČ této úrovně dosáhne a jeho výrobce splňuje další požadovaná kritéria⁴, národní komise může výrobci pro tento model udělit certifikátem osvědčení, které ho opravňuje používat značku kvality *European Quality Label for Heat Pumps*.

Obrázek 17:
Značka kvality asociace EHPA pro tepelná čerpadla

Doposud se do systému certifikace EHPA zapojilo celkem 11 zemí a to včetně ČR. V tuzemsku je garantem přidělování značky kvality Asociace pro využití tepelných čerpadel (složení pracovní komise kvality bylo v roce 2010 schválené EHPA) a současně je k ověřování konkrétních modelů TČ dle tohoto certifikačního systému akreditován *Strojírenský zkušební ústav, s. p., v Brně*.

Díky této aktivitě iniciované odpovědnými výrobci tak evropští zákazníci dostávají cennou informaci, že modely tepelných čerpadel do-

4) Patří k nim dále, že výrobce (i) disponuje v dané zemi prodejní a distribuční sítí a autorizovaným servisem, že zákazníkovi spolu s TČ dodá (ii) provozní dokumenty v národním jazyce země, kde je tepelné čerpadlo distribuováno, (iii) že nabízený servis umožňuje 24hodinovou reakční dobu na řešení stížností spotřebitelů a (iv) bude poskytována minimálně dvouletá plná záruka, která musí obsahovat prohlášení o tom, že na tepelné čerpadlo budou náhradní díly k dispozici po dobu nejméně deseti let. Ve zprávě o výsledcích testování pak rovněž musí být kromě výkonových charakteristik a COP rovněž uveden hluk způsobovaný chodem TČ.

Stanovení sezónní účinnosti vytápění a jejich minimálních hodnot

Pro tepelná čerpadla bude sezónní účinnost vytápění určována následujícími vztahy:

$$\eta_s = (\text{SCOP} / \text{CC}) \times 100 - \Sigma F(i)$$

pro TČ poháněná elektřinou

$$\eta_s = \text{SPER} - \Sigma F(i)$$

pro TČ poháněná palivy

CC je faktor vyjadřující účinnost výroby a distribuce elektřiny, který má pro účel tohoto Nařízení hodnotu 2,5 (tj. účinnost 40%) uvažovanou jednotně pro všechny členské země.⁵

SCOP je sezónní topný faktor, který se určí jako podíl celkové spotřeby elektřiny za topné období a množství vyrobeného tepla. Spotřeba elektřiny se určí jako součet spotřeb pro jednotlivé dílčí teplotní intervaly s krokem 1°C s uvážením jejich trvání (podle přílohy Nařízení), dílčího tepelného výkonu pro vytápění a odpovídajících topných faktorů daného TČ při těchto podmínkách, se započítáním spotřeby případného přídavného zdroje (zpravidla elektrokotle) pro krytí potřeby v zimní špičce. Vedle spotřeby jednotky v aktivním režimu je třeba započíst i spotřebu režimu s vypnutým stavem termostatu, pohotovostním režimu, vypnutém stavu a režimu zahřívání skříňně kompresoru (Nařízení v příloze definuje četnosti těchto stavů).

SPER je faktor spotřeby energie palivového TČ, který je podílem spotřeby energie za topnou sezónu a vyrobeného tepla. Spotřeba energie zahrnuje energii v palivu na úrovni spalného tepla a pomocnou elektrickou energii vynásobenou faktorem CC. Celkovou spotřebu energie je obdobně třeba rovněž stanovit výpočtem po jednotlivých teplotních intervalech.

ΣF(i) jsou korekce účinnosti zohledňující záporné příspěvky soupravy TČ a regulátoru teploty a případného solárního zařízení; pro TČ (bez solárního zařízení) je $F(1) = 3\%$, v případě TČ země/voda je dále třeba započíst $F(2) = 5\%$ (na pohon cirkulačního čerpadla zemního kolektoru).

Od 26. 9. 2015 musí být sezónní účinnost vytápění TČ nově uváděných na trh nejméně 100 % (resp. 115 % pro nízkoteplotní TČ⁶) a od 26. 9. 2017 nejméně 110 % (resp. 125 % pro nízkoteplotní TČ).

sahují takových vlastností, jaké jim výrobci v technické specifikaci přisuzují, a že si vybírají produkt, pro který má prodejce odpovídající servisní zázemí.

Význam objektivní deklarace energetické účinnosti tepelných čerpadel výrobci od příštího roku (2015) bude dále posílen novou evropskou legislativou.

Ta odstraní dva další podstatné nedostatky, které se zatím vyskytovaly ve vztahu k hodnocení energetické účinnosti TČ. Jednak výrobci budou muset nově ověřovat účinnost TČ za podmínek simulujících reálnou topnou sezónu včetně splnění minimálních hodnot a dále **bude sezónní účinnost vytápění u TČ hodnocena v poměru ke spotřebované primární energii**. To znamená, že pokud TČ využívá elektřinu, bude její spotřeba násobena stanoveným faktorem (pro celou EU jím je 2,5) zohledňujícím účinnost její výroby a distribuce elektrizační soustavou k odběrateli. Navíc hodnota sezónní účinnosti vytápění bude integrovat případné využití jiného zdroje tepla v nejchladnějších dnech (zpravidla elektrokotle) a spotřebu elektřiny TČ, když nebude právě v provozu (přesně je specifikován počet hodin v roce ve stavu stand-by a v útlumovém režimu).

Souběžně s tím bude zaveden **systém energetických štítků**, který bude klasifikovat tepelná čerpadla podle míry dosažené sezónní energetické účinnosti vytápění (označována jako η_s). Metodika energetických štítků je přitom koncipována tak, že umožní vzájemné porovnání tepelných čerpadel s jinými zdroji tepla, které jsou zpravidla možným konkurentem TČ: spalovací zdroje na plyná a kapalná paliva a jejich možné kombinace se solárními termickými systémy, dále kogenerační jednotky na tato paliva a zdroje tepla využívající elektřinu, tedy elektrokotle. Fakticky to bude znamenat, že pouze tepelná čerpadla a kogenerační jednotky budou moci dosahovat nejvyšších účinností vytápění označovaných energetickými třídami A+, A++ případně A+++.

5) Pro TČ instalovaná v ČR je tato hodnota relativně velmi příznivá, protože průměrná brutto elektrická účinnost systémových elektráren v zemi pracující v režimu monovýroby elektřiny činí cca 36 % (podíl na celkové výrobě více než 75 %) a elektrická účinnost elektráren současně vyrábějících užitečné teplo činí cca 46 % (po odečtu přínosů KVET). Za těchto podmínek by „národní“ hodnota η činila necelých 39 % a při zohlednění vlastní spotřeby elektřiny elektrárnami (v ČR se pohybuje v průměru na úrovni cca 7 %) a ztrát v přenosové a distribuční soustavě (rovněž v ČR v posledních letech na úrovni cca 7 % užitečné spotřeby elektřiny netto) pak hodnota CC pro ČR činila cca 3, tj. přibližně o 20 % více.

6) „Nízkoteplotním tepelným čerpadlem“ se rozumí ohřivač pro vytápění vnitřních prostorů s tepelným čerpadlem, který je konkrétně navržen pro nízkoteplotní aplikaci a který není schopen za referenčních návrhových podmínek pro průměrné klima při vstupní teplotě udávané suchým (vlhkým) teploměrem -7°C (-8°C) dodávat vodu k vytápění o výstupní teplotě 52°C. „Nízkoteplotní aplikací“ se rozumí aplikace, při které daný ohřivač pro vytápění vnitřních prostorů s tepelným čerpadlem poskytuje deklarovaný topný výkon při výstupní teplotě vnitřního výměníku tepla dosahující 35°C. „Středněteplotní aplikací“ se rozumí aplikace, při které daný ohřivač pro vytápění vnitřních prostorů s tepelným ohřivačem s tepelným čerpadlem poskytuje deklarovaný topný výkon při výstupní teplotě vnitřního výměníku tepla dosahující 55°C.

Energetickými štítky budou muset být vybavena TČ od 26. září 2015 **do jmenovitého tepelného výkonu 70 kW** a souběžně od tohoto data budou muset nové výrobky začít splňovat minimální hodnoty sezónní energetické účinnosti vytápění, které budou závazné pro TČ **do jmenovitého tepelného výkonu až 400 kW**. O dva roky později budou přitom tyto hodnoty dále zpřísněny (viz info box níže). Rozlišovány budou přitom TČ určená pro nízkoteplotní aplikace (výstupní teploty do +35 °C) a středně-teplotní (výstupní teploty do +55 °C) a účinnost bude ověřována pro průměrné klimatické podmínky platné pro celou EU (oproti ČR je uvažována nejnižší venkovní teplota pouze -10 °C a průměrná teplota v topné sezóně končící průměrnou venkovní teplotou +15 °C cca 5 °C).

Podrobnosti uvádí **nařízení EK č. 811/2013 a č. 813/2013** a metodiky ověřování blíže upřesňují nové evropské normy (pro TČ s elektricky poháněnými kompresory jím je **ČSN EN 14 825**, pro tepelná čerpadla poháněná tepelnou energií bude zřejmě ještě vydána).

Nařízení současně upravují **státní dohled nad dodržováním těchto požadavků** a zavazují členské země, aby provedly kontrolní zkoušku na alespoň jednom namátkově vybraném modelu každého ze zdrojů tepla podléhajícího této legislativě a o jejím výsledku informovaly ostatní. Pokud se zjištěná sezónní účinnost bude lišit o více než 8 % od deklarované hodnoty, musí členské státy provést opětovnou kontrolu u dalších tří vybraných modelů a o výsledcích informovat do jednoho měsíce Evropskou komisi.

Obdobně pak budou upraveny požadavky na min. energetickou účinnost a její klasifikaci do energetických tříd u ohřívačů vody, a to včetně dedikovaných tepelných čerpadel (upravuje **nařízení EK č. 812/2013 a č. 814/2013**, metodiku ověřování konkretizuje **ČSN EN 16147**).

Třída sezónní energetické účinnosti vytápění	Sezónní energetická účinnost vytápění η_s %	
	nízkoteplotní	středněteplotní
A+++	$\eta_s \geq 150$	$\eta_s \geq 175$
A++	$125 \leq \eta_s < 150$	$150 \leq \eta_s < 175$
A+	$98 \leq \eta_s < 125$	$123 \leq \eta_s < 150$
A	$90 \leq \eta_s < 98$	$115 \leq \eta_s < 123$
B	$82 \leq \eta_s < 90$	$107 \leq \eta_s < 115$
C	$75 \leq \eta_s < 82$	$100 \leq \eta_s < 107$
D	$36 \leq \eta_s < 75$	$61 \leq \eta_s < 100$
E	$34 \leq \eta_s < 36$	$59 \leq \eta_s < 61$
F	$30 \leq \eta_s < 34$	$55 \leq \eta_s < 59$
G	$\eta_s < 30$	$\eta_s < 55$

Tabulka 1: Energetické třídy sezónní energetické účinnosti vytápění pro tepelná čerpadla

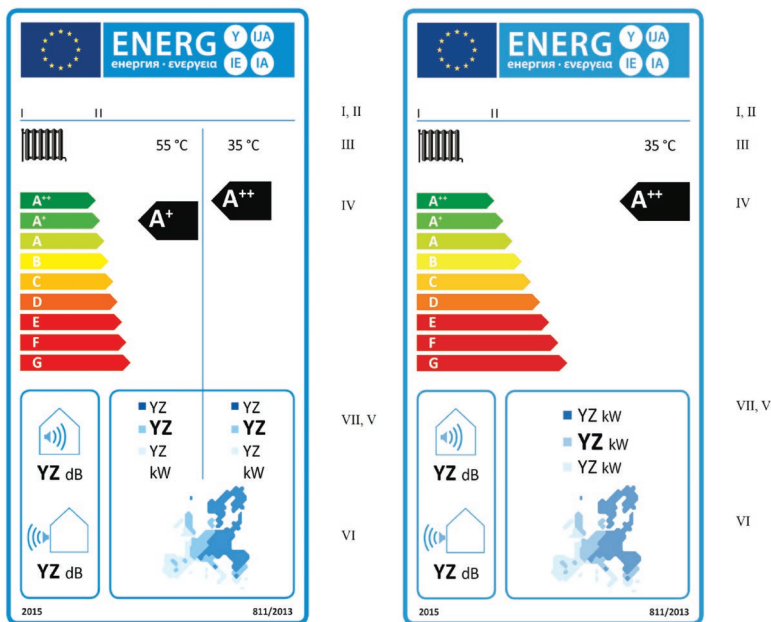
Použité zkratky pro hodnocení účinnosti TČ

COP – Topný faktor (z angl. Coefficient of Performance), poměr tepelné energie odváděné z kondenzátoru tepelného čerpadla v poměru k (elektrické či tepelné) energii pohánějící pracovní okruh tepelného čerpadla

SCOP – Sezónní topný faktor, průměrný topný faktor za delší časové období – typicky topnou sezónu. SCOP zpravidla zohledňuje i spotřebu energie v časech, kdy TČ není v aktivním provozu (např. stand-by).

SPF – Faktor sezónní účinnosti (z angl. Seasonal Performance Factor), faktor průměrné sezónní účinnosti tepelného čerpadla v aktivním režimu (u elektricky poháněných tepelných čerpadel označován jako SCOPnet, u tepelně poháněných tepelných čerpadel SPERnet). Pro věcnou správnost by SPF mělo být stanoveno v souladu s příslušnými normami (EN 14825:2012 případně EN 12309).

SPER – Sezónní koeficient primární energie, využíván pro TČ poháněná tepelnou energií k vyjádření energetické účinnosti výroby tepla za pomoci přivedené hnací (tepelné) energie.



Obrázek 18:
Ukázka podoby energetického štítku pro tepelná čerpadla
(vlevo pro nízkoteplotní a středněteplotní aplikace,
vpravo jen pro nízkoteplotní aplikace)

Vysvětlivky:

- I. název nebo ochranná známka dodavatele; II. identifikační značka modelu používaná dodavatelem; III. funkce vytápění pro středněteplotní a nízkoteplotní aplikace; IV. třída sezonní energetické účinnosti vytápění za průměrných klimatických podmínek pro středněteplotní a nízkoteplotní aplikaci, stanovená podle bodu 1 přílohy II nařízení; V. jmenovitý tepelný výkon, včetně jmenovitého tepelného výkonu všech přidavných ohřivačů, v kW, za průměrných, chladnějších a teplejších klimatických podmínek pro středněteplotní a nízkoteplotní aplikaci, zaokrouhlený na nejbližší celé číslo; VI. teplotní mapa Evropy zobrazující tři orientační teplotní zóny; VII. hladina akustického výkonu L WA ve vnitřním prostoru (je-li známa) a ve vnějším prostoru v dB, zaokrouhlená na nejbližší celé číslo.

Ekonomické souvislosti zvyšování účinnosti tepelných čerpadel

Tlak na zvyšování energetické účinnosti TČ však neznamená, že zákazníci budou kryt své tepelné potřeby za pomoci efektivnějších TČ ekonomicky výhodněji. Praxe ukazuje, že je-li TČ navrženo do objektu, jehož otopná soustava a systém přípravy teplé vody nebyly koncipovány pro nízkoteplotní zdroje tepla, je nutné pro dosažení z environmentálního pohledu příznivé hodnoty SCOP vynaložit podstatné dodatečné náklady, které nemusí být návratné. Má-li se střední teplota topné vody v otopném systému snížit o 20 °C, je nutné k zachování výkonu otopných těles jejich plochu až zdvojnásobit.

V tabulce níže jsou zobrazeny tři modelové případy aplikace TČ vzduch-voda do RD. První reprezentuje instalaci TČ do stávajícího objektu RD po komplexním zateplení, u kterého jsou ponechána původní otopná tělesa a pouze je zavedena ekvitermní regulace topné vody. Reálná hodnota SCOP u takovéto instalace TČ při zohlednění nutného provozu elektrokotle v teplotách pod bodem bivalence

může dosahovat 2,5. Druhý případ pak předjímá, že investor současně obmění vybraná či všechna otopná tělesa v objektu tak, aby bylo možné dále snížit průměrnou teplotou topné vody dodávané do systému ÚT o dalších 15–20 °C. S pomocí ekvitermní regulace je výsledkem zvýšení SCOP na průměrnou hodnotu 3. Třetí případ pak simuluje souběžnou instalaci podlahového vytápění, jehož vybudování je při zohlednění pracnosti nejnákladnější a může si vyžadovat další dodatečné náklady na pořízení nové podlahové krytiny. Odměnou je naopak vysoká hodnota SCOP dosahující reálně 3,5 i více.

Z modelového srovnání vyplývá, že vztah mezi náklady instalace, SCOP a provozními náklady není lineární. Zlepšení SCOP o 20 % (z 2,5 na 3) se projeví poklesem nákladů na elektřinu o 13 %, ale vyžaduje o 40 % vyšší investiční náklady. Zlepšení SCOP o 40 % (z 2,5 na 3,5) se projeví poklesem nákladů na elektřinu o 22 %, ale vyžádá investice vyšší téměř o 60 %.

Znamená to tedy, že chce-li investor docílit nadprůměrně vysoké hodnoty SCOP, musí výrazně více investovat do současné úpravy otopné soustavy objektu, ve které má být TČ instalováno, a přitom se spokojit s tím, že takto docílené úspory v provozních nákladech nemusí během očekávaného funkčního života TČ vyrovnat počáteční vícenáklady.

Náklady instalace	Potřeba tepla na ÚT	SCOP	Spotřeba elektřiny na ÚT	Náklady na elektřinu	Úspora nákladů	Prostá návratnost vícenákladů	Úspora primární energie	Výše finančního příspěvku	Podíl podpory na nákladech
[Kč]	[kWh/rok]	[-]	[kWh]	[Kč/rok]	[Kč/rok]	[roky]	[MWh/rok]	[Kč]	[%]
175000		2,5	6000	18660			2,6	47 647	27
250000	15000	3	5000	16290	2370	32	2,5	92 647	37
275000		3,5	4286	14597	4063	25	4,3	124 790	45

Tabulka 2: Modelové srovnání tří variant TČ vzduch-voda s el. kompresorem lišících se doprovodnými investicemi do otopné soustavy a posléze i účinností provozu a mírou úspory primární energie, která určuje výši finančního příspěvku opodstatňujícího vyšší účinnost provozu

Z tohoto důvodu jsou na místě veřejné programy podpory, které investory k efektivnějším aplikacím TČ budou motivovat. Za jakých podmínek by veřejná podpora měla být poskytována a v jaké výši?

Evropská komise v roce 2013 vydala harmonizovaná pravidla (Rozhodnutí č. 2013/114/EU), za jakých podmínek je možné produkci tepla tepelnými čerpadly instalovanými v zemích EU započítávat do národních statistik a závazků rozvoje obnovitelných zdrojů, pokud využívají teplo země, venkovního vzduchu či vody.

Tepelná čerpadla poháněná elektrickou energií musí dosahovat průměrné roční účinnosti SCOP ve výši **alespoň 2,5**. V případě TČ, u nichž je hnací energií teplo, je pak účinnost vložené energie rovna 1, čímž minimální hodnota SPF činí **115 %**.⁷

Jinými slovy, jakákoliv veřejná podpora by měla být poskytována pouze investorům, jejichž aplikace TČ docílí z hlediska efektivity provozu alespoň této minimální hranice (od které mohou výrobu tepla daným tepelným čerpadlem započítat do národních statistik).

S využitím předchozí tabulky je možné provést kalkulaci případné veřejné podpory, která bude zohledňovat, jak efektivně TČ v dané instalaci pracuje a kolik energie svým účinnějším provozem ušetří.

Při hodnotě SCOP 2,5 je uvažováno, že TČ nahrazuje výrobu stejného množství tepla v plynovém kotli či kotli na pevná paliva pracující s průměrnou roční účinností výroby tepla 85 %. Přepoččet spotřeby elektřiny na primární energii je řešeno násobkem 2,5 (převzato z výpočtu $SPF = 115 \times 1/\eta$).

Ve zbývajících dvou případech jsou vyčíslovány úspory elektřiny potažmo primární energie (opět přes faktor 2,5) vůči základnímu provedení TČ s výše uvedeným nízkým SCOP (2,5).

Absolutní výše finančního příspěvku je kvantifikována pro modelově stanovenou měrnou podporu ve výši 5 tis. Kč v přepočtu na jeden GJ ušetřené primární energie.

Investor instalující si TČ s průměrným SCOP 2,5 pro krytí stanoveného množství tepla by dle této metodiky měl nárok na finanční příspěvek ve výši necelých 50 tis. Kč. Pokud by se rozhodl a investoval by současně do úpravy otopné soustavy tak, aby SCOP zvýšil na průměrnou hodnotu 3, pak by měl nárok na více než 90 tis. Kč. Pokud by se však rozhodl pro nejnákladnější řešení, podpora by opět byla zvýšena na celkových 125 tis. Kč.

Předností takto pojatého způsobu podpory je, že jasně motivuje investory, aby přemýšleli systémově a TČ přizpůsobili otopné soustavě, ve které pracuje. Definitivní rozhodnutí o poskytnutí podpory však vyžaduje prokazatelné doložení, že otopná soustava objektu, do kterého má být TČ instalováno, je navržena na nižší teplotní spády (55/45 °C, 45/35 °C anebo 35/25 °C). Čím nižší jsou teploty systému ÚT, tím vyšší sezónní účinnosti TČ s vysokou pravděpodobností dosáhne a tím vyšší absolutní i relativní veřejnou podporu v poměru k celkové investici je odůvodněné poskytnout.

Druhou možností je stanovit výši podpory ověřením reálně dosaženého SCOP za pomoci monitoringu TČ v dané aplikaci. Kvalitnější TČ jsou již vybaveny měřením množství spotřebované elektřiny a vyrobeného tepla (i proto, že takto je dnes pojat systém podpory instalací TČ v rezidenčním sektoru v sousedním Německu).

⁷⁾ V účinnosti vložené energie není rozlišeno, zda je hnací energií tepelná energie nebo palivo, z něž je teplo vyráběno (množství vložené hnací energie je vyjádřeno podle toho, zda je proměna palivo do tepla integrální součástí čerpadla nebo nikoliv)



AUTOR PUBLIKACE:

SEVEn Energy

SEVEn Energy s.r.o.
Americká 579/17, 120 00 Praha 2
www.svn.cz

Dílo bylo zpracováno
za finanční podpory Státního
programu na podporu úspor energie
a využití obnovitelných zdrojů energie
pro rok 2014 – Program EFEKT.



ODBORNÁ SPOLUPRÁCE:

