

prof. Ing. Jiří PETRÁK, CSc.
doc. Ing. Miroslav PETRÁK, Ph.D.
ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
Ústav energetiky

Tepelné čerpadlo vzduch-voda v otopné soustavě

Air-to-Water Heat Pump in Heating System

Recenzent
doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D.

Předmětem příspěvku je posouzení, do jaké míry se s celoročně měnícími se požadavky otopné soustavy na tepelným zdrojem dodávané množství tepla a jeho teplotní hladinu může vyrovnávat tepelné čerpadlo v dnes klasickém provedení s regulací výkonu zapnuto/vypnuto a tepelné čerpadlo s plynulou regulací změnou otáček kompresoru.

Klíčová slova: tepelné čerpadlo, otopná soustava, topný faktor, vytápění, evropské referenční otopné období

The aim of the paper is to assess to what extent can heat pump supplied in the classical configuration with the on/off power control and the heat pump with a continuous control by variation of compressor speed meet the requirements of the heating system on the amount of delivered heat and its temperature level, which change during the year.

Keywords: heat pump, heating system, coefficient of performance, heating, European reference heating period

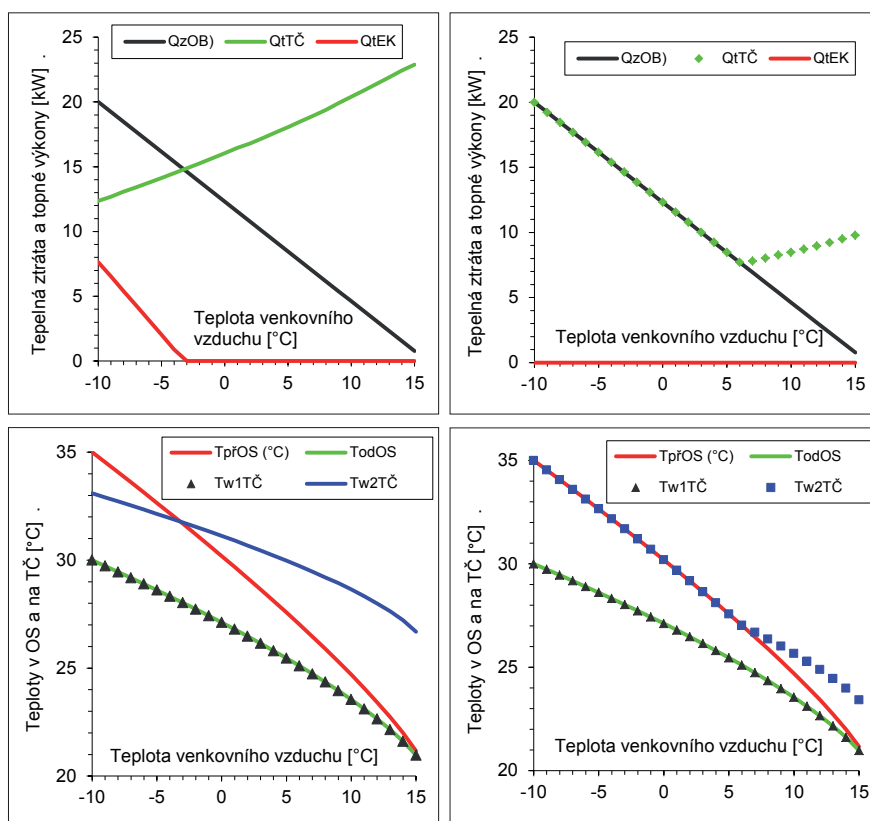
ÚVOD

Tepelné čerpadlo a otopná soustava (dále jen TČ a OS) představují dva samostatné celky s rozdílnými charakteristickými vlastnostmi. Čím nižší je teplota vnějšího vzduchu, tím vyšší požadavky má otopná soustava na zdroj dodané teplo, a to jak na jeho množství, tak i teplotní hladinu. Dlouhou dobu byla na trhu pouze tepelná čerpadla s konstantními otáčkami kompresoru závislémi na frekvenci rozvodné soustavy 50 nebo 60 Hz a regulace TČ podle potřeb otopné soustavy byla řešena skokově systémem zapnuto/vypnuto. Nedostatek výkonu TČ byl pokryt přidáním zdroje tepla, velmi často elektrokotlem. Přebytek výkonu TČ se krátkodobě akumuloval v otopné vodě, jejíž teplota stoupala nad teplotu, kterou v závislosti na teplotě vnějšího vzduchu požadovala na svém přívodu OS.

PŘÍKLAD POROVNÁNÍ TEPELNÉHO ČERPADLA S KONSTANTNÍMI A PROMĚNNÝMI OTÁČKAMI

Ukázka výkonových a teplotních poměrů v OS při vytápění je znázorněna v grafech na obr. 1 až 4. Grafy byly zpracovány pro referenční otopné podmínky průměrné podle ČSN EN 14825 (teplota venkovního vzduchu minimální -10 °C, maximální 16 °C), objekty s výpočtovou tepelnou ztrátou 20 a 30 kW, OS nízkoteplotní 35/30 °C a vysokoteplotní 55/47 °C a TČ pracující s chladivem R410A. Obrázky vlevo odpovídají situaci při použití TČ s kompresorem s konstantními otáčkami ZH15K1P-TFM o výkonnosti 11,7 m³/h (topný výkon 16,8 kW při A2/W35), obrázky vpravo pro kompresor s proměnnými otáčkami ZPV0631E-4E9 výkonnosti 11,0 m³/h (při 50 Hz). Sledované veličiny jsou v obr. označeny následovně:

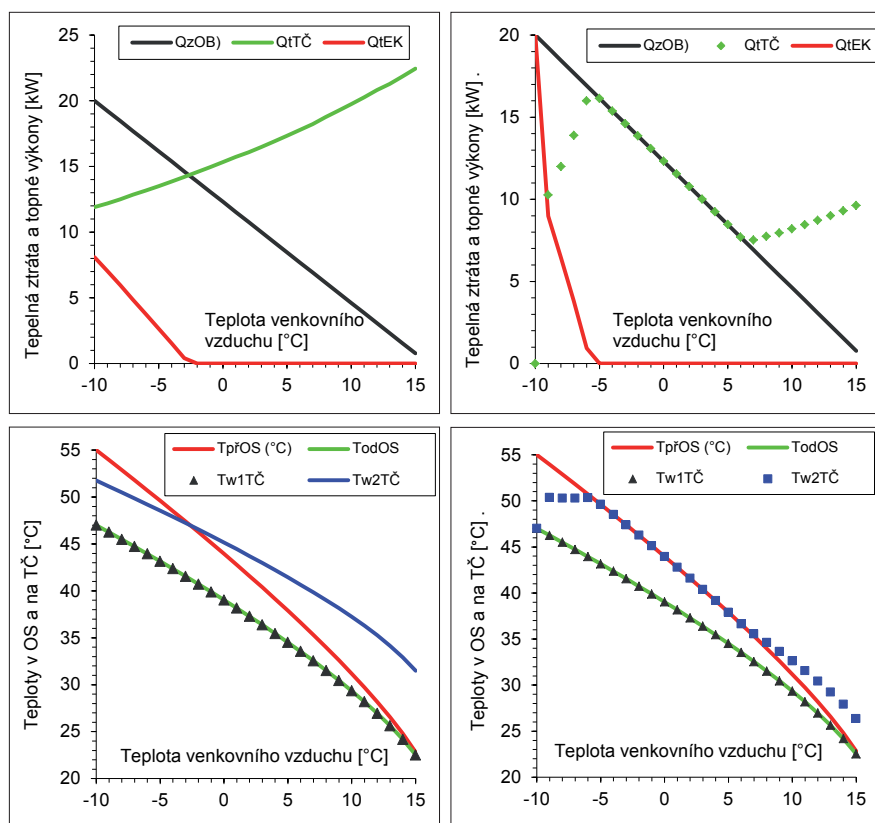
QzOB tepelná ztráta objektu v kW,
QtTČ topný výkon TČ v kW,
QtEK topný výkon elektrokotle v kW,



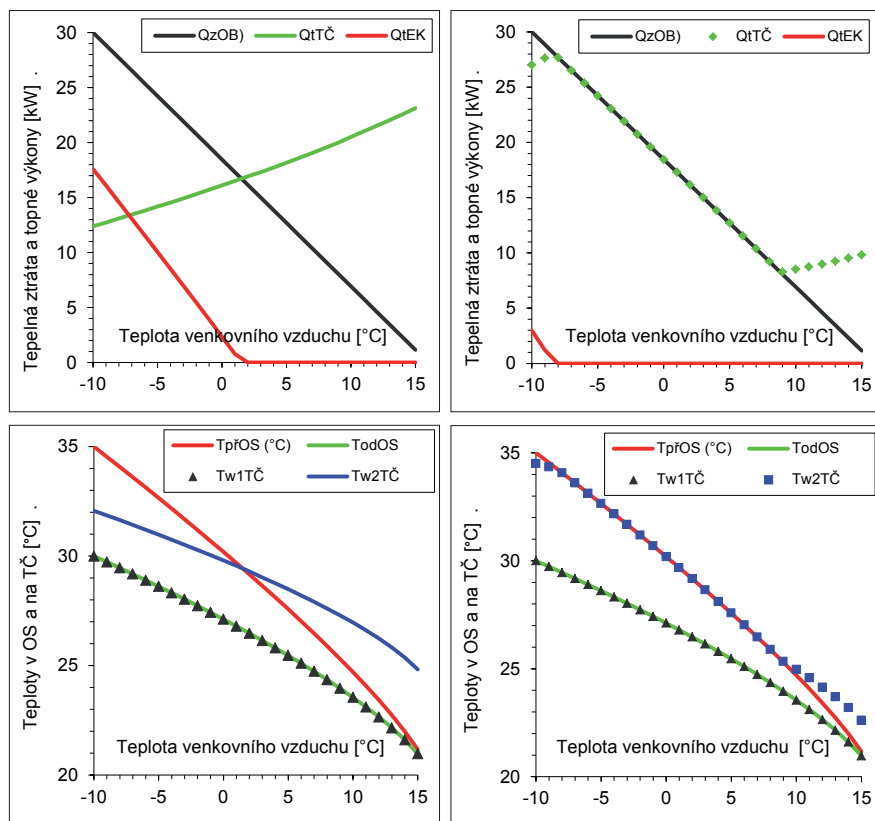
Obr. 1 Otopná soustava nízkoteplotní 35/30 °C s tepelným čerpadlem při výpočtové tepelné ztrátě objektu 20 kW (vlevo kompresor s konstantními otáčkami, vpravo kompresor s proměnnými otáčkami)
Fig. 1 Low-temperature heating system 35/30 °C with heat pump and calculated heat loss of the building 20 kW (constant speed compressor on the left, variable speed compressor on the right)

TprOS teplota vody na vstupu do OS,
TodOS teplota vody na výstupu z OS,
Tw1TČ teplota vody na vstupu do TČ,
Tw2TČ teplota vody na výstupu z TČ.

V objektu s výpočtovou tepelnou ztrátou 20 kW a OS nízkoteplotní 35/30 °C (obr. 1) při použití TČ s konstantními otáčkami se jedná



Obr. 2 Otopná soustava vysokoteplotní 55/47 °C s tepelným čerpadlem při výpočtové tepelné ztrátě objektu 20 kW (vlevo kompresor s konstantními otáčkami, vpravo kompresor s proměnnými otáčkami)
 Fig. 2 High temperature heating system 55/47 °C with heat pump and calculated heat loss of the building 20 kW (constant speed compressor on the left, variable speed compressor on the right)



Obr. 3 Otopná soustava nízkoteplotní 35/30 °C, výpočtová tepelná ztráta objektu 30 kW (vlevo kompresor s konstantními otáčkami, vpravo kompresor s proměnnými otáčkami)
 Fig. 3 Low-temperature heating system 35/30 °C, heat loss of the building 30 kW (constant speed compressor on the left, variable speed compressor on the right)

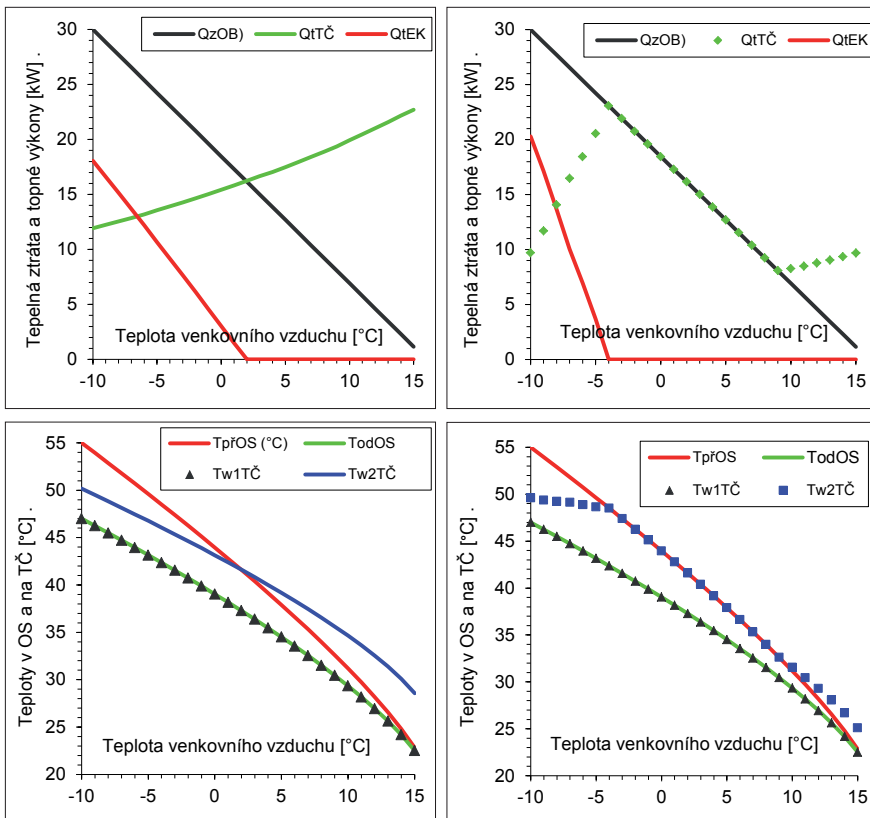
o provoz bivalentní – paralelní s bivalentí od výkonu. Teplota bivalence je cca -3 °C a kromě TČ je zapotřebí bivalentní zdroj tepla s výkonem až cca 7,5 kW pro teploty venkovního vzduchu -10 °C.

Použije-li se TČ osazené kompresorem s proměnnými otáčkami, ten v daném případě pracuje s frekvencí v rozsahu 20 až 85 Hz a má tak stále výkonovou rezervu, neboť maximální frekvence je 120 Hz. Je patrné, že teplota vody vystupující z TČ převyšuje požadovanou vstupní teplotu do OS pouze při teplotách vnějšího vzduchu vyšších než 6 °C, protože kompresor nemůže pracovat s frekvencí pod 20 Hz a snížit tak topný výkon na hodnotu požadovanou OS. Soustavu lze hodnotit jako monovalentní.

Pokud by v tomto objektu byla použita vysokoteplotní OS 55/47 °C, provozní podmínky by odpovídaly stavu, který je znázorněn na obr. 2. K výrazné změně dojde u OS s TČ s proměnnými otáčkami, kdy z monovalentního přejde soustava na bivalentní – částečně paralelní. Při teplotách venkovního vzduchu pod cca -5 °C má sice TČ dostatečný topný výkon (frekvence kompresoru je jen cca 59 Hz), nemůže ale ohřívat vodu na teplotu požadovanou OS, protože by se kondenzační teplota dostala mimo povolenou pracovní oblast kompresoru. Aby nebyla překročena maximální povolená kondenzační teplota, jsou při teplotách venkovního vzduchu cca -5 až -9 °C postupně snižovány otáčky kompresoru, ovšem při jejich poklesu pod 40 Hz se výrazně zmenšuje pracovní rozsah kompresoru (viz obr. 5), takže při snížení teploty venkovního vzduchu pod -9 °C by bylo nutné kompresor vypnout. To se mimo jiné projeví potřebou dimenzovat přídatný zdroj tepla na plnou výpočtovou ztrátu objektu.

Na obr. 3 a 4 jsou tato TČ sledována při použití v objektu s výpočtovou tepelnou ztrátou 30 kW, kdy v případě konstantních otáček kompresoru je dosaženo bivalentní teploty od výkonu při cca +2 °C. Tato teplota je v ČSN EN 14825 a v nařízeních Komise (EU) č. 811/2013 a 813/2013 uvedena jako maximální teplota bivalence pro průměrné referenční otopné podmínky. Svou velikostí je tepelné čerpadlo s kompresorem ZH15 s konstantními otáčkami vhodné pro objekty v průměrné klimatické oblasti až do této výpočtové tepelné ztráty. Proto není v tomto příspěvku sledováno chování TČ v objektech s výpočtovou tepelnou ztrátou nad 30 kW.

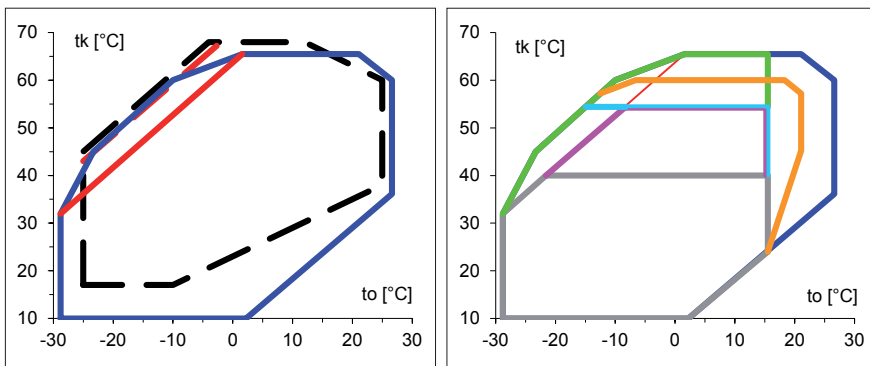
Je dobré si povšimnout, že TČ s kompresorem s proměnnými otáčkami v OS 55/47 °C při výpočtové tepelné ztrátě 20 kW (obr. 2) a teplotě vnějšího vzduchu -10 °C již nemohlo pracovat, při tepelné ztrátě 30 kW pracuje s topným výkonem cca 9,7 kW. To je způsobeno tím, že při požadavku většího výkonu pracuje s vyššími otáčkami a může se pohybovat v širší pracovní oblasti.



Obr. 4 Otopná soustava vysokoteplotní 55/47 °C, výpočtová tepelná ztráta objektu 30 kW (vlevo kompresor s konstantními otáčkami, vpravo kompresor s proměnnými otáčkami)
 Fig. 4 High temperature heating system 55/47 °C, heat loss of the building 30 kW (constant speed compressor on the left, variable speed compressor on the right)

Na obr. 5 jsou pro chladivo R410A v závislosti na teplotě vypařovací t_0 a kondenzační t_k uvedeny pracovní oblasti obou kompresorů. Pro spolupráci kompresoru s proměnnými otáčkami s OS (zejména vysokoteplotní 55/47 °C) je nepříznivá trochu nižší kondenzační teplota oproti kompresoru s konstantními otáčkami a dále zmenšování jeho pracovní oblasti při vysokých nebo nízkých frekvencích, jak to ukazuje pravá část obr. 5.

Pro hodnocení TČ z energetického hlediska byl zaveden topný faktor jako poměr topného výkonu a příkonu, označený zkratkou COP. Dnes definuje norma ČSN EN 14825 celkem 8 druhů topných faktorů, které od sebe rozlišuje indexy za zkratkou COP, nebo (pokud je spojen s určitým ča-



Obr. 5 Pracovní oblast použitých kompresorů (platí pro přehřátí v sání 5 K; pro přehřátí 10K je oblast omezena červenou čarou): čárkovaně kompresor ZH15K1P-TFM s konstantními otáčkami; plnou čarou kompresor ZPV0631E-4E9 s proměnlivými otáčkami (tmavě modrá 43 až 100 Hz, šedá 20 Hz, fialová 30 Hz, zelená 40 Hz, oranžová 110 Hz, světle modrá 120 Hz)
 Fig. 5 Operation zone of employed compressors (valid for overheating in suction 5K; the zone is limited by red line for overheating 10K): dashed line for ZH15K1P-TFM compressor with constant speed; full line for ZPV0631E-4E9 compressor with variable speed (dark blue 43 to 100 Hz, gray 20 Hz, purple 30 Hz, green 40 Hz, orange 110 Hz, light blue 120 Hz)

sovým obdobím) označením SCOP a upřesněním pomocí přidaného indexu, zda se jedná pouze o TČ (potom SCOPnet), nebo v sobě zahrnuje i spotřebu energie přídavným zdrojem (SCOPon). Současně pro účely výpočtu referenčního SCOP stanoví troje referenční podmínky: průměrné, teplejší a chladnější. Pro ně pak udává rozsah venkovních teplot a k jednotlivým teplotám příslušné počty hodin vytápění. To jednotně končí při teplotě venkovního vzduchu 16 °C.

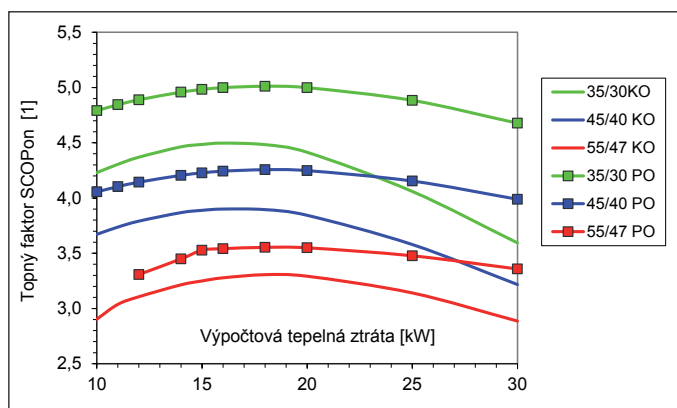
Naším klimatickým podmínkám nejvíce odpovídají referenční podmínky průměrné [5]. Proto byly použity při výpočtu hodnot SCOPon a určení roční úspory energie při vytápění TČ. Ta je zde pro zjednodušení popisu pojata jako rozdíl mezi tepelnou energií dodanou do OS a energií nakoupenou pro provoz kompresoru TČ a přídavného zdroje pracujícího se 100% účinností, což odpovídá elektrickému přímotopu. Pro předpokládané použití těchto TČ v objektech s výpočtovou tepelnou ztrátou 10 až 30 kW, kdy dosahují topné faktory svého maxima, jsou výsledky uvedeny v obr. 6 a 7.

Tepelné čerpadlo velkého výkonu v objektu s malou tepelnou ztrátou znamená velké investiční náklady, ale podle obr. 7 malé úspory energie, tedy dlouhou dobu návratnosti. U kompresoru s plynulými otáčkami hrozí navíc v otopných soustavách s vysokými teplotami riziko, že při předdimenzování tepelného čerpadla stačí nízké otáčky kompresoru, při nichž ale vysoké teploty požadované otopnou soustavou budou mimo pracovní limit kompresoru, což je případ chybějících údajů v okolí 10 kW pro otopnou soustavu 55/47 °C na obr. 6 a 7. Je tedy nutné instalovat tepelné čerpadlo přiměřeného výkonu vzhledem k velikosti objektu a provozovat je raději při vyšších otáčkách kompresoru.

Ačkoliv v obr. 1 až 4 tepelné čerpadlo s kompresorem s proměnlivými otáčkami lépe sleduje potřeby otopné soustavy, je pro objekty o výpočtové tepelné ztrátě 15 až cca 22 kW zlepšení celoročního topného faktoru SCOPon při použití kompresoru s proměnlivými otáčkami jen o cca 10 % oproti kompresoru s konstantními otáčkami (pro otopnou soustavu 55/47 °C jen cca 8 %). Vysvětlení lze najít ve slabých stránkách použitého kompresoru s regulací otáček, jimiž je jednak jeho pracovní oblast (viz obr. 5), jednak větší energetická náročnost jeho provozu, což je na základě dat výrobce uvedeno na obr. 8 porovnáním měrné kompresní práce potřebné pro zajištění oběhu chladiva.

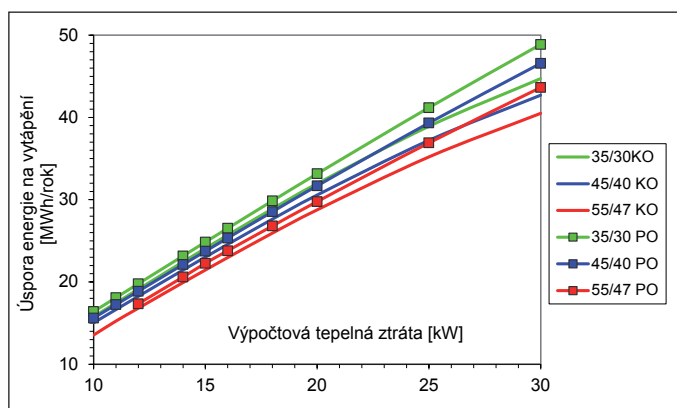
Je třeba upozornit, že obr. 8 neporovnává parametry TČ, ale jen kompresorů, protože ty při stejných vnějších podmínkách pracují s různými teplotami vypařovacími a kondenzačními, kterým neodpovídá stejný tlakový poměr. U kompresoru s proměnnými otáčkami závisí tato veličina též na frekvenci a její hodnoty vyplňují plochu vymezenou v obrázku červenými čarami.

V objektech se jmenovitou tepelnou ztrátou nad cca 22 kW se již SCOPon daného tepelného čerpadla s kompresorem s konstantními otáčkami



Obr. 6 Topný faktor otopného období SCOPon pro různé otopné soustavy: KO – kompresor s konstantními otáčkami; PO – kompresor s proměnnými otáčkami

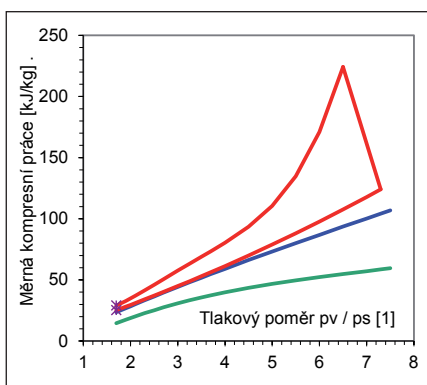
Fig. 6 Seasonal Coefficient of Performance SCOPon for different heating systems: KO – constant speed compressor; PO – variable speed compressor



Obr. 7 Úspora energie potřebné pro vytápění: KO – kompresor s konstantními otáčkami; PO – kompresor s proměnnými otáčkami

Fig. 7 Energy saving for heating: KO – constant speed compressor; PO – variable speed compressor

trvale snižuje. Je to dáno postupným růstem teploty bivalence od výkonu, a tudíž delším provozem bivalentního zdroje o větším výkonu. Zde naopak tepelné čerpadlo s kompresorem s proměnnými otáčkami zvyšuje výkon díky vyšší frekvenci a vykazuje plošší charakteristiku sezónního topného faktoru SCOPon, který tak může být až o 16 %, resp. o 30 % vyšší oproti tepelnému čerpadlu s konstantními otáčkami o zvolené výkonnosti. Pro zlepšení topného faktoru systému s konstantními otáčkami kompresoru u takto velkých budov by bylo nutné zvolit kompresor o větší výkonnosti.



Obr. 8 Měrná kompresní práce v závislosti na poměru tlaku výtlačného a sacího při kompresi izoentropické (zelená) a u kompresorů ZH15K1P-TFM (modrá) a ZPV0631E-4E9 (červená)

Fig. 8 Specific compression work in dependence on the discharge to suction pressure ratio for the isentropic compression (green) and for compressors ZH15K1P-TFM (blue) and ZPV0631E-4E9 (red)

ZÁVĚR

V příspěvku byla porovnána tepelná čerpadla odlišující se jen kompresory (s konstantními otáčkami a s plynulými otáčkami měnitelnými v rozsahu 20 až 120 Hz, ale přibližně stejné výkonnosti 11,7 a 11,0 m³/h při 50 Hz). Výměníky tepla byly v obou konstrukcích shodné (se stejnou charakteristikou). Případné tepelné ztráty při akumulaci tepla produkovaného tepelným čerpadlem nad současnou potřebu otopné soustavy nebyly uvažovány. To může v reálu znevýhodnit variantu s kompresorem s konstantními otáčkami, protože u ní dochází ve větší míře k tomuto režimu provozu.

U objektů s výpočtovou tepelnou ztrátou cca 15 až 22 kW tepelné čerpadlo s plynulými otáčkami dokáže dosáhnout lepšího sezónního topného faktoru SCOPon o cca 10 %. Při tepelné ztrátě objektu 30 kW v závislosti na otopné soustavě dokonce o 16 až 30 %. Díky zvětšení topného výkonu zvýšením otáček dokáže tepelné čerpadlo s kompresorem o obdobné výkonnosti (při 50 Hz) pokrýt větší objekty, u menších objektů (vzhledem k velikosti kompresoru) ale může mít problémy v souvislosti s významným zmenšováním pracovního rozsahu (týká se to zejména otopných soustav s vysokými teplotami vody). Pro daný objekt tak tepelným čerpadlům s proměnlivými otáčkami kompresoru bude stačit menší kompresor (o menší výkonnosti) než tepelným čerpadlům s konstantními otáčkami.

Kontakt na autora: jiri.petrak@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] ČSN EN 14825. Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Zkoušení a klasifikace za podmínek částečného zatížení a výpočet při sezónním nasazení. ÚNMZ 2014.
- [2] Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU) č. 811/2013 ze dne 18. února 2013, kterým se doplňuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/30/EU, pokud jde o uvádění spotřeby energie na energetických štítcích ohřivačů pro vytápění vnitřních prostorů, kombinovaných ohřivačů, souprav sestávajících z ohřivače pro vytápění vnitřních prostorů, regulátoru teploty a solárního zařízení a souprav sestávajících z kombinovaného ohřivače, regulátoru teploty a solárního zařízení. Úřední věstník Evropské unie L 239, str. 1–82 z 6. 9. 2013.
- [3] Nařízení Komise (EU) č. 813/2013 ze dne 2. srpna 2013, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky na ekodesign ohřivačů pro vytápění vnitřních prostorů a kombinovaných ohřivačů. Úřední věstník Evropské unie L 239, str. 136–161 z 6. 9. 2013.
- [4] Návrhový software fy. Copeland: Select, verze 7.13.
- [5] PETRÁK, J., KOLOVRATNÍK, M., PETRÁK, M. Teplota vzduchu v otopném období z pohledu legislativy. *Vytápění, větrání, instalace*. 2017, č. 3, str. 144–148. ISSN 1210-1389.

Jídlem k ochraně klimatu

Jaký příspěvek mohou nabídnout školní kuchyně k ochraně klimatu? Podle iniciativy německého Spolkového ministerstva životního prostředí KEEKS (Klima und energieeffiziente Küche in Schulen), podporované 1,4 mil. €, se ukazuje, že zdravou stravou ve školních kuchyních lze ušetřit značné množství energie. Změnou složení obědového menu v jídelnách lze ušetřit až 0,5 kg ekvivalentních emisí CO₂, např. použitím menšího množství hluboce zmrazených potravin. Kuchyně v prostoru Kolína nad Rýnem ukázaly, že i e-kuchařky a aplikace vaření spolu s další osvětou mohou přinést další úspory.

Na sdruženém projektu se dále podílí ústavy IZT (Institut für Zukunftstudien und Technologiebewertung), Faktor 10 (Institut für nachhaltigen Wirtschaften GmbH) a IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung der Vegetarierversuchung) a další. Vliv klimatu sleduje ústav Institut für Klima, Energie und Umwelt ve Wuppertalu. V něm se mj. studuje i vliv větrání kuchyní a jídelen.

Pramen: CCI 14/2016, s. 4

(AB)