

Návrh tepelného čerpadla pre rodinný dom

Petrek Dominik · Elektrotechnika, Študentské práce

09.12.2011



Táto práca rieši využívanie obnoviteľných zdrojov pre potreby vykurovania a prípravy teplej úžitkovej vody. Je zameraná na použitie nízko potenciálneho tepla pomocou tepelného čerpadla. Došlo k návrhu konkrétneho tepelného čerpadla pre vybraný objekt. Na záver nasledovalo finančné porovnanie medzi vykurovaním pomocou

konvenčného zdroja a tepelného čerpadla.

1. Úvod

Náš každodenný život vedie k vytváraniu množstva odpadu, zamorovania vzduchu, podzemnej i povrchovej vody. Nesmieme zabúdať, že tento svet potrebujeme pre našu existenciu a musíme ho chrániť. Nakoľko som študentom energetického odboru zameral som sa najmä na energiu. Bez nej by sme sa nezaobíšli. Nárast počtu obyvateľov a priemyselný rozvoj spôsobili, že jej potrebujeme čoraz viac. To spôsobuje životnému prostrediu momentálne dosť veľkú záťaž. Je našou povinnosťou pokračovať vo vývoji a zavádzaní šetrných zdrojov energie.

2. Tepelné čerpadlá

Na získavanie energie z obnoviteľných zdrojov nemusia slúžiť len elektrárne či kolektory. Pre konkrétne objekty môžeme použiť na vykurovanie (chladenie) a ohrev úžitkovej vody tepelné čerpadlá, ktoré taktiež využívajú energiu obnoviteľných zdrojov. Tieto zariadenia dokážu veľmi efektívne využívať nízko potenciálne teplo okolia.

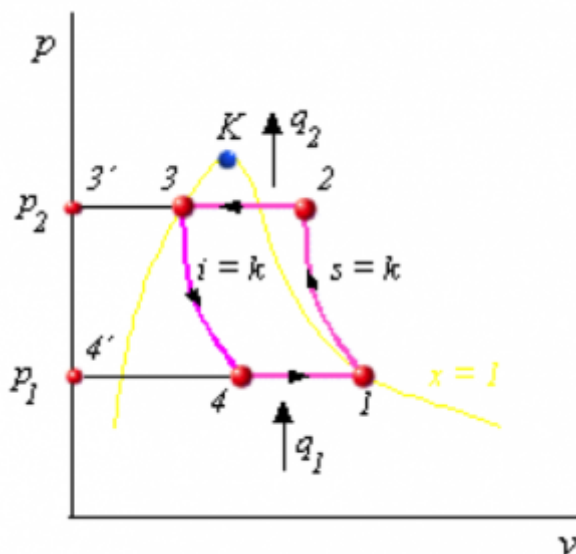
2.1 Princíp kompresorového tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo je zariadenie, ktoré pracuje podľa obráteného Rankinovho obehu, ktorý vynikol malými úpravami z obehu Carnotovho [1].

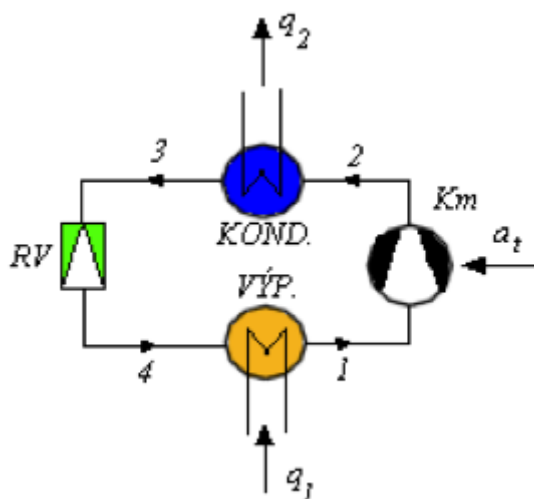
- 1 - 2 dochádza k adiabatickej kompresii v kompresore z tlaku p_1 na tlak p_2 . Súčasne dôjde k zvýšeniu teploty z T_1 na T_2 . Realizuje sa v dokonale tepelne izolovanom kompresore (K_m). Na kompresiu treba dodať prácu, danú v p-v diagrame plochou 1, 2, 3', 4'.
- 2-3 nastáva izobarická kondenzácia v kondenzátore (Kond), v dôsledku odoberania tepla q_2 pri vyššej z teplôt obehu T_2 .
- 3-4 redukcia tlaku z p_2 na p_1 v redukčnom ventile (RV). Znížením tlaku sa súčasne zníži teplota z T_2 na T_1 . Redukcia tlaku prebieha pri konštantnej entalpii. Náhradou expanzného stroja redukčným ventilom sa líšia obrátený Rankinov obeh od Carnotovho.

Existujú aj zariadenia s expanzným strojom, využívajúcim prácu 3, 3', 4, 4', pre svoju zložitosť sa však prakticky nevyužívajú.

- 4-1 izobarické odparenie vo výparníku (VP) v dôsledku dodávky tepla pri nižšej z teplôt obehu T_1 .



Obr.1 Pracovný p-v diagram tepelného čerpadla



Obr.2 Schéma tepelného čerpadla

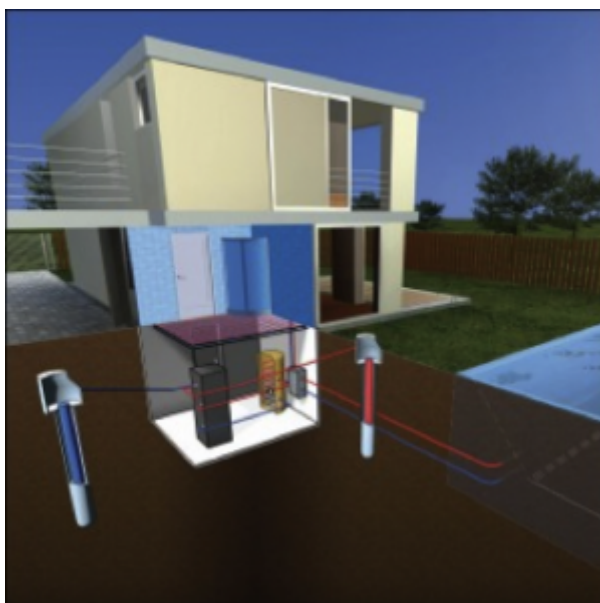
3. Voda - zdroj nízko potenciálneho tepla

Voľba konkrétneho zdroja závisí od možnosti technickej realizácie tej - ktorej možnosti, investičných nákladov, návratnosti investície. Pri výbere zdroja tepelného čerpadla nesmieme zabudnúť na jeho kvalitu, výdatnosť, dostupnosť a teplotu.

Môžeme na to využiť podzemnú vodu, čo je momentálne najvhodnejší zdroj nízko potenciálnej energie, pretože má pomerne stálu relatívne vysokú teplotu (8-12°C) a tým aj vysoký vykurovací faktor, čo prispieva ku kratšej dobe návratnosti. Vtedy je potrebné vyhlbiť 2 studne (z jednej sa voda odčerpáva, do druhej sa vráti) , čo je finančne v niektorých prípadoch veľmi náročné. Vzdialenosť studní má predpísanú vzájomnú vzdialenosť, no aj tak musíme dať pozor na smer prúdenia vody, aby nám ochladená voda nestekala do studne, z ktorej čerpáme teplo.

V horských oblastiach netreba zabudnúť na topiaci sa sneh a ľad, ktorý môžu tiež znižovať teplotu v studni na jar. Na začiatok sa urobí skúšobný vrt či spodná voda má vhodné chemické zloženie a dostatočnú výdatnosť. Tá sa pohybuje pri ploche domu 150 m² a obývaní jednou rodinou na úrovni 2,5 až 3 m³/ hod. Na Slovensku je možné robiť vrty bez povolenia len do hĺbky 95 metrov. Ak sa budova nachádza v zóne ochrany vodného zdroja nesmú sa studne na tepelné čerpadlá vôbec používať.

Ďalšou možnosťou je využiť povrchový zdroj napr. jazero, rieku alebo umelú vodnú nádrž. Položenie kolektorov na dno rieky je menej finančne náročné na počiatkové náklady. Tu je však potrebný súhlas správcu, väčšinou vodohospodárskeho podniku. Zariadenie je nutné zabezpečiť proti povodňam či inému druhu poškodenia. Teplota vody počas roka kolíše, výhodou je, že tečúca voda v zime nezamrzá tak stále dosahuje hodnotu niekoľkých stupňov. Ani tu sa nesmie zabúdať na výdatnosť zdroja, mnohokrát sa výparník nedá položiť priamo do vody a je potrebné aj čerpacie zariadenie.



Obr.3 Tepelné čerpadlo voda/voda

4. Realizácia tepelného čerpadla pre rodinný dom

Vybraným objektom pre návrh tepelného čerpadla sa stal prestavaný rodinný dom v obci Radatice, okres Prešov. Teraz sa potrebujeme bližšie oboznámiť s objektom. To znamená zistiť aké stavebné materiály, okná a dvere boli použité. Obvodové múry prvého podlažia sú tvorené kameňom a keramickým systémom Porotherm 38 P+D s hrúbkou muriva 400 mm, nadstavba z kompletného keramického systému Porotherm 25 P+D s hrúbkou muriva 300 mm. Projektová dokumentácia ráta so zateplením kontaktným zateplovacím systémom Nobasil hrúbky 100 mm na báze minerálnej vlny.

Sedlová strecha je pokrytá pálenými škridlami Tondach Polka. Projektová dokumentácia navrhla súvisle izolovať podkrovie pomocou tepelnej izolácie Nobasil M hrúbky 180 mm, ktorý bol vkladajú medzi krokvy následne ešte 50 mm Nobasil M uložený na drevené kontralatovanie.

Otvorové konštrukcie boli zabezpečené pomocou drevených okien typu Euro a strešných okien Velux GZL M04 s izolačným dvojsklom s $U= 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

4.1 Tepelné straty objektu

V súčasnosti sa veľa hovorí a robí v oblasti energetického auditu a bilancie budov. Teplo potrebujeme nielen na vykúrenie objektu počas vykurovacieho obdobia, ale aj na prípravu teplej úžitkovej vody.

Snažíme sa znižovať množstvo spotrebovanej energie, či už kvôli úspore peňazí alebo ohľadu na životné prostredie. Množstvo tepla na prípravu teplej úžitkovej vody je v podstate nemenné a závisí od počtu členov domácnosti. Ušetriť sa dá na teple potrebnom na vykurovanie. Je to možné za pomoci vhodných opatrení. Väčšinou sa jedná o zateplenie strechy alebo obvodového plášťa stavby, vďaka čomu sa zvyšuje ich tepelný odpor.

Na určenie množstva tepla na vykurovanie používa výpočet podľa noriem. Normy berú do úvahy nielen tepelné vlastnosti použitých materiálov podlahy, obvodového plášťa a strechy ale aj prostredie, v ktorom sa dom nachádza. Tu sa zohľadní napr. nadmorská výška, smer a intenzita vetra, vonkajšia výpočtová teplota. Normy nájdeme prehľadne spracované v knihách zaoberajúcich sa danou problematikou.

4.1.1 Typické stavebné konštrukcie

Vonkajšia obvodová stena: prízemie, zateplená, hrúbka 0,51m

- silikónová omietka 0,002m, $\lambda_1 = 0,700 \text{ W/m.K}$
- stierka Baunit 0,002m, $\lambda_2 = 0,900 \text{ W/m.K}$
- sklenná vlna 0,100m, $\lambda_3 = 0,070 \text{ W/m.K}$
- stierka Baunit 0,015m, $\lambda_4 = 0,900 \text{ W/m.K}$
- tvárnica Porotherm 0,380m, $\lambda_5 = 0,150 \text{ W/m.K}$
- vápno-cement. omietka 0,015m, $\lambda_6 = 0,880 \text{ W/m.K}$

Vonkajšia obvodová stena : 1. poschodie, zateplená, hrúbka 0,38m

- silikónová omietka 0,002m, $\lambda_1 = 0,700 \text{ W/m.K}$
- stierka Baunit 0,002m, $\lambda_2 = 0,900 \text{ W/m.K}$
- sklenná vlna 0,100m, $\lambda_3 = 0,070 \text{ W/m.K}$
- stierka Baunit 0,015m, $\lambda_4 = 0,900 \text{ W/m.K}$
- stierka Baunit 0,015m, $\lambda_5 = 0,900 \text{ W/m.K}$
- vápeno-cement. omietka 0,015m, $\lambda_6 = 0,880 \text{ W/m.K}$

Strop : 1. poschodie, zateplený, hrúbka 0,25m

- sklenná vlna 0,180m, $\lambda_1 = 0,039 \text{ W/m.K}$
- minerálna vlna dosky 0,050m, $\lambda_2 = 0,059 \text{ W/m.K}$
- drevotrieskové dosky 0,012m, $\lambda_3 = 0,100 \text{ W/m.K}$
- sádkokartón 0,013m, $\lambda_4 = 0,150 \text{ W/m.K}$

Podlaha : prízemie, hrúbka 0,27m

- podkladný betón 0,100m, $\lambda_1 = 1,350 \text{ W/m.K}$
- betónová mazanina 0,060m, $\lambda_2 = 1,160 \text{ W/m.K}$
- asfaltový pás Hydrobit 0,010m, $\lambda_3 = 0,210 \text{ W/m.K}$
- lepenka A 500/H 0,010m, $\lambda_4 = 0,210 \text{ W/m.K}$

- vypeňovaný polystyrén 0,080m, $\lambda_5 = 0,036$ W/m.K
- izolačná podložka 0,002m, $\lambda_6 = 0,200$ W/m.K
- laminátové dielce click 0,008m, $\lambda_7 = 0,046$ W/m.K

4.1.2 Koeficient prechodu tepla U pre konštrukcie v dome

Mieru tepelných strát a kvalitu materiálu z hľadiska tepelnoizolačných vlastností vyjadruje koeficient podľa vzorca hodnoty prechodu tepla jednotlivých konštrukcií nájdeme v tabuľke prechodu tepla. Pre naše konkrétne konštrukcie určíme jeho veľkosť pomocou rovnice.

Rovnica 1: Koeficient prechodu tepla

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_i}}$$

U - koeficient prechodu tepla [W/m².K], α_e - koef. prechodu tepla z vonku [W/m².K], α_i - koef. prechodu tepla z vnútra [W/m².K], l_i - hrúbka materiálu [m], λ_i - koef. tepelnej vodivosti materiálu [W/m.K]

Tab.1 Koeficient prechodu tepla stavebných konštrukcií

konštrukcia	U[W/m ² .K]
vonkajšia obvodová stena, prízemie	0,22
vonkajšia obvodová stena, poschodie	0,33
strop, poschodie	0,21
podlaha, prízemie	0,4

4.2.3 Tepelné straty domu prechodom tepla

Na určenie tepelných strát prechodom tepla potrebujem najskôr zistiť základnú tepelnú stratu Q_0 . Stratu určíme ako súčet tepelných strát pre miestností cez otvorové a stavebné konštrukcie, ktoré ich obklopujú. [3]

Rovnica 2: Základná tepelná strata

$$Q_0 = \sum_{j=1}^{j=n} U_j S_j (t_i - t_e)$$

Q_0 - základná tepelná strata [W], U_j - koeficient prechodu tepla konštrukcie [W/m².K], S_j - plocha konštrukcie [m²], t_i - teplota miestnosti vnútorná [°C], t_e - vonkajšia teplota [°C]

Celková tepelná strata je určená pomocou základnej tepelnej straty Q_0 a prirážok p_1 , p_2 , p_3 ktoré určuje norma. Závisia od konkrétnych vlastností tej - ktorej izby.

Rovnica 3: Celková tepelná strata

$$Q_p = Q_0(1 + p_1 + p_2 + p_3)$$

Q_p - tepelná strata prechodom tepla [W], p_1 - prirážka na úpravu chladných stien [-], p_2 - prirážka na urýchlenie zakúrenia [-], p_3 - prirážka na svetové strany [-]

3.2.4 Tepelné straty domu vetraním tepla

Tepelné straty Q_v spôsobené vetraním určíme podľa rovnice.

Rovnica 4: Tepelná strata vetraním

$$Q_v = c_v V_v (t_i - t_e)$$

c_v - objemová tepelná kapacita vzduchu [J/K.m³], V_v - objemový tok vetracieho vzduchu [m³]

Celkové straty sa určia ako súčet strát prechodu tepla a vetraním. Na základe celkových strát určíme potrebné množstvo tepla na vykurovanie.

4.3 Ročná potreba tepla na ohrev TÚV

Na výpočet ročnej spotreby tepla pre ohrev teplej úžitkovej vody máme tak isto vzťah. Zohľadňujeme v ňom počet členov domácnosti, počet dní ohrevu, priemernú teplotu studenej vody.

Rovnica 5: Teplota potrebné na ohrev TÚV

$$Q_{r,tuv} = \frac{a \cdot b (50 - t_{sv})}{3600T} c_{v0} n \cdot 23.3, 6 \cdot 10^{-6}$$

$Q_{r,tuv}$ - ročná potreba tepla na ohrev teplej úžitkovej vody [GJ / rok], a - potreba vody na jedného obyvateľa /deň) [kg], b - počet obyvateľov [-], t_{sv} - priemerná teplota studenej vody cez rok [°C], T - počet hodín prevádzky systému TÚV [hod], c_{v0} - merná tepelná kapacita vody [J.kg⁻¹.K⁻¹], n - počet dní ohrevu teplej vody (cca 350 dní) [-]

4.4 Návrh vykurovania konkrétnym čerpadlom

Výber typu tepelného čerpadla súvisí s geografickými podmienkami danej oblasti a tiež priestorovými možnosťami pozemku. V zime v tejto oblasti teplota bežne klesá 10 a viac stupňov pod nulu, preto sa voľba tepelného čerpadla vzduch / voda až tak nevypláca. Záhradka neposkytuje dostatok priestoru na vodorovné zemné kolektory. Obcou Radatice ale preteká rieka Svinka, vďaka čomu disponuje dostatkem podzemnej vody. Potvrďuje to aj fakt, že obec nemá vodovod a voda na varenie sa získava výlučne zo studní. Teplota tejto vody aj v zime dosahuje hodnotu 8°C, priemerná sa pohybuje okolo 10°C. Na základe týchto informácií sa javí ako najlepšia voľba tepelné čerpadlo voda / voda.

4.4.1 Výber tepelného čerpadla

Keď už vieme, aký typ tepelného čerpadla chceme zvoliť, o čosi sa zjednodušilo hľadanie. Ďalšou dôležitou vecou je tepelný výkon, ktorý nám vyplýva z množstva tepla potrebného na ohrev teplej úžitkovej vody a vykúrenie objektu. Teraz stačí vybrať "iba" výrobcu. Nemali by sme sa však orientovať iba podľa ceny. Dôležité je zvoliť

výrobcu, ktorý okrem prijateľnej ceny ponúkne kvalitný výrobok, záručný i pozáručný servis. Preto je vhodné zamerať sa na spoločnosti, ktoré už nejaký ten rok – dva pôsobia na trhu a ľudia sú s nimi spokojní.

Voľba v mojom prípade padla na švédsku značku IVT. [4] Ich tepelné čerpadla radu Greenline pre domy s tepelnou stratou do 25 kW sú najpredávanejšie nielen v rámci Slovenska ale aj Európy. Konkrétnym modelom sa stalo čerpadlo IVT Greenline E9.

Čerpadlo obsahuje najnovší kompresor typu Scroll od Mitsubishi Electric, obehové čerpadlo WILO pre primárny a sekundárny okruh, ekvitermickú reguláciu REGO 637 s riadením dvoch vykurovacích okruhov. Komunikuje v českom jazyku má diagnostiku porúch, časové riadenie a ďalšie funkcie. Okrem toho ešte zákazník dostane zabudovaný elektrický kotol, expanznú nádobu a poistný ventil primárneho okruhu, filtre pre primárny a sekundárny okruh. Ako odporúčaný zásobník teplej vody pre toto čerpadlo je IVT DVB 200 a predradený doskový výmenník IVT G8.

4.4.2 Ponorné čerpadlo

Na čerpanie vody zo studne potrebujeme ponorné čerpadlo, ktoré zabezpečí dostatočné množstvo vody pre tepelné čerpadlo. Nesmieme teda zabúdať na výkon čerpadla, ktoré potrebujeme nielen na zabezpečenie potrebného množstva vody ale aj na distribúciu doskovým výmenníkom a odvod do vsakovacej studne.

Ako vhodné čerpadlo sa javí Ponorné čerpadlo TWI 5-306 230V. Jedná sa o celonerezové čerpadlo najnovšej konštrukcie s veľmi dobrou účinnosťou a nízkou energetickou náročnosťou.

4.4.3 Stavebné práce

Na dostatočné zásobenie tepelného čerpadla vodou by mal postačovať 15 m vrt priemeru 152 mm. Po jeho vyhlbení by nasledoval chemický rozbor pre posúdenie vhodnosti vody a skúška výdatnosti, ktorá by dala jednoznačnú odpoveď na to, či tolko vody postačuje.

Výhodnejšie ako vrtať vsakovacu studňu je použitie trativodu, ktorý odvádza vyčistenú splaškovú vodu z čističky odpadových vôd do rieky. Pri kopaní prípojky na trativod musíme dodržať predpísanú vzdialenosť, aby nedochádzalo k ochladeniu vody v studni, z ktorej odberáme teplo.

4.4.4 Pripojenie tepelného čerpadla

Elektrické napájanie tepelného čerpadla a všetkých jeho komponentov je zabezpečené väčšinou pomocou podružného rozvádzača. Pripojenie tepelného čerpadla vyžaduje 400V 3N~50 Hz, preto sa zvykne použiť kábel CYKY 5Cx 6. Samozrejmosťou je aj trojfázový istič. Vhodným pre túto inštaláciu je B25A.

Pred pripojením tepelného čerpadla vykoná vyškolený technik vizuálnu kontrolu všetkých pripojených častí systému. Je nutné vykurovací systém zásobník a studený okruh naplniť a celý odvzdušniť. Potom sa presvedčí, že nikde nie sú netesnosti. Následne dochádza ku kontrole napájania zo zdroja, pripojenia vonkajšej riadiacej jednotky, ekvitermického čidla a čidla na meranie teploty teplej úžitkovej vody. Po spustení tepelného čerpadla ho technik skontroluje, prípadne doplní nemrznúcu

kvapalinu studeného okruhu.

4.5 Návravnosť investície

Ceny elektrickej energie a plynu sa postupne dostávajú na jednu úroveň. Začína tak byť jedno či kúrimo plynovým alebo elektrokotlom. Netreba zabúdať, že ich ceny majú stúpajúcu tendenciu. Tepelné čerpadlo ponúka vhodnú alternatívu u nových alebo dostatočne zateplených domoch. Počiatočná investícia bude určite vyššia ako do plynového kotla, po niekoľkých rokoch by sa však mala vrátiť. Porovnávať budem náklady tepelného čerpadla a plynového kotla, pretože ten bol navrhnutý na základe projektovej dokumentácie. Na záver budem schopný určiť, o koľko rokov sa investícia vráti.

Tab.2 Ročné náklady na vykurovanie a ohrev TUV

	plynový kotol	tepelné čerpadlo
spotreba energie (kWh)	25643	5673
cena (€ za kWh)	0,0446	0,1281
fixná ročná platba (€)	93,024	57,456
ročná prehliadka (€)	70	-
Spolu (€)	1306,7018	784,1673

Cena zemného plynu je počítaná podľa tarify na vykurovanie zemným plynom, cena za elektrickú energiu je vypočítaná podľa tarify určenej pre vykurovanie tepelným čerpadlom.

Tab.3 Nadobúdacie náklady tepelného čerpadla

položka	cena (€)
IVT Greenline E9	7440
zásobník TUV IVT DVB 200	1333
doskový výmenník IVT G8	624
ponorné čerpadlo TWI 5-306 230V	415
vrt	600
elektroinštalácia	150
skúška	100
Spolu	10662

Tab.4 Nadobúdacie náklady plynového kotla

položka	cena (€)
kotol	1700
zásobník TUV	750
plyn. prípojka	1700
skúška systému	330

izolácia	100
komín. prípojka	500
Spolu	5080

Z tabuľky ročných nákladov vidíme, že ročná úspora predstavuje 522,5 €. Nadobúdacie náklady tepelného čerpadla sú o 5582 € vyššie. To znamená že investícia vložená do tepelného čerpadla sa vráti o 10,7 roka.

5. Záver

V práci som sa zamerlal na konkrétnu aplikáciu tepelného čerpadla pre vybraný objekt. Stal sa ním rodinný dom. Najskôr som spočítal tepelné straty domu spolu s potrebou tepla pre ohrev teplej úžitkovej vody, aby som vedel aký musí mať čerpadlo tepelný výkon.

Lokalizácia objektu ponúkla ako najlepšiu možnosť použitie kompresorového tepelného čerpadla typu voda / voda.

Nakoniec došlo k finančnému porovnaniu a teda aj zisteniu doby návratnosti medzi plynovým kotlom a vybraným tepelným čerpadlom. Akceptovateľná doba návratnosti finančných prostriedkov ma utvrdila v tom, že využitie tepelných čerpadiel je správnym krokom, ktorý znižuje našu závislosť od fosílnych palív a zároveň prispieva k menšej záťaži životného prostredia.

Odkazy na literatúru

1. Murín, J., a kol. : Mechanika a termomechanika : Vybrané kapitoly pre elektrotechnikov. Bratislava : Vydavateľstvo STU, 2006. ISBN 80-227-2393-2
2. P&G, s.r.o. Alternatívne zdroje energie [online]. Dostupné na internete: <http://www.postavimedom.sk/realizacia-stavieb/>
3. PASTOR, L. - HORÁK, M. - HORNÍK, Š. Efektívne využívanie energie pri prevádzke zariadení a budov. Bratislava: Jaga group, 2000.
4. <http://www.ivt.sk/>

Spoluautorom článku je Ing. Marek Pípa, PhD., Katedra elektroenergetiky, Fakulta Elektrotechniky a Informatiky, Slovenská Technická Univerzita, Ilkovičova 3, Bratislava 812 19

Práca bola prezentovaná na Študentskej vedeckej a odbornej činnosti (ŠVOČ 2011) v sekcii Elektroenergetika, ISBN 978-80-227-3508-7
