

Větrací jednotky s tepelným čerpadlem, část 2. Ekonomické hodnocení

Větrací jednotky s tepelným čerpadlem, část 2. Ekonomické hodnocení

12.5.2020

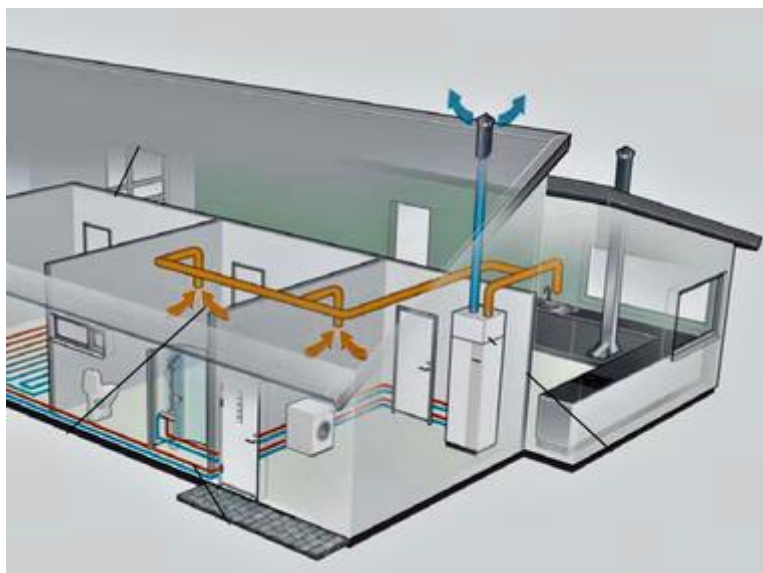
Ing. Jan Vitouš, Ing. Martin Kny, Ph.D., ČVUT v Praze, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov

RECENZOVANÝ

Autoři vycházejí z legislativních požadavků na větrání a navrhli technická řešení, i s využitím ventilačních tepelných čerpadel. Varianty řešení byly simulací provozu vyhodnoceny podle energetické náročnosti. V závěrečném 2. dílu je provedeno ekonomické hodnocení variant.

Téma

Článek se věnuje možnostem využití energie z odpadního vzduchu při větrání bytových staveb. Článek je rozdělen na dvě části. Část první se věnuje legislativním požadavkům na větrání a jejich možnému technickému řešení. Pomocí matematického modelu objektu rodinného domu je provedeno vyhodnocení několika variant technického řešení větrání s ohledem na jeho energetickou náročnost. Část druhá se zaměřuje na ekonomické hodnocení jednotlivých variant.



Obr. Příklad jednoho z více možných řešení větrání s tepelným čerpadlem (NIBE F750)

Pro jednotlivé základní způsoby využití odpadního tepla z větrání popsané a vyhodnocené v první části článku bylo sestaveno ekonomické hodnocení stanovující celkové náklady na systém po dobu udržitelnosti 30 let. Podkladem pro sestavení ekonomické náročnosti z hlediska provozních nákladů na spotřebu energie byla předchozí kapitola, věnující se roční energetické bilanci.

V objektu rodinného domu byly porovnávány investiční a provozní náklady systémů s využíváním odpadního tepla s hlavním zdrojem tepelné energie v objektu ve variantě s elektrokotlem (značeno

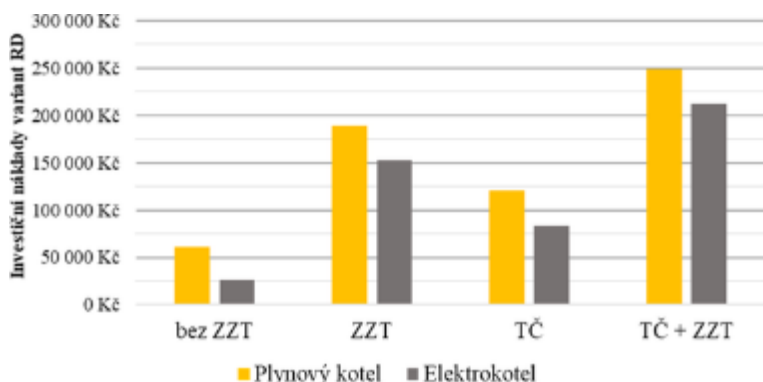
varianta A) a plynovým kondenzačním kotlem (varianta B). Výsledné hodnocení je provedeno pomocí prostého cashflow a diskontovaného cashflow s diskontní sazbou 2 %. Na základě délky časového intervalu je do hodnocení promítnuta také uvažovaná reinvestice v podobě výměny zdroje tepelné energie a hlavních prvků zpětného získávání tepla z odpadního vzduchu. Hodnocení bylo provedeno v souladu s normou ČSN EN 15459-1 [7]. Při hodnocení bylo uvažováno vždy v cenách bez DPH.

Investiční náklady na technologie

Náklady na pořízení technologie se liší mezi variantami A a B, v investičních nákladech pro pořízení plynového kondenzačního kotle je také uvažováno s nutností pořízení odkouření.

Do investičních nákladů na pořízení systému se zpětným získáváním tepla **ZZT** jsou zahrnuty i nutné vzduchotechnické rozvody.

Ve variantě s tepelným čerpadlem je počítáno s náklady na ventilační tepelné čerpadlo, regulaci, ale také nutné úpravy rozvodů vzduchu a rozvodů teplé vody.



Obr. 3 Investiční náklady jednotlivých variant zdroje tepla a zpětného získávání tepla z odpadního vzduchu

Provozní náklady

Provozní náklady se dají rozdělit na náklady za spotřebovanou energii, a na náklady spojené s provozem jednotlivých zařízení, jakými jsou např. servisní náklady, náklady na údržbu, náklady na čištění apod. Provozní náklady rostou s náročností systémů, ale také s legislativními požadavky při různých typech zařízení. V nákladech uvedených níže jsou zahrnuty také částky na pravidelné revize, výměny filtrů a čištění systémů VZT potrubí.

Povinné revize a kontroly plynových zařízení jsou povinné pro fyzické osoby podnikající a pro právnické osoby. Přesto z důvodu zajištění bezpečnosti jsou do provozních nákladů počítány náklady na revizi plynového zařízení v 3letém intervalu. Revize detektoru úniku plynu je vynechána, ale je uvažováno s životností detektoru 3 roky a jeho pravidelná výměna v tomto intervalu.

Tab. 3 Orientační výpis nákladů s orientačními částkami na nutný servis, údržbu, revize a provoz jednotlivých zařízení během celkové udržitelnosti systému po dobu 30 let

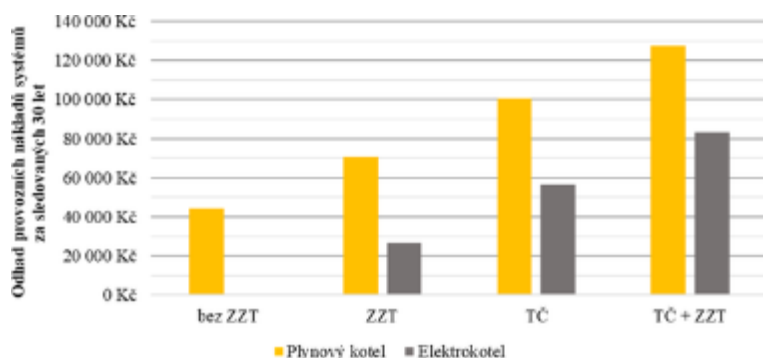
Zařízení	Nutné revize u PK	Legislativní ukotvení	Orientační ceny za 1 prohlídku	Počet revizí ročně	Četnost revizí X let	Počet revizí za 30 let celkem	Pozn.:
Plynový kotel	Revize plynového zařízení	ČSN 07 0703/ vyhláška č. 85/1978 Sb.	1 200 Kč	1	3	10	

Tab. 3 Orientační výpis nákladů s orientačními částkami na nutný servis, údržbu, revize a provoz jednotlivých zařízení během celkové udržitelnosti systému po dobu 30 let

Zařízení	Nutné revize u PK	Legislativní ukotvení	Orientační ceny za 1 prohlídku	Počet revizí ročně	Četnost revizí X let	Počet revizí za 30 let celkem	Pozn.:
	Kontrola plynového zařízení	Vyhláška č. 85/1979 Sb.	-	1	1	30	neuvažováno pro RD
	Výměna detektoru úniku plynu		600 Kč	1	1	30	
	Servis plynového spotřebiče do 50 kW	Servisní prohlídka	800 Kč	1	3	10	dle návodu k obsluze
	Revize plynového spotřebiče do 50 kW	TPG 704 01	-	1	3	10	
	Kontrola spalinových cest	Vyhláška č. 34/2016 Sb.	350 Kč	1	2	15	
	Čištění spalinových cest	Vyhláška č. 34/2016 Sb.	350 Kč	1	2	15	
VZT	Vyčištění rozvodů a případně zařízení		2 500 Kč	1	6	5	vč. potrubního systému a dopravy
	Výměna filtračního zařízení		320 Kč	1	1	30	4–8 ks/rok, vč. dopravy, práce vlastní
TČ	Čištění filtrů tepelného čerpadla		1 450 Kč	1	2	15	materiál + montáž
	Kontrola těsnosti a úniku chladiva		2 500 Kč	1	2	15	

Do provozních nákladů nebyly započteny náklady na repasování zařízení. Životnost zařízení je zahrnuta v modelech toku peněz po sledovanou dobu v podobě reinvestice.

Provozní náklady na revize, výměny filtrů, čištění apod. jsou proměnné v jednotlivých letech. Porovnání těchto nákladů je tedy uvedeno na grafu níže v sumě pro sledované období 30 let.



Obr. 4 Odhadované provozní náklady za dobu udržitelnosti 30 let, tj. náklady na servis, revize a údržbu zařízení, nezahrnuje náklady za spotřebované množství energie

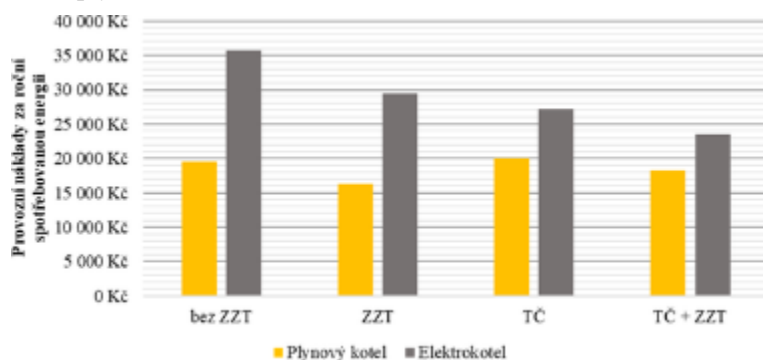
Provozní náklady za spotřebovanou energii

Z modelových energetických bilancí pro rodinný dům byla převzata hodnota roční energetické bilance pro jednotlivé varianty využívání odpadního tepla ze vzduchu, pro kterou byla určena roční platba za odebrané množství energie. Uvedené roční náklady za spotřebované množství odpovídají celkovým platbám, tj. včetně platby stálých složek. Mezi jednotlivými variantami byla zohledněna varianta na snížení nutnosti potřebného příkonu systému – pro elektrické vytápění byla snížena platba za rezervovaný příkon (velikost jističe).

Ceny za roční spotřebu energie

Ceny za roční spotřebu energie se výrazně liší v závislosti na zvoleném dodavateli. Z tohoto důvodu byla zvolena průměrná tržní cena za dodávku energie, která dosahovala následujících hodnot:

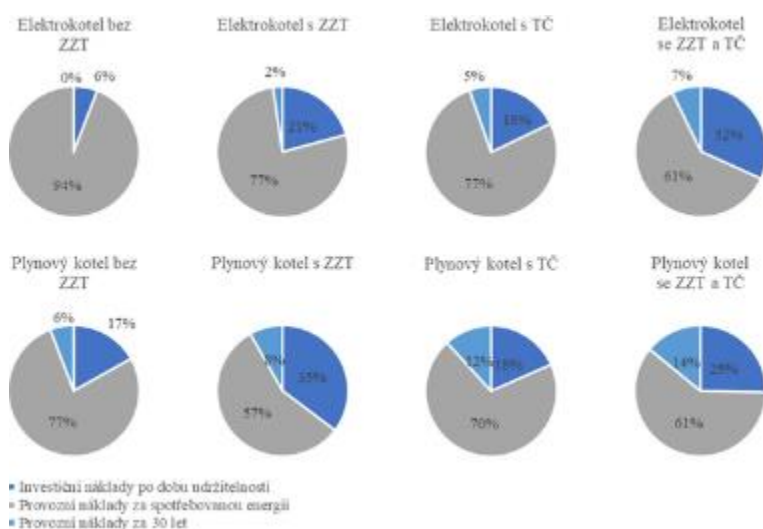
- elektrická energie (pro varianty s elektrokotlem): 2,28 Kč/kWh
- elektrická energie (bez elektrokotle): 4,13 Kč/kWh
- zemní plyn 18,45 Kč/m³



Obr. 5 Odhadované provozní náklady za spotřebované množství energie za dobu udržitelnosti 30 let

Celkové náklady

Výsledné částky spojené s provozem a investičními náklady mají různou skladbu na základě výše uvedených nákladů. Z hlediska nejnižších investičních nákladů vychází jako nejlepší varianta elektrokotle bez ZTT. Tato varianta má také nejnižší náklady spojené s provozem technického zařízení, zatímco náklady za spotřebovanou energii v této variantě tvoří výraznou část celkových nákladů. Naopak s vyššími investičními náklady rostou provozní náklady na údržbu systému, ale klesají náklady na spotřebované palivo.

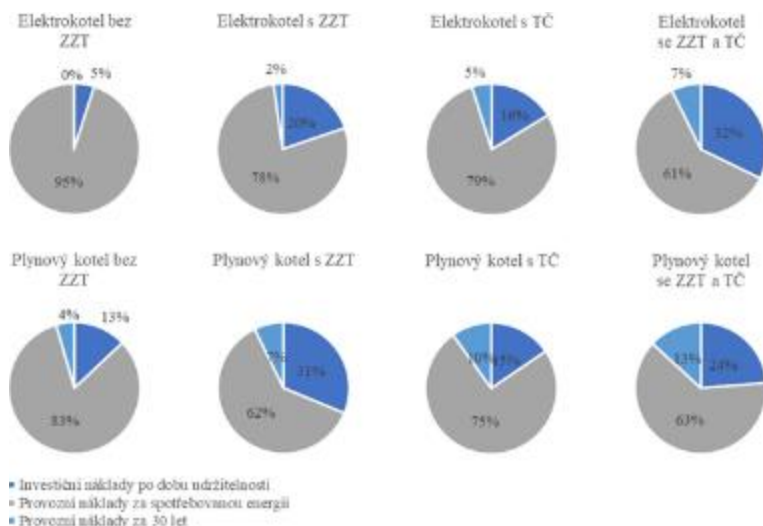


Obr. 6 Procentuální rozdělení nákladů v jednotlivých variantách za dobu udržitelnosti 30 let, při přiváděném množství čerstvého vzduchu 25 m³/(h·osoba)

Zvýšení množství větracího vzduchu

Dojde-li ke zvýšení množství přiváděného čerstvého vzduchu pro osoby z množství 25 m³/(h·osoba) na 50 m³/(h·osoba), zvyšuje se také spotřeba energie objektu a dochází ke změnám v poměrech celkových nákladů. Zvýšení částek za spotřebované množství energie je výraznější u systému s přirozeným větráním, u systémů využívající ZZT z odpadního vzduchu dopad na zvýšení množství větracího vzduchu není tak výrazný.

Dochází tak nejen k vyšším platbám za spotřebované množství energie, ale také k transformaci podílů jednotlivých nákladů. Se zvyšujícím množstvím větracího vzduchu význam investičních nákladů v rámci celé životnosti klesá.



Obr. 7 Procentuální rozdělení nákladů v jednotlivých variantách za dobu udržitelnosti 30 let, při přiváděném množství čerstvého vzduchu 50 m³/(h·osoba)

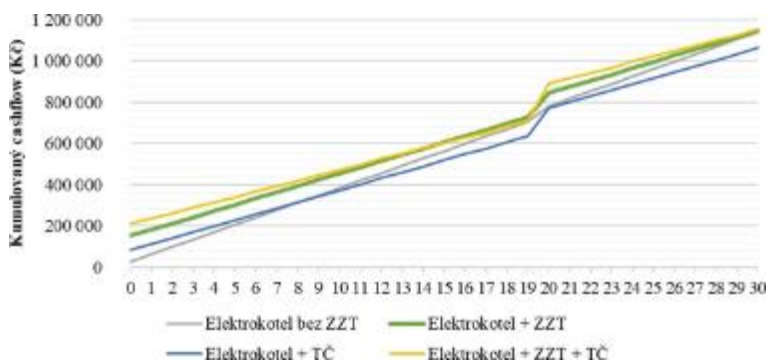
Rozdělení nákladů nám ovšem nic nevyovídá o celkové výhodnosti systému a jejich porovnání oproti jiným variantám. Pro výsledné vyhodnocení a porovnání jednotlivých systémů je vhodné sestavit tok peněz po dobu udržitelnosti systému tak, aby bylo možné porovnat mezi sebou návratnosti jednotlivých systémů.

Vyhodnocení variant pomocí toku peněz

Pro hodnocenou dobu udržitelnosti 30 let systému je sestaven tok peněz zahrnující investiční náklady systémů, provozní náklady na údržbu systému a spotřebované množství energie. Vzhledem k délce provozní doby hodnoceného systému je uvažováno také s obnovou zdroje tepelné energie po 20 letech.

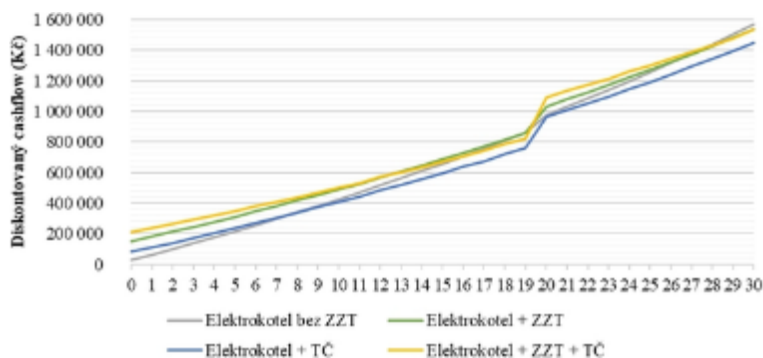
Tok peněz je zobrazen ve dvou variantách, jednak ve variantě prostého kumulovaného cashflow, která nezahrnuje časový vývoj hodnoty peněz. Poté také pomocí diskontovaného cashflow, ve kterém je zohledněn časový vývoj nákladů pomocí zvolené diskontní sazby ve výši 2 %.

Varianta prostého systému bez ZZT má vzhledem k nízkým investičním nákladům nejlepší výchozí pozici, ovšem ve variantě A (hlavní zdroj tepelné energie je elektrokotel) má šedá křivka (znázorňující tento systém) výrazně stoupající směrnici křivky, což je způsobeno provozními náklady za spotřebované palivo = energii. Návratnost systému se ZZT, konkrétně tedy s tepelným čerpadlem využívající odpadní vzduch pro ohřev teplé vody je po 9 letech (průsečík šedé a modré křivky). Systém se ZZT pomocí rekuperačního výměníku je zde výrazně znevýhodněn vysokými investičními náklady na pořízení systému. K návratnosti tohoto systému dochází až v samotném závěru sledované doby udržitelnosti (30 let). Ve variantě hlavního zdroje tepelné energie A (elektrokotel) je zajímavou alternativou také kombinace systému ZZT rekuperační jednotkou a ventilačního tepelného čerpadla. I přes zvýšené investiční náklady dochází k vyšší úspoře provozních nákladů než u rekuperační jednotky, návratnost oproti tomuto systému je po 14 letech provozu.



Obr. 8 Prostý tok peněz za dobu udržitelnosti 30 let, při přiváděném množství čerstvého vzduchu $25 \text{ m}^3/(\text{h.osoba})$, varianta A – hlavní zdroj tepelné energie je elektrokotel

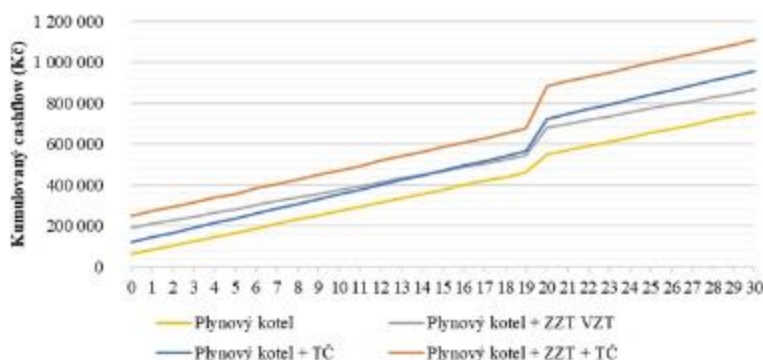
Zohledníme-li časovou hodnotu peněz pomocí diskontní sazby (zvoleno 2 %), dochází k návratnosti systému s tepelným čerpadlem již mezi 7. až 8. rokem. Taktéž je posunuta doba návratnosti systému s rekuperační jednotkou, která se dostává na hranici 19 let a následně po reinvestici do nové rekuperační jednotky ve 27. roce. Kombinace rekuperační jednotky a ventilačního tepelného čerpadla dosáhne své návratnosti již před reinvesticemi, a to v období 17 roku, po reinvestici do zdrojů tepla je návratnost dosažena po 7 letech.



Obr. 9 Diskontovaný tok peněz za dobu udržitelnosti 30 let, při přiváděném množství čerstvého vzduchu $25 \text{ m}^3/\text{h.os}$, varianta A – hlavní zdroj tepelné energie je elektrokotel

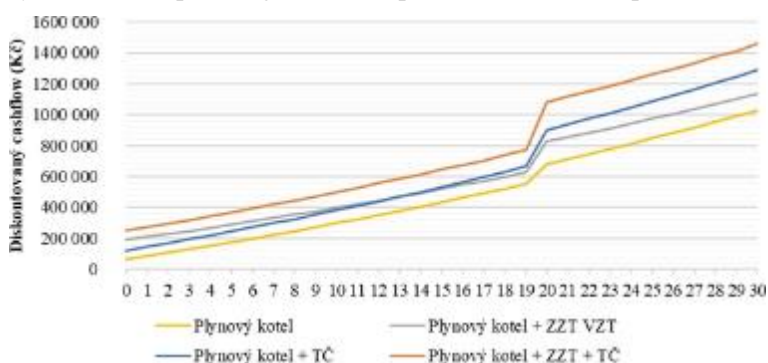
Ve variantě B (hlavní zdroj tepelné energie je plynový kondenzační kotel) nedojde k dostatečné úspoře nákladů za spotřebovanou energii během sledované doby udržitelnosti, tak aby došlo k návratnosti zvýšených investičních nákladů variant se ZZT z odpadního vzduchu. Významnou roli zde hrají platby za spotřebovanou elektrickou energii, dochází tak ke vyšší návratnosti systému s rekuperačním výměníkem

oproti systému s ventilačním tepelným čerpadlem, návratnost zvýšených nákladů varianty „ZZT“ oproti varianty „TČ“ je dosažena po 15 letech.



Obr. 10 Prostý tok peněz za dobu udržitelnosti 30 let, při přiváděném množství čerstvého vzduchu 25 m³/h.os, varianta B – hlavní zdroj tepelné energie je plynový kondenzační kotel

Zohledníme-li časovou hodnotu peněz pomocí diskontní sazby 2 %, dojde k zefektivnění doby návratnosti systému s rekuperační jednotkou oproti ventilačnímu tepelnému čerpadlu z 15 let na 12 let.



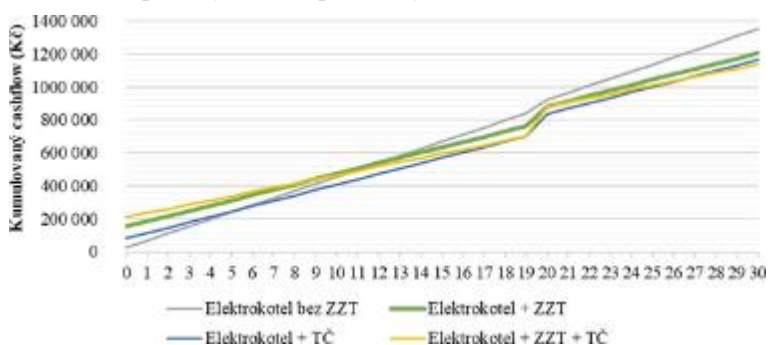
Obr. 11 Diskontovaný tok peněz za dobu udržitelnosti 30 let, při přiváděném množství čerstvého vzduchu 25 m³/(h·osoba), varianta B – hlavní zdroj tepelné energie je plynový kondenzační kotel

Zvýšení množství větracího vzduchu

Zvýšením množství větracího vzduchu na osobu z 25 m³/(h·osoba) na 50 m³/(h·osoba) dojde k výraznému navýšení provozních nákladů za spotřebovanou energii, jak bylo již uvedeno v předchozí kapitole věnující se nákladům na jednotlivé systémy.

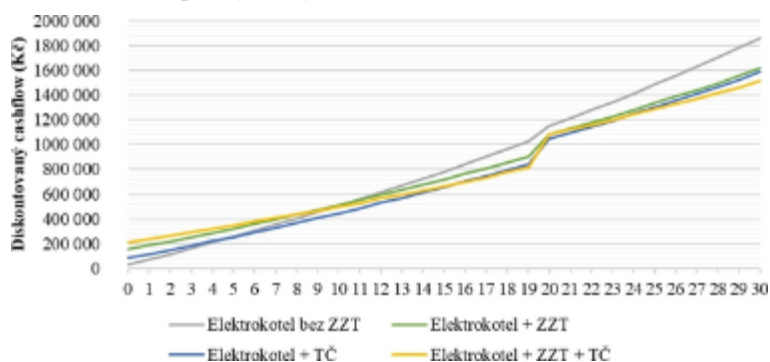
S rostoucími náklady za spotřebované palivo dochází ke změně směrnice křivek zobrazených v tocích peněz a následnému urychlení doby návratnosti jednotlivých systémů.

Prostá návratnost systému s tepelným čerpadlem je tedy již po 5 letech, systému s rekuperačním výměníkem po 12 letech, kombinace systému s rekuperačním výměníkem a tepelným čerpadlem po 11 letech (oproti systému s přirozeným větráním).



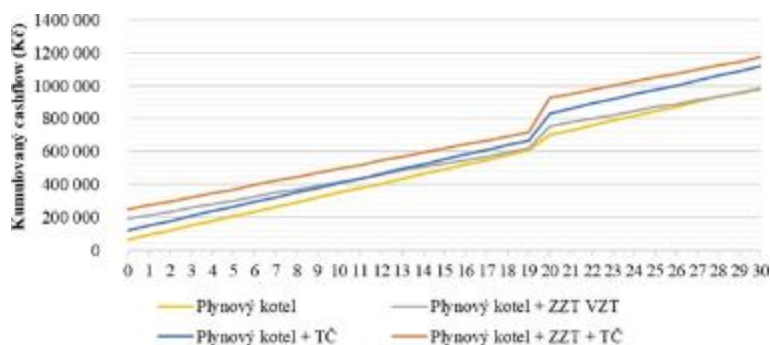
Obr. 12 Prostý tok peněz za dobu udržitelnosti 30 let, při přiváděném množství čerstvého vzduchu 50 m³/h.os, varianta A – hlavní zdroj tepelné energie je elektrokotel

Zohlednění diskontové sazby ve výši 2 % zvyšuje efektivnosti investice uvedenou u prostého cashflow zhruba o 1 rok pro systémy se ZZT.

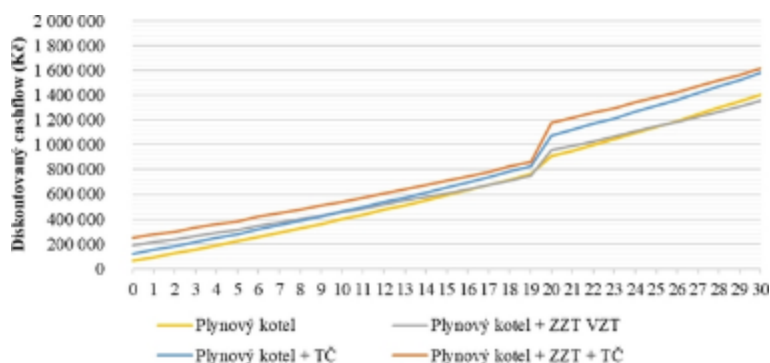


Obr. 13 Diskontovaný tok peněz za dobu udržitelnosti 30 let, při přiváděném množství čerstvého vzduchu $50 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{osoba})$, varianta A – hlavní zdroj tepelné energie je elektrokovtel

U variant s plynovým kondenzačním kotlem (varianta B) dochází po zvýšení množství přiváděného čerstvého vzduchu také ke změnám směrníc křivek – vliv provozních nákladů na spotřebované množství energie. Varianta přirozeného větrání tak již není ve sledovaném časovém úseku 30 let nejvíce ekonomickou variantou. Před koncem své životnosti (po 29 letech) se systém využívající rekuperační výměník stává ekonomicky výhodnějším. Zbývající varianty při vybrané zdroji tepla nekompenzují své vyšší investiční náklady.



Obr. 14 Prostý tok peněz za dobu udržitelnosti 30 let, při přiváděném množství čerstvého vzduchu $50 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{osoba})$, varianta B – hlavní zdroj tepelné energie je plynový kondenzační kotel



Obr. 15 Diskontovaný tok peněz za dobu udržitelnosti 30 let, při přiváděném množství čerstvého vzduchu $50 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{osoba})$, varianta B – hlavní zdroj tepelné energie je plynový kondenzační kotel

Závěr druhé části

Z výsledků je zřejmé, že celkovou dobu návratnosti systému významně ovlivňují vstupní investiční náklady a náklady provozní. Význam investičních a provozních nákladů také stoupá s poklesem množství

přiváděného čerstvého vzduchu. Doby návratnosti jsou u technicky a investičně náročných variant velmi dlouhé.

Při uvažování diskontní sazby 2 %, vytápění pomocí elektrokotle a objemovém průtoku čerstvého vzduchu na osobu $25 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{osoba})$ dosahuje doba návratnosti systému s TČ cca 8 let (oproti výchozímu systému s podtlakovým větráním). Systémy se ZZT (ZZT, TČ+ZZT) vykazují dobu návratnosti cca 16 let. Při zvýšení množství čerstvého vzduchu na $50 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{osoba})$ klesnou doby návratnosti na cca 5 (větrací TČ) až 9 let (ZZT, TČ+ZZT). Systém s TČ vykazuje dobré výsledky s ohledem na relativně nízké investiční náklady a při použití elektrokotle také nízkou cenu elektřiny danou příslušným tarifem.

V případě, že je zdroj tepla tvořen plynovým kondenzačním kotlem, nebylo pro objemový průtok $25 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{osoba})$ oproti výchozímu systému s podtlakovým větráním dosaženo v hodnoceném období 30 let doby návratnosti. Při zvýšení průtoku na $50 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{osoba})$ bylo doby návratnosti dosaženo pouze pro systém se ZZT, kde dosahovala 17 let. Pro ostatní systémy nebylo doby návratnosti dosaženo.

Z výsledků je zřejmé, že při započtení nákladů na revize, servis, čištění a výměnu filtrů vykazují systémy s ZZT (ať již pomocí rekuperačního výměníku, či pomocí TČ) při vytápění pomocí plynového kotle velmi dlouhou dobu návratnosti. Stav je dán relativně nízkou cenou zemního plynu. Vzniklé úspory energie při použití ZZT jsou relativně malé a nevyvážejí vysoké investiční a provozní náklady.

Poznámka redaktora: Autoři se v článku zabývají technickými možnostmi a jejich ekonomickými důsledky. Zásadní nutností je však větrání vůbec zajistit. O potřebě větrání autoři nepochybují.

Tento článek vznikl za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. LO1605 – Univerzitní centrum energeticky efektivních budov – Fáze udržitelnosti.

Literatura

1. Vyhláška č. 268/2009 Sb., O technických požadavcích na stavby. Sbírka zákonů, 2009.
2. ČSN EN 15665/Z1 Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
3. ZMRHAL, V., ŠTÁVOVÁ, P., Nové požadavky na větrání obytných budov podle národní přílohy. Vytápění, větrání, instalace, 2011, č. 4.
4. Trnsys 16.01: Transient System Simulation Tool [online]. Madison: Thermal Energy System Specialists, b.r. [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: <http://www.trnsys.com>.
5. ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
6. ČSN 73 0331-1 Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
7. ČSN EN 15459-1 Energetická náročnost budov – Postup pro ekonomické hodnocení energetických soustav v budovách – Část 1: Výpočtové postupy, Modul M1-14. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

Datum: 12.5.2020

Autor: Ing. Jan Vitouš, ČVUT v Praze, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov Ing. Martin Kny, Ph.D., ČVUT v Praze, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov [všechny články autora](#)

Recenzent: Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

<https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/20651-vetraci-jednotky-s-tepelnym-cerpadlem-cast-2-ekonomicke-hodnoceni>