

Efektivita kompaktní větrací jednotky s tepelným čerpadlem v rodinném domě

Efektivita kompaktní větrací jednotky s tepelným čerpadlem v rodinném domě

16.6.2020

Ing. Radek Červín, Fakulta strojní, ČVUT v Praze, doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D., Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze

RECENZOVANÝ

Předmětem zkoumání je větrací jednotka s tepelným čerpadlem zajišťující podtlakové větrání v konkrétním RD. Ze získaných parametrů byla zpracována celoroční energetická bilance provozu. Pro celkovou tepelnou ztrátou 5 kW byl vyhodnocen sezónní topný faktor *SPF* celého systému na úrovni 2,5.

Téma

Článek představuje technologii kompaktních tepelných čerpadel využívajících odpadní vzduch a stručnou klasifikaci těchto produktů dostupných na trhu. Předmětem zkoumání je konkrétní typ kompaktní větrací jednotky s tepelným čerpadlem zajišťující podtlakové větrání v rodinném domě. Kvůli omezenému množství dostupných dat z nezávislých zkušebních protokolů nebo poskytovaných výrobcem bylo provedeno laboratorní zkoušení jednotky. Získané parametry byly použity pro celoroční energetickou bilanci provozu kompaktní jednotky v rodinném domě. Pro uvažovaný rodinný dům s celkovou tepelnou ztrátou 5 kW byl vyhodnocen sezónní topný faktor *SPF* celého systému na úrovni 2,5.

Úvod

Dobře zateplené domy jsou v dnešní době běžným standardem. Často je kladen velký důraz na kvalitu použitých izolačních materiálů včetně oken, a proto již není možné pro dostatečné větrání uvažovat přirozenou infiltraci okny jejich netěsnostmi. Potřeba větrání je nedílnou součástí moderního života a systémy nuceného větrání se zpětným získáváním tepla (dále ZZT) se stávají běžnou součástí nově stavěných či rekonstruovaných rodinných domů. Otázkou využití tepla z odpadního vzduchu se ve Skandinávii začali zabývat již v 70. letech a jednou z možností jsou tepelná čerpadla (dále TČ) využívající odpadní vzduch jako zdroj tepla (z anglického Exhaust Air Heat Pump). Nejprve tato zařízení disponovala pouze možností přípravy teplé vody (dále TV), později přibyla i funkce vytápění. V dnešní době jsou kompaktní jednotky s TČ nejčastěji instalované především v severovýchodních zemích, hlavně ve Švédsku a Finsku.

Například v roce 2018 bylo ve Švédsku prodáno více než 17 000 kompaktních větracích jednotek s TČ, což je téměř 30 % všech prodaných tepelných čerpadel [1]. V rodinných domech byl tento podíl ještě vyšší a v nově postavených rodinných domech je zdrojem tepla kompaktní větrací jednotka s TČ v 90 % [2]. Díky příznivým teplotám vnitřního vzduchu vykazují tato zařízení obvykle vysokou účinnost [3]. Provozní podmínky jsou relativně konstantní, což také pozitivně ovlivňuje životnost kompresoru v těchto jednotkách.

Nicméně téma kompaktních větracích jednotek s TČ není v ostatních evropských zemích příliš známé. Například dosud neexistuje mezinárodní norma pro jejich testování a komplexní hodnocení. Kvůli velkému množství různých typů konstrukcí navíc ani neexistuje jednotný a

všeobecně známý název pro tento druh jednotek. Termín EAHP je používán hlavně v severských a v anglicky mluvících zemích. V německy mluvících zemích a v centrální Evropě se používá termín „větrací kompaktní jednotka“ nebo zjednodušeně „kompaktní jednotka“. Navíc není k dispozici univerzální a uživatelsky jednoduchý nástroj umožňující energetické hodnocení provozu kompaktních větracích jednotek s TČ v reálných instalacích.

Na trhu existuje více druhů kompaktních větracích jednotek s TČ s odlišnou konstrukcí, pracujících s různými teplotami na výparníku a disponujících mnoha funkcemi. Níže je uveden přehled různých technologií. Za účelem ověření výkonu a efektivity byla laboratorně testována konkrétní kompaktní větrací jednotka s TČ. Z naměřených dat byl vytvořen zjednodušený model a byl proveden výpočet energetické bilance jejího provozu v daném rodinném domě s využitím tzv. intervalové metody podle ČSN EN 15316-4-2 [4].

Kompaktní větrací jednotky s TČ

Jak již bylo zmíněno, existuje mnoho druhů EAHP jednotek. V každém případě všechny typy musí splňovat podmínku, že část s tepelným čerpadlem je napojena na vzduchotechnické potrubí odpadního vzduchu. Kromě chladiového modulu by dále měly disponovat větracím zařízením, zásobníkem TV a záložním elektrokotlem. Následně je možné kompaktní větrací jednotky s TČ dělit podle následujících kritérií:

- zdroj tepla pro výparník TČ
- pouze samotný odpadní vzduch
- směs odpadního a venkovního vzduchu
- směs odpadního a přehřátého venkovního vzduchu (např. zemním výměníkem)
- způsob vytápění
- teplovodní
- teplovzdušné
- kombinace obou možností
- funkce
- pouze vytápění, příprava TV, větrání
- chlazení při reverzním chodu tepelného čerpadla
- chlazení bez použití tepelného čerpadla (při vhodných podmínkách)
- odvlhčování, zpětné získávání vlhkosti
- deskový výměník ZZT
- je součástí
- není součástí
- způsob větrání
- rovnotlaký
- podtlakový

Z pohledu hodnocení celkové efektivity kompaktní větrací jednotky s TČ jsou nejzajímavější právě dva poslední body. Přítomnost výměníku ZZT snižuje vstupní teplotu odpadního vzduchu na výparník a účinnost chladiového oběhu TČ je tak nižší. Na druhou stranu výměník ZZT snižuje tepelnou ztrátu větráním a zlepšuje celkovou energetickou bilanci větráním. Ostatně to je

důvod, proč výměník ZZT musí být použit například v tzv. pasivních domech. Naopak podtlakový systém může být zajímavým řešením v případě nízkoenergetických domů, rekonstrukcí rodinných domů nebo rekonstruovaných bytů. Investiční náklady jsou totiž v tomto případě výrazně nižší a instalace je mnohem jednodušší. Rozvody potrubí odpadního vzduchu je možné umístit do velmi malého prostoru v bytě nebo domě, protože místnosti určené k odvodu vzduchu jsou často situovány blízko sebe. Distribuce čerstvého vzduchu je v takovém případě zajištěna buď větrací mřížkou v rámu okna, nebo speciálními stěnovými ventily.

Laboratorní testování

Byla zkoumána kompaktní větrací jednotka s TČ bez výměníku ZZT zajišťující podtlakové větrání objektu. Důvody pro tento výběr byly především:

- jednodušší instalace v porovnání s rovnotlakými systémy, díky čemuž je vhodná i pro rekonstrukce;
- tím pádem nižší náklady na instalaci, když je použito pouze odvodní vzduchotechnické potrubí;
- rovněž investiční náklady kompaktní větrací jednotky s TČ bez výměníku ZZT jsou nižší.

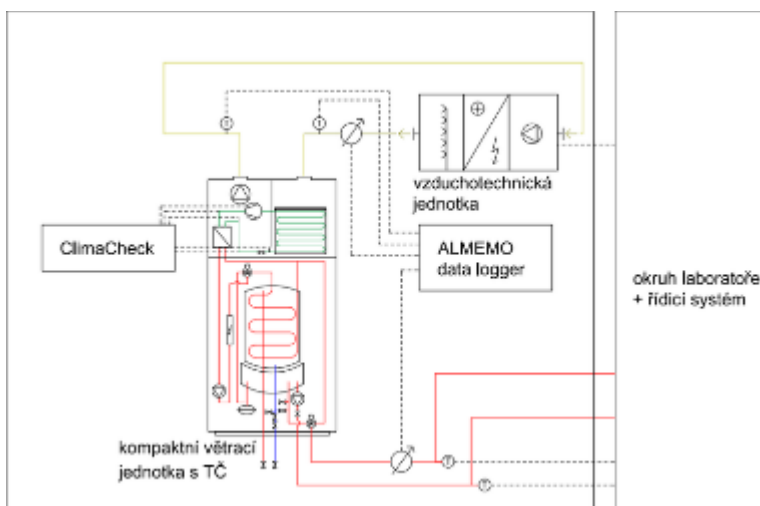
Byla zvolena jednotka F750 od švédského výrobce NIBE. Zařízení disponuje nerezovým zásobníkem teplé vody o objemu 180 l, akumulací nádobou o objemu 35 l pro režim vytápění, bivalentním záložním zdrojem o maximálním tepelném výkonu 6,5 kW, dvěma oběhovými čerpadly a jedním ventilátorem odpadního vzduchu. Dále zařízení disponuje frekvenčně řízeným kompresorem pracujícím s chladivem R407c a deklarovaným jmenovitým výkonem 5,0 kW při A20/W45 s průtokem odpadního vzduchu 252 m³/h při maximálních otáčkách kompresoru.

Veřejně dostupné údaje poskytované výrobcí TČ jsou podle evropských norem ČSN EN 14511-3 [5] nebo ČSN EN 14825 [6]. Především body měřené podle ČSN EN 14825 mohou být jen těžko využity při energetických bilancích pro konkrétní budovu, protože jak údaje o hodnotách *SCOP*, tak spotřeby elektrické energie jsou pro typizovanou budovu s danou tepelnou ztrátou a rovněž se v normovaných výpočtech *SCOP* neuvažuje s přípravou TV. Hodnoty z testování na základě podmínek definovaných v normě ČSN EN 14511-2 [7] mohou být velmi dobrým zdrojem pro další výpočty a simulace s TČ bez řízeného výkonu. Tepelná čerpadla vzduch-voda a zejména právě kompaktní jednotky s TČ jsou v současnosti vybavena v naprosté většině invertorem, avšak výrobci běžně neposkytují celou výkonovou a účinnostní mapu naměřených hodnot pro různé frekvence kompresoru. Dostupná je často pouze její velice omezená část, zcela nedostatečná pro vytvoření matematického modelu. Stejně tak certifikáty nezávislých institucí jako jsou HP Keymark nebo EHPA Q-label tyto údaje neuvádějí.

Za účelem získání detailních údajů o výkonu a efektivitě kompaktní větrací jednotky s TČ proběhlo měření v laboratoři tepelných čerpadel UCEEB, ČVUT v Praze. Instalace zařízení v laboratoři je znázorněno na Obr. 1. Schéma celého měření je znázorněno na Obr. 2. Jednotka byla umístěna v klimatické komoře, která slouží k vytvoření požadovaného prostředí. Výstup a vstup otopné soustavy kompaktní větrací jednotky s TČ byly napojeny na laboratorní okruh. Teplotní rozdíl na kondenzátoru byl řízen externím čerpadlem s proměnnými otáčkami v rámci laboratorního řídicího systému. Požadované parametry vstupního vzduchu (teploty suchého a mokrého teploměru) pro testování kompaktní větrací jednotky s TČ zajišťovala externí vzduchotechnická jednotka. Průtok vzduchu na výparníku byl měřen hmotnostním průtokoměrem Sierra Nema. Průtok otopné vody na kondenzátoru byl měřen pomocí elektromagnetického průtokoměru Siemens Sitrans Mag 5000. Pro měření teploty byly použity senzory Pt100. Všechny měřené údaje byly zapisovány záznamovým zařízením ALMEMO a řídicím systémem laboratoře. Za účelem detailního měření chladivového okruhu bylo použito zařízení ClimaCheck Performance Analyser. Toto zařízení měří důležité hodnoty v rámci chladivového okruhu jako jsou kondenzační a vypařovací tlaky a teploty, spotřebu elektrické energie a současně v každém měřeném bodě počítá hodnoty, jako jsou *COP*, entalpie chladiva, apod.



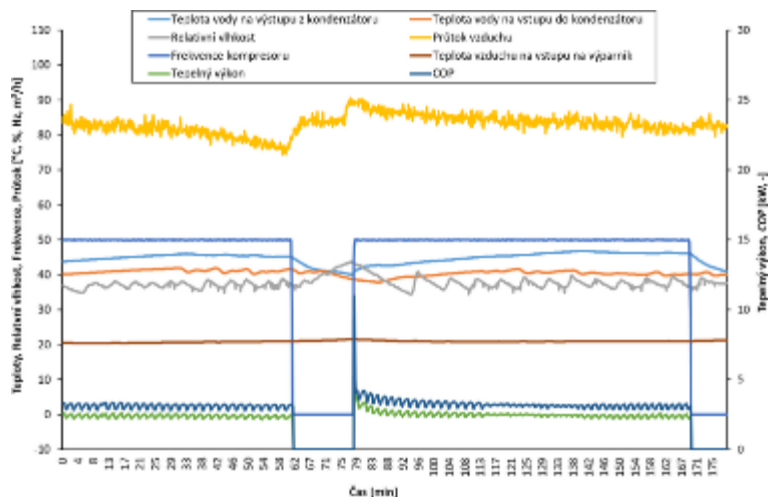
Obr. 1 – Kompaktní větrací jednotka s TČ v laboratoři tepelných čerpadel (UCEEB, ČVUT v Praze)



Obr. 2 – Schéma zkoušení kompaktní větrací jednotky s TČ

Různé okrajové podmínky (body) byly zvoleny v souladu s ČSN EN 14511-2 [7]. Parametry odpadního vzduchu byly během celého testování konstantní – teplota suchého teploměru byla 20 °C a teplota mokrého teploměru 12 °C. Teplotní spády otopné vody na kondenzátoru byly 35/30 °C, 45/50 °C a 55/50 °C. Cílem testování bylo vytvořit výkonovou mapu se třemi různými průtoky vzduchu, 80 m³/h (minimální průtok vzduchu požadovaný výrobcem), 180 m³/h, 240 m³/h a čtyři různé otáčky kompresoru při frekvencích 25 Hz, 50 Hz, 72 Hz a 100 Hz. Z důvodu velkého počtu testovacích bodů nebyly plně dodrženy časové úseky dané normou, nicméně byla dodržena doba alespoň 60 minut provozu v ustáleném stavu pro každý bod.

Jedna z typických testovaných period (úseků) je zobrazena na Obr. 3. Jedná se o bod při minimálním průtoku vzduchu 80 m³/h a frekvenci kompresoru 50 Hz. Jsou zde patrné dva odtávací cykly trvající přibližně 15 minut. Průtok vzduchu \dot{V}_a během zkoušeného úseku klesá, protože je ovlivněn přibývajícím množstvím námrazy na výparník, kvůli které může být průtok snížen až o 15 % z původní hodnoty.



Obr. 3 – Průběh testu při průtoku vzduchu 80 m³/h a frekvenci kompresoru 50 Hz

Pro průtok vzduchu 80 m³/h bylo dosaženo maximálního topného výkonu 2,9 kW a COP na úrovni 2,2 při teplotním rozdílu otopné vody 55/50 °C a frekvenci 72 Hz. Maximálního výkonu při tomto průtoku vzduchu nebylo dosaženo při maximální frekvenci 100 Hz, a to z důvodu limitu regulace (minimální teplota na výparníku je -17 °C). Jakmile byla podkročena teplota -17 °C, regulátor začne automaticky snižovat frekvenci kompresoru, z toho důvodu nemohl být tento bod naměřen. Minimální topný výkon byl 1,9 kW s hodnotou COP = 4,5 při teplotním rozdílu otopné vody 35/30 °C a při minimální frekvenci 25 Hz. Pro větší průtoky 180 m³/h resp. 240 m³/h byly dosaženy relativně podobné výsledky. Minimální topný výkon byl 2,0 kW s COP = 4,5 při teplotním rozdílu 45/40 °C a frekvenci 25 Hz. Naopak maximálního výkonu bylo dosaženo při teplotním rozdílu 45/40 °C a frekvenci 100 Hz a byl 4,9 kW s COP = 2,6. Uvedené naměřené hodnoty jsou relativně v souladu s údaji, které poskytuje výrobce v technické dokumentaci. Příklad všech zhodnocených parametrů pro průtok vzduchu 240 m³/h je uveden v Tab. 1.

Tab. 1 – Výkonová mapa kompaktní větrací jednotky s TČ pro průtok vzduchu 240 m³/h

t_{k2} [°C]	t_{k1} [°C]	dT [K]	ϕ [%]	\dot{V}_w [l/h]	\dot{V}_a [m ³ /h]	t_{v1} [°C]	t_{v2} [°C]	P [kW]	ϕ_k [kW]	COP [-]	$f_{TČ}$ [Hz]
34,5	29,9	4,6	17,5	507,3	243,1	20,4	1,9	0,7	3,2	4,8	50
35,5	29,9	5,5	21,6	697,9	244,9	20,5	-7,9	1,1	3,7	3,5	72
45,2	40,0	5,3	37,4	581,4	242,9	20,3	6,0	0,8	3,6	4,4	50
45,4	40,1	5,3	38,1	749,4	238,4	19,4	3,3	1,0	3,9	4,1	72
54,0	50,1	3,9	18,2	580,0	238,7	18,9	6,5	0,9	2,8	3,0	50
55,4	50,6	4,8	13,5	685,5	238,8	18,5	0,9	1,4	3,9	2,8	72

Energetická bilance

Za účelem provedení roční energetické analýzy provozu kompaktní větrací jednotky s TČ v rodinném domě, byla provedena energetická bilance podle evropské normy ČSN EN 15316-4-2 [4] respektive podle jejího zjednodušení v TNI 73 0351 [8]. Norma využívá tzv. intervalovou metodu zakládající se na četnosti rozložení teploty venkovního vzduchu během roku. Energetická

bilance je provedena v teplotních intervalech definovaných střední teplotou a jejich délkou trvání. Jako vstupy pro intervalovou metodu je třeba znát jednak potřebu tepla na vytápění a přípravu TV, a právě především detailní výkonovou mapu kompaktní větrací jednotky s TČ.

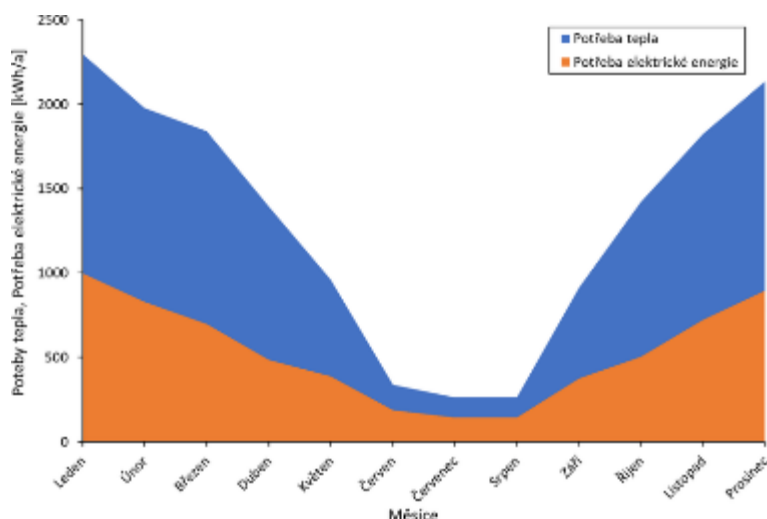
Byl zvolen rodinný dům s celkovou tepelnou ztrátou (prostupem a větráním) 5 kW při výpočtové teplotě venkovního vzduchu $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ a teplotě vzduchu v interiéru $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Průtok odpadního vzduchu byl zvolen konstantně $180\text{ m}^3/\text{h}$. V celém domě bylo uvažováno podlahové vytápění s návrhovým teplotním rozdílem $35/30\text{ }^{\circ}\text{C}$ a ekvitermní regulací. Celkový příkon oběhových čerpadel a ventilátoru odpadního vzduchu byl uvažován 110 W v režimu vytápění a 95 W v režimu přípravy TV. Měsíční potřeba tepla na vytápění byla vypočtena podle ČSN EN ISO 13790 [8] a tepelné ztráty systému vytápění byly uvažovány 5 % z celkové potřeby tepla. Roční potřeba tepla $Q_{P,VYT}$ dosahuje téměř 12 MWh/a . Pro přípravu TV byly uvažovány 4 trvale žijící osoby v domě s denní spotřebou 40 l/den na jednu osobu. Teplota studené vody z vodovodního řadu byla uvažována celoročně $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a požadovaná teplota TV byla $55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rovněž byla zohledněna nižší spotřeba teplé vody v letním období o 25 %. Potřeba tepla na přípravu TV byla vypočtena podle ČSN EN 15316-3-1 [9] s uvažováním tepelné ztráty v rozvodech na úrovni 30 %. Roční potřeba tepla $Q_{P,TV}$ na přípravu TV tak byla necelé 4 MWh/a , což je výrazně méně v porovnání s vytápěním. Energie $Q_{TČ}$ dodaná kompaktní větrací jednotkou s TČ byla 91 % z celkové energie dodané rodinnému domu a zbylá energie byla dodána záložním elektrokotlem. Do celkové potřeby elektrické energie E_{SYS} byla uvažována spotřeba elektrické energie kompresoru, ventilátorů, elektrokotle i oběhových čerpadel. Přehled celkové měsíční energetické bilance je uveden v Tab. 2. Porovnání celkově dodaného tepla do rodinného domu s elektrickou spotřebou celého systému s kompaktní větrací jednotkou s TČ je graficky znázorněno na Obr. 4.

Tab. 2 – Roční energetická bilance větrací jednotky s TČ v rodinném domě

Měsíc	$Q_{P,VYT}$ [kWh]	$Q_{P,TV}$ [kWh]	$Q_{P,celk}$ [kWh]	$Q_{TČ}$ [kWh]	$E_{TČ}$ [kWh]	E_{SYS} [kWh]	COP_{HP} [-]	SPF_{SYS} [-]
Leden	1950	349	2299	1884	505	998	3,7	2,3
Únor	1662	315	1977	1669	450	829	3,7	2,4
Březen	1492	349	1841	1692	471	698	3,6	2,6
Duben	1054	337	1392	1392	410	484	3,4	2,9
Květen	613	349	962	962	324	387	3,0	2,5
Červen	0	337	337	337	171	186	2,0	1,8
Červenec	0	262	262	262	132	144	2,0	1,8
Srpen	0	262	262	262	132	144	2,0	1,8
Září	576	337	913	913	311	376	2,9	2,4
Říjen	1071	349	1420	1415	420	504	3,4	2,8
Listopad	1488	337	1826	1633	455	723	3,6	2,5

Tab. 2 – Roční energetická balance větrací jednotky s TČ v rodinném domě

Měsíc	$Q_{P,VYT}$ [kWh]	$Q_{P,TV}$ [kWh]	$Q_{P,celk}$ [kWh]	$Q_{TČ}$ [kWh]	$E_{TČ}$ [kWh]	E_{SYS} [kWh]	COP_{HP} [-]	SPF_{SYS} [-]
Prosinec	1785	349	2134	1811	492	893	3,7	2,4
	11692	3932	15624	14231	4272	6376	3,3	2,5



Obr. 4 – Dodané teplo do rodinného domu a celková spotřeba elektrické energie systému s kompaktní větrací jednotkou s TČ

Závěr

Kompaktní větrací jednotky s tepelným čerpadlem jsou technologií dostupnou v různých provedeních. Pro účely energetické bilance provozu jednotky využívající teplo z odpadního vzduchu v podtlakovém větracím systému byla laboratorně zkoušena konkrétní jednotka bez výměníku ZZT při různých provozních podmínkách (průtoky vzduchu, frekvence kompresoru, teplotní úrovně na straně odběru tepla). Výstupy ze zkoušení umožnily sestavit výkonovou mapu pro matematický model a použít ho v energetické bilanci pro rodinný dům. Energetická bilance intervalovou metodou v měsíčním rozlišení ukázala, že v konkrétním rodinném domě dosahuje samotná větrací jednotka s tepelným čerpadlem topného faktoru COP okolo hodnoty 3,3, přičemž v režimu přípravy teplé vody je to pouze 2,0. Vzhledem k určitému poddimenzování výkonu jednotky (dané návrhovým větracím průtokem) bylo dosaženo pouze 91% pokrytí potřeby tepla a hodnota celkového topného faktoru SPF celého systému (včetně záložního zdroje) je pouze 2,5. Zároveň kompaktní větrací jednotka s TČ vykazuje výrazně vyšší účinnost v režimu vytápění než v režimu přípravy teplé vody.

Tento článek vznikl za finanční podpory projektu SGS19/159/OHK2/3T/12 – modelování, regulace a design HVAC přístrojů a Technologickou agenturou České republiky (TAČR) pod programem Národního centra kompetence I.

Použitá literatura

1. Värmepumpföreningen i Sverige 1982-2019, Svenska Kyl & Värmepumpföreningen, [Online]. Available: <https://skvp.se/aktuellt-o-opinion/statistik/varmepumpsforsaljning>. [Accessed 10 12 2019].

2. M. Lindahl, C. Haglund Stignor, K. Andersson and S. Thyberg, Exhaust Air Heat Pumps Evaluated for Nordic Circumstances, in 11th IEA Heat Pump Conference, 2014.
3. G. Fracastoro and M. Serraino, Energy analyses of buildings equipped with exhaust air heat pump (EAHP), Energy Build, 2010, pp. 1283–1289.
4. SN EN 15316-4-2, Energetická náročnost budov – Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy – Část 4-2: Výroba tepla pro vytápění, Tepelná čerpadla, Modul M3-8-2, M8-8-2, ÚNMZ, 2017.
5. ČSN EN 14511-3, Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Část 3: Zkušební metody, ÚNMZ, 2014.
6. 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 sezonním nasazení, ÚNMZ, 2014.
7. ČSN EN 14511-2, Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru – Část 2: Zkušební podmínky, ÚNMZ, 2014.
8. TNI 73 0351, Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup, ÚNMZ, 2014.
9. ČSN EN ISO 13790, Energetická náročnost budov – Výpočet potřeby energie na vytápění a chlazení, ÚNMZ, 2008.
10. ČSN EN 15316-3-1, Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy – Část 3-1: Soustavy teplé vody, charakteristiky potřeb (požadavky na odběr vody), ÚNMZ, 2010.

Původní článek vyšel v anglickém znění v časopise [Vytápění, větrání, instalace](#).

English Synopsis

Datum: 16.6.2020

Autor: Ing. Radek Červín, Fakulta strojní, ČVUT v Praze. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D., Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze [všechny články autora](#)

Recenzent: Ing. Martin Kny, Ph.D.

<https://vytapani.tzb-info.cz/tepelná-čerpadla/20804-efektivita-kompaktní-ventraci-jednotky-s-tepelným-čerpadlem-v-rodinném-dome>