

# Nová technologie pro vysokoteplotní tepelná čerpadla

Autor: Ing. Vladimír Macháček

*Jednookruhová nízkoteplotní tepelná čerpadla vzduch-voda a jejich porovnání s novým kaskádovým řešením vysokoteplotního tepelného čerpadla ROTEX HPSU vysokoteplotní. Technický popis kaskádového řešení vysokoteplotního tepelného čerpadla, kombinace chladivových okruhů R410A a R134a, p-h diagram, systém ohřevu teplé užitkové vody, simulace provozu a výpočet celoročního topného faktoru.*

Tepelná čerpadla vzduch-voda jsou stále více oblíbená jakožto energeticky úsporná alternativa k plynovým kotlům, elektrokotlům a kotlům na tuhá paliva. Velká většina těchto čerpadel používá pouze jeden chladivový okruh a díky tomu jsou perfektním řešením pro nízkoteplotní vytápěcí systémy v nových budovách. Naopak, v případě náhrady kotle ve stávajících objektech, kde je zapotřebí vyšší teplota vody v otopné soustavě, lze tato čerpadla využít jen omezeně s nutností podpory bivalentním zdrojem. Nyní je na trhu nové vysokoteplotní tepelné čerpadlo ROTEX HPSU vysokoteplotní, které díky dvěma chladivovým okruhům v kaskádě umožňuje vyrábět teplou vodu až 80 °C a to s velmi vysokou účinností.

## Velká obliba tepelných čerpadel vzduch - voda

V současné době jsou tepelná čerpadla vzduch-voda stále více populární především díky snadné instalaci, stále se lepšícím účinnostem a příznivé ceně. V celé Evropě jsou podporována různými programy jako ekologický zdroj vytápění s cílem snížit emise skleníkových plynů. Vytápění a ohřev teplé vody se podílí na celkových emisích CO<sub>2</sub> z 20ti až 30ti procent. Je tedy zřejmé, že změnou vytápění za energeticky úsporné a ekologicky šetrné systémy jako jsou tepelná čerpadla lze dosáhnout opravdu znatelného snížení emisí skleníkových plynů.

## Technologie tepelných čerpadel pro nízkoteplotní systémy

Tepelná čerpadla vzduch-voda čerpají energii z venkovního vzduchu a termodynamickým cyklem ohřívají vodu pro otopnou soustavu. Základními komponenty umožňujícími tepelnou výměnu jsou tedy vzduchem chlazený výparník a deskový kondenzátor ohřívající vodu. Chladivo je využíváno pro přenos energie.

Většina nízkoteplotních tepelných čerpadel, tedy s maximální výstupní teplotou okolo 55 °C, využívá pouze jeden chladivový okruh s chladivem R410A. Výměník (výparník) ve venkovní jednotce využije energii venkovního vzduchu a umožní přeměnu kapalného chladiva v plyn. Tento plyn je následně stlačen kompresorem a tím dojde k jeho zahřátí. Stlačený plyn následně zkondenzuje v deskovém výměníku (kondenzátoru) ve vnitřní jednotce a předá energii vodě - zahřeje ji. Ohřátou vodu využíváme v nízkoteplotních otopných soustavách a pro předehřev teplé užitkové vody. Zkondenzované chladivo se následkem snížení tlaku v expanzním ventilu ve výparníku opět vypaří a celý cyklus se opakuje. Takto navržená tepelná čerpadla jsou optimalizována pro teplotu vody 35 °C, protože při těchto hodnotách má chladivo R410A ideální vlastnosti. Proto jsou využívána především pro podlahové vytápění a jiné nízkoteplotní zdroje.

## Příklad realizace nízkoteplotního čerpadla

Nízkoteplotní tepelné čerpadlo bylo testováno po dobu dvou let ve Vídni v Rakousku a byly detailně sledovány jeho parametry. Dům měl rozlohu 150 m<sup>2</sup> a tepelné ztráty 6,8 kW při návrhové teplotě -13,2 °C. Sezónní topný faktor SCOP tohoto tepelného čerpadla byl naměřen 3,2.

Sezónní topný faktor SCOP je poměr vydané energie pro vytápění za celou topnou sezónu ku energii spotřebované za stejné období, a to nejen samotným tepelným čerpadlem, ale i bivalentním zdrojem (např. záložním elektrokotlem). Tento poměr energií je ovlivněn klimatickými podmínkami v místě instalace a teplotou výstupní vody.

Vliv tohoto tepelného čerpadla na životní prostředí byl určen metodou Total Equivalent Warming Impact) a porovnán s jinými způsoby vytápění. TEWI metoda určuje množství emisí skleníkových plynů přepočtené na ekvivalent CO<sub>2</sub> za dobu životnosti tepelného čerpadla a bere v úvahu jak přímé, tak i nepřímé emise. Přímé emise jsou způsobeny případnými úniky chladiva a pro výpočet se uvažuje únik 30 % chladiva za 15 let životnosti zařízení. Nepřímé emise jsou emise CO<sub>2</sub>, které vzniknou při produkci elektrické energie potřebné pro chod tepelného čerpadla (kg CO<sub>2</sub>/ kWh). Z takto provedených měření a výpočtů bylo stanoveno porovnání s kotlem na plyn a na olej. V Rakousku, díky místnímu energetickému mixu, bylo dosaženo úspory 68 % ekvivalentu CO<sub>2</sub> oproti kotli na extralehký topný olej a 57 % oproti zemnímu plynu. Pokud byl do výpočtu zahrnut energetický mix Evropské unie, pak byla úspora 61 %, resp. 47 %, což je opět velice výrazná úspora.

## Vysokoteplotní tepelná čerpadla pro rekonstrukce

Obrovský potenciál pro využití tepelných čerpadel v sobě skrývají stávající budovy, kde se prozatím využívá jako zdrojů tepla plynových kotlů či elektrokotlů. Pro náhradu těchto zdrojů za běžné nízkoteplotní tepelné čerpadlo je nezbytné rekonstruovat také otopnou soustavu a stávající vysokoteplotní radiátory nahradit radiátory nízkoteplotními, pokud má být nízkoteplotní tepelné čerpadlo jediným zdrojem tepelné energie. To samozřejmě zvyšuje investiční náklady a ne vždy lze tuto výměnu provést. Dále SCOP těchto čerpadel prudce klesá se stoupající výstupní teplotou a zdaleka nedosahujeme takových úspor, jako když vytápíme podlahovým vytápěním. Již nyní začínají dosluhovat plynové kotle z doby nejvýraznější plynofikace v ČR před 15ti lety a tyto kotle bude nutné vyměnit za nové zdroje tepla. I v porovnání s novými kondenzačními plynovými kotli mají tepelná čerpadla v nových budovách výrazně vyšší účinnost. Tepelné čerpadlo, které by bylo schopné ohřívat vodu na vyšší teplotu pro stávající radiátory s optimalizovanou účinností právě pro tyto vyšší teploty, může být ideálním řešením pro náhradu za zastaralé zdroje tepla.

Nízkoteplotní tepelná čerpadla v těchto objektech lze použít velice omezeně a to z důvodu jejich maximální výstupní teploty kolem 55 °C. Běžný teplotní spád ve stávajících objektech je často vyšší než 65/55°C. Takto vysoké teploty omezují i výhody kondenzačních kotlů, neboť snižují rozsah kondenzace a účinnost kotle je pak nižší. Výměna stávajících radiátorů za nízkoteplotní klade nároky na prostor a značně navyšuje investiční náklady.

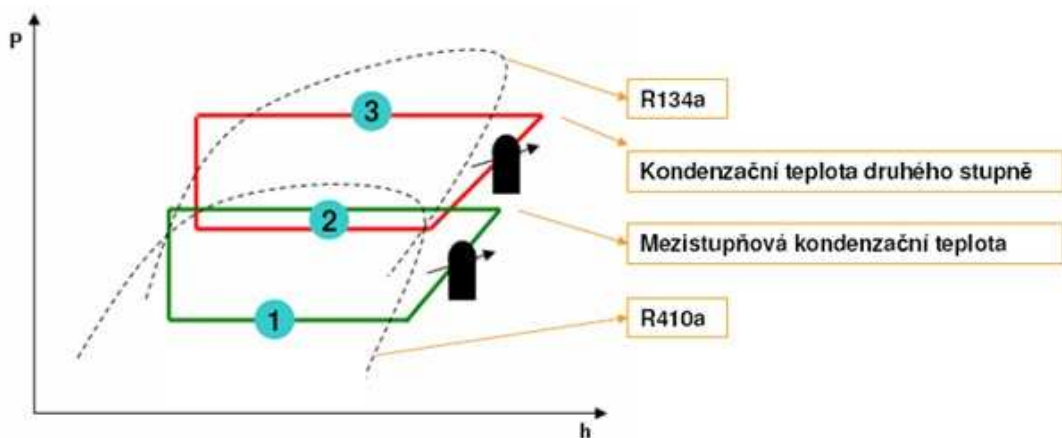
## Řešením je nová technologie tepelného čerpadla ROTEX HPSU vysokoteplotní

Nízkoteplotní tepelná čerpadla s jedním chladivovým okruhem jsou schopna vyrábět vodu o teplotě max. kolem 55 °C. Některá tepelná čerpadla využívají jeden chladivový okruh s nástřikem části objemu chladiva v plynné fázi z vysokotlaké části okruhu chladiva přímo do kompresního prostoru kompresoru čímž rozdělí kompresi na dva stupně, a jsou schopna dosáhnout teploty až 65 °C. Tato čerpadla jsou v praxi napojována v některých případech na stávající radiátory. Nicméně při takto vysokých teplotách vody pracují na hraně svých možností, což se projevuje značně sníženou účinností. Náhrada za stávající kotel tedy není tak efektivní.

Řešením je nová technologie kaskádového systému používající dva chladivové okruhy, která byla představena společností ROTEX v červenci 2009. Tento kaskádový systém pracuje za podmínek, jichž nelze jedním chladivovým okruhem dosáhnout. Každý chladivový okruh pracuje ve svých ideálních podmínkách, a proto se dosahuje vysokých účinností a stabilního provozu.

Tepelné čerpadlo ROTEX HPSU vysokoteplotní pracuje se dvěma chladivovými okruhy s chladivy R410A a R134a. Okruh s R410A má vynikající energetické vlastnosti při nízkých vypařovacích teplotách, ale naopak nízkou kondenzační teplotu, to znamená i nízkou výstupní teplotu otopné vody. Stabilní chování při vysokých teplotách má právě chladivo R134a, které se naopak nehodí pro nízké teploty. Schéma celého systému v p-h diagramu je zobrazeno na Obr. 1. Výsledkem kombinace obou chladiv s jejich ideálními vlastnostmi při různých podmínkách je právě nové vysokoteplotní tepelné čerpadlo ROTEX s výstupní teplotou vody až 80 °C při velkém provozním rozsahu až do teploty -25 °C venkovního vzduchu. Nejdůležitější je ale velmi vysoká účinnost tohoto systému optimalizovaná pro teplotu otopné vody 50 až 65 °C, která je podstatně vyšší než u jednookruhových chladivových systémů s dvojí kompresí.

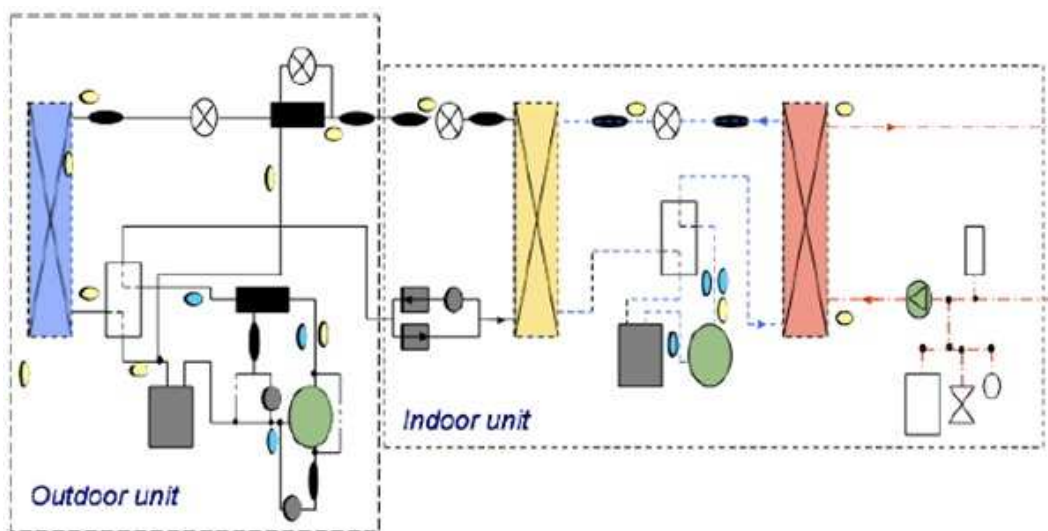
**Obr. 1** Zobrazení kaskády v p-h diagramu



## Kaskádový systém a jeho funkčnost

Na Obr. 2 je zobrazeno schéma chladivového systému tohoto kaskádového tepelného čerpadla. První okruh s chladivem R410A propojuje venkovní a vnitřní jednotku, druhý okruh s chladivem R134a je pouze ve vnitřní jednotce. Oba kompresory jsou řízeny invertorem. První chladivový okruh je shodný s okruhem u klasického nízkoteplotního čerpadla. Chladivo se vypařuje ve výparníku venkovní jednotky a odebírá tepelnou energii z venkovního vzduchu. Následně je chladivo stlačeno prvním invertorem řízeným kompresorem ve venkovní jednotce, čímž se zvýší jeho teplota na střední hodnoty teploty. Přes první deskový výměník ve vnitřní jednotce předává chladivo R410A kondenzační teplo chladivu R134a. Tento výměník je tedy kondenzátorem pro chladivo R410A prvního chladicího okruhu a současně výparníkem pro chladivo R134a druhého chladivového okruhu. Chladivo R134a se v něm vypaří, při tom převezme tepelnou energii z prvního chladivového okruhu. Pak je stlačeno druhým invertorem řízeným kompresorem ve vnitřní jednotce, při čemž jeho teplota stoupne nad hodnotu 80 °C. Toto chladivo kondenzuje v celkově třetím výměníku, kondenzátoru vnitřní jednotky a předává energii vodě, kterou zahřeje až na teplotu 80 °C.

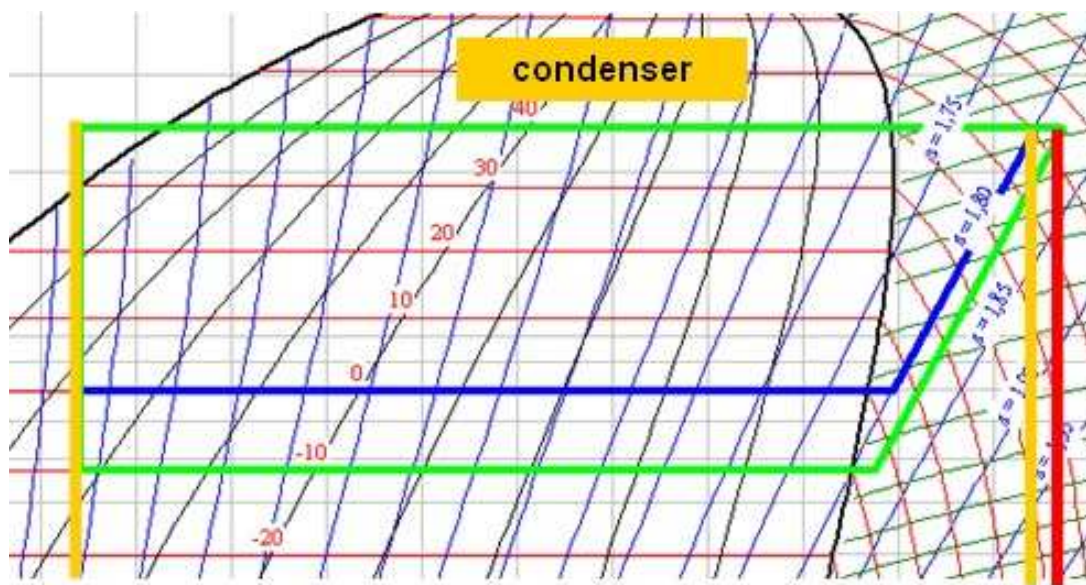
**Obr. 2** Schéma kaskádového chladivového systému (Outdoor unit = venkovní jednotka, Indoor unit = vnitřní jednotka)



## Vysoká účinnost při vysokých výstupních teplotách vody

Použití dvou nezávislých chladivových okruhů je klíčem k velmi vysoké účinnosti a velkým provozním rozsahům. Během provozu část systému s chladivem R410A drží téměř konstantní kondenzační teplotu a umožňuje tak druhému okruhu s R134a pracovat nezávisle na venkovní teplotě. Vyvážený provoz okruhu s R134a je zajištěn kontrolou střední kondenzační teploty chladiva R410A.

Většina tepelných čerpadel vzduch-voda má velmi výrazný úbytek topného výkonu s klesající venkovní teplotou vlivem klesajícího objemového průtoku chladiva. Tento pokles objemového průtoku chladiva je zapříčiněn nízkým tlakem na sání kompresoru. Zjednodušeně řečeno, nízký tlak znamená, že kompresor za určitou časovou jednotku nasaje jen malé množství chladiva a malému množství chladiva odpovídá i malé množství chladivem přenášené tepelné energie. Topný výkon tepelného čerpadla je určen jako násobek množství chladiva a rozdílu entalpie v kondenzátoru. Malý nárůst rozdílu entalpie (vysvětlení viz Obr. 3) nenahradí velký úbytek objemového průtoku chladiva, proto výkon čerpadla klesá s klesající venkovní teplotou.



**Obr. 3** Vliv venkovní teploty na termodynamický cyklus chladiva R410A (condenser = kondenzátor) v digramu  $ph$ . Na svislé ose je tlak  $p$  (vyjádřen logaritmicky) a na vodorovné entalpie  $h$ . Pro nejjednodušší pochopení lze uvést toto vysvětlení:

- červené křivky = teplota chladiva, pro tento zjednodušený příklad je můžeme považovat za rovné teplotě venkovního vzduchu nebo teplotě otopné vody
- černá křivka = vlevo do ní je chladivo zcela zkondenzované, mezi levou a pravou částí křivky je chladivo z části zkondenzované, z části v plynném skupenství a vpravo od křivky je chladivo jen v plynném skupenství
- zelený čtyřúhelník = pracovní cyklus tepelného čerpadla s výparnou teplotou  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  a teplotou kondenzace chladiva  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Chladivo se vypařuje při teplotě  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  (zleva po dolní vodorovné úsečce - konstantní tlak i teplota), pak jej kompresor stlačuje (šikmá úsečka vpravo nahoru - stoupá tlak i teplota), dále kondenzuje při teplotě  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (po úsečce zprava doleva - konstantní tlak i teplota) a pak prochází expanzním ventilem (svisle dolů - klesá tlak i teplota).
- z části modrý a zelený čtyřúhelník = pracovní cyklus tepelného čerpadla s výparnou teplotou  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a teplotou kondenzace chladiva  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$

- enthalpie, to je energie obsažená v chladivu putujícím v okruhu, je vyznačena na vodorovné ose. Energie, kterou můžeme získat z jednoho oběhnutí chladiva okruhem je dána vzdáleností mezi svislou žlutou úsečkou vlevo a žlutou vpravo (okruh s teplotami 0 °C a 40 °C) nebo vpravo červenou (okruh s teplotami -10 °C a 40 °C). Vidíme, že z okruhu s větším rozdílem pracovních teplot bychom mohli získat více tepelné energie. To ale platí jen tehdy, pokud by okruhem putovalo v obou případech stejné množství chladiva.

Kaskádový systém nabízí řešení, při kterém nedochází k takovému poklesu objemového průtoku chladiva. Pod nominálními hodnotami výkonu TČ nejsou otáčky invertorového kompresoru ve venkovní jednotce maximální, ale jeho výkon může být navýšen s klesající venkovní teplotou. Tím nedochází k poklesu objemového průtoku chladiva. Díky typickým termodynamickým vlastnostem (viz p-h diagram Obr.1) pro vysokoteplotní tepelné čerpadlo je zřejmé, že venkovní jednotka je navržena s dostatečnou rezervou pro zajištění dostatečné kondenzační energie pro druhý okruh i při velmi nízkých teplotách. Získáváme tak konstantní výkon (bez započítání vlivu odmrazování) u některých modelů až do -20 °C. To umožňuje využívat toto tepelné čerpadlo bez bivalentního zdroje, který u standardních jednotek dodává chybějící tepelný výkon.

Na Obr. 4 je znázorněn graf výkonů včetně započítání odmrazování pro tři výkonové řady 11, 14 a 16 kW při teplotě vody 65 °C a pro teploty venkovního vzduchu od 15 °C do -20 °C. Dále je na tomto obrázku znázorněn průběh topných faktorů COP pro jednotku 14 kW v závislosti na teplotě výstupní vody a venkovní teplotě, opět s již započítaným vlivem odmrazování venkovní jednotky.

**Obr. 4** Topný výkon a topný faktor v závislosti na venkovní teplotě

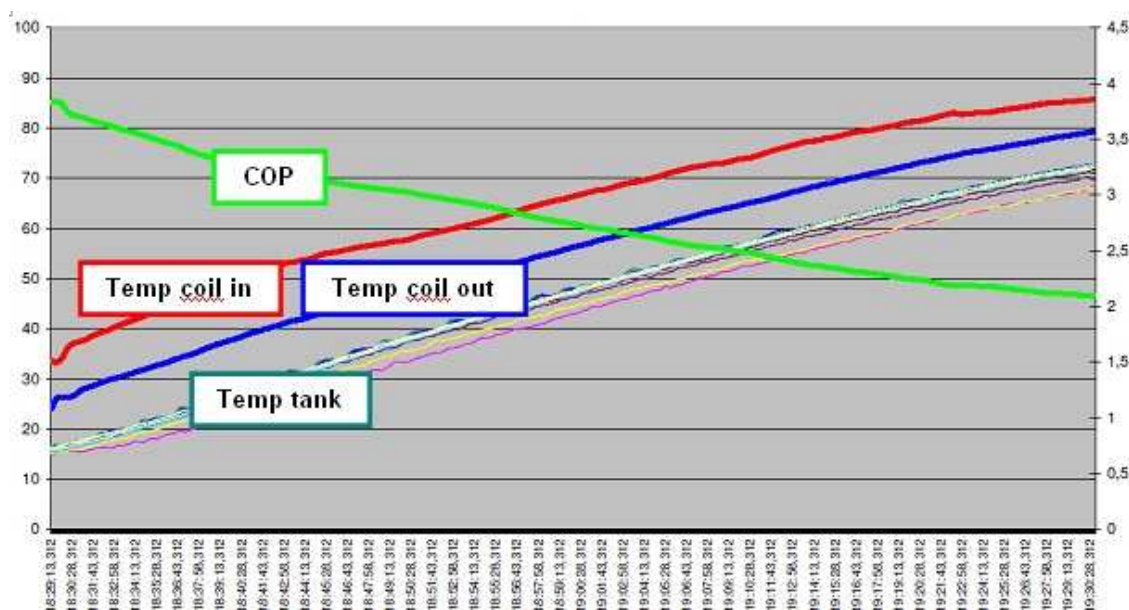


HC - tepelný výkon, Ta - teplota venkovního vzduchu, COP - topný faktor, TLW - teplota výstupní otopné vody,

## Velmi vysoká účinnost při ohřevu teplé užitkové vody

Kaskádový systém vysokoteplotního tepelného čerpadla ROTEX HPSU umí dosáhnout teploty výstupní vody 80 °C a to lze velmi výhodně využít právě pro ohřev teplé vody. Vodu v zásobníku můžeme vyhřát až na 75 °C pouze tepelným čerpadlem bez elektrického dohřevu, takže jsou splněny i hygienické požadavky na ochranu proti legionelle. Na Obr. 5 je znázorněn graf z provedeného měření chodu tepelného čerpadla v režimu přípravy teplé vody, kde vidíte průběh teplot a topného faktoru COP. Z grafu lze odečíst, že průměrná hodnota topného faktoru tepelného čerpadla pro ohřev vody z +15 °C na +70 °C při venkovní teplotě +7 °C je 2,7. To je opravdu znatelné vylepšení oproti jednookruhovým tepelným čerpadlům. Dokonce i tepelná čerpadla s dvojitou kompresí a rozsahem do 65 °C budou mít velice znatelný pokles topného faktoru při ohřevu vody na 60 °C. Pokud je v tomto případě potřeba dosáhnout vyšší teploty vody, pak je nutno použít elektrický dohřev, který výrazně negativně ovlivňuje celkový topný faktor.

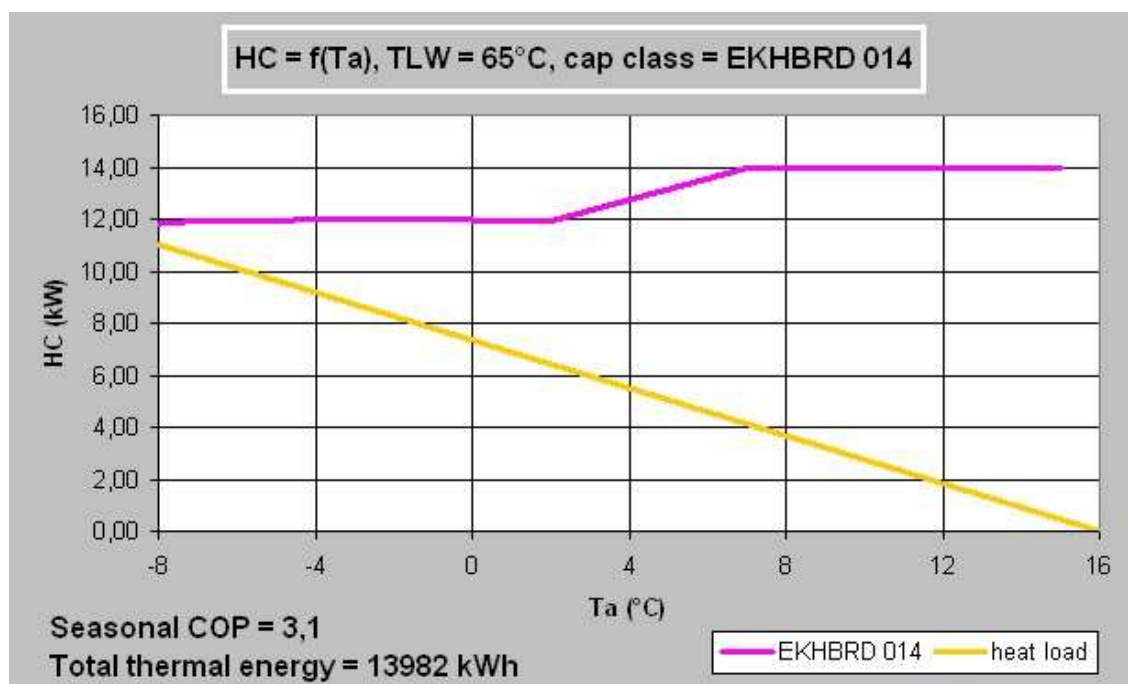
**Obr. 5** Simulace topného faktoru COP při přípravě teplé vody při venkovní teplotě 7 °C a ohřevu vody z 15 °C na 70 °C (Temp coil in = teplota vody na vstupu, Temp coil out = teplota vody na výstupu, Temp tank = teplota vody v zásobníku)



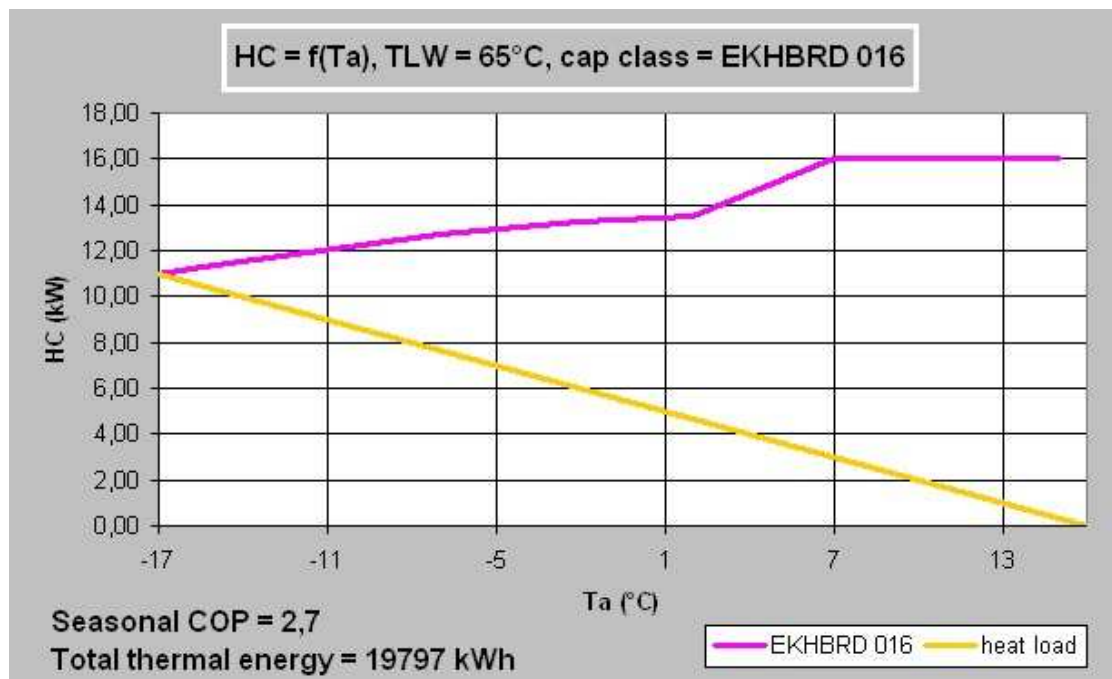
## Simulace celoročního topného faktoru ROTEX HPSU vysokoteplotní

Na obrázku 6 a 7 jsou znázorněny dvě simulace, které počítají sezónní topný faktor SCOP pro dva vzorové příklady. První z nich je tepelné čerpadlo s nominálním výkonem 14 kW, které je navrženo v návrhové oblasti -8 °C, v daném případě město Brusel. Druhé tepelné čerpadlo má výkon 16 kW a návrhová teplota je -17 °C, Stockholm. Obě simulace jsou pro tepelné ztráty objektu 11 kW při návrhových podmínkách a teplotní spád 65/55 °C. V Bruselu byl dosažen celoroční SCOP 3,1 a ve Stockholmu vynikajících 2,7. Takto vysoké účinnosti v evropském měřítku znamenají opět velice výrazné snížení emisí skleníkových plynů v porovnání se standardními kotli.

**Obr. 6** Simulace celoročního topného faktoru pro lokalitu Brusel, Belgie (heat load = tepelná zátěž, Total thermal energy = celková energie pro vytápění, cap class = třída)





**Obr. 7** Simulace celoročního topného faktoru pro lokalitu Stockholm, Švédsko

## Závěr

Snížení nákladů na vytápění a zároveň snížení primární energie pro vytápění lze v nových budovách s nízkou potřebou tepla velice efektivně dosáhnout nízkoteplotními tepelnými čerpadly s jedním chladivovým okruhem. Otopné soustavy ve starších budovách pracují s vysokým teplotním spádem nutným pro stávající radiátory. Pro tyto budovy je velice výhodně využít právě nový kaskádový systém tepelného čerpadla Daikin Altherma HT bez nutnosti rekonstruovat otopnou soustavu s možností ohřátí topné vody až na 80 °C. Toto řešení zajistí výrazné snížení nákladů na vytápění a přispívá ke snižování emisí skleníkových plynů. Oproti klasickým nízkoteplotním tepelným čerpadlům dosahujeme u teplotních spádů topné vody pro radiátory až o 25% vyššího sezónního topného faktoru, což znamená snížení nákladů na vytápění o 25% oproti klasickým tepelným čerpadlům.