

Ing. Bořivoj ŠOUREK
 Siemens s.r.o.
 doc. Ing. Tomáš MATUŠKA, Ph.D.
 ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
 Ústav techniky prostředí

Simulační analýza solární soustavy kombinované s tepelným čerpadlem v běžné výstavbě

Simulation Analysis of Solar System Combined with Heat Pump in Common Construction

Recenzent
 doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Kombinace tepelných čerpadel a solárních soustav umožňuje v různých zapojeních (paralelní, sérioparalelní, sériové) zvýšit sezónní topný faktor SPF celé soustavy oproti instalaci samotného tepelného čerpadla. Příspěvek se snaží kvantifikovat přínosy jednotlivých zapojení počítačovou simulací provozního chování takových soustav.

Klíčová slova: tepelné čerpadlo, solární teplo

A combination of heat pumps and solar systems enables to increase the seasonal coefficient of heat pump performance (COP) SPF of the entire system against the installation of the heat pump itself in different connections (parallel, serial/parallel, serial). Authors quantify benefits of individual connections with help of the computer simulation of operational behavior in such systems, in their contribution.

Key words: heat pump, solar heat

ÚVOD

Tepelná čerpadla využívají obnovitelnou energii okolního prostředí (vzduch, voda, země) o nízké teplotní úrovni přečerpáním na teplotní úroveň využitelnou například pro vytápění a přípravu teplé vody v budovách. Pro přečerpávání tepla tepelná čerpadla využívají vysokopotenciální energii, nejčastěji elektrickou energii převedenou postupně na mechanickou energii pro kompresor, která v oběhu postupně degraduje až na teplotní úroveň (potenciál) přečerpávaného tepla dodávaného tepelným čerpadlem. Efektivita přečerpávání tepla se vyjadřuje topným faktorem *COP* (coefficient of performance) definovaným jako poměr mezi teplem dodaným tepelným čerpadlem k elektrické energii spotřebované. Jelikož část tepla dodaného tepelným čerpadlem je přeměněna elektrická energie, obnovitelnou částí je pouze $(1 - 1 / COP)$ z dodaného tepla. Pro celou tepelnou soustavu s tepelným čerpadlem se vyjadřuje také tzv. sezónní topný faktor soustavy *SPF* (seasonal performance factor), který zahrnuje i potřebu elektrické energie dodané záložním ohřívačem a pomocnou energii všech prvků soustavy

$$SPF = \frac{Q}{E_{TC} + E_{DZ} + E_{PZ}} \quad (1)$$

kde Q je teplo dodané soustavou s tepelným čerpadlem (měřeno za zásobníky tepla), E_{TC} je elektrická energie spotřebovaná tepelným čerpadlem, E_{DZ} je elektrická energie spotřebovaná dodatkovým zdrojem tepla (elektrický ohřívač) a E_{PZ} je elektrická energie na provoz pomocných zařízení (oběhová čerpadla, regulační prvky, apod.). Hodnota *SPF* tedy nezávisí pouze na efektivitě tepelného čerpadla, ale na celkovém návrhu soustavy, tj. na návrhu výkonu tepelného čerpadla vůči potřebě tepla budovy, tepelných ztrátách zásobníků, energetické spotřebě dalších prvků, apod. Z hlediska zvyšování *SPF* jsou proto výhodnější monovalentní soustavy bez potřeby elektrického záložního zdroje. Hodnocení *SPF* je z principu definice možné pouze u soustav, kde dodatkovým zdrojem je elektrický kotel či ohřívač.

Elektrická energie spotřebovávaná kompresorovými tepelnými čerpadly má v České republice původ zejména v neobnovitelných zdrojích energie. Vzhledem k účinnosti výroby elektrické energie z primárních paliv a její distribuce přenosovou soustavou je poměr mezi spotřebou primární energie a elektrickou energií vyrobenou/dodanou do budovy, tzv. konverzní faktor primární energie, pro podmínky České republiky uvažován hodnotou 3,0 [1]. Zavedením faktoru využití primární energie *PER* (primary energy ratio) pro

hodnocení přeměny primární energie *PE* na využitelnou energii, v tomto případě na teplo Q pro vytápění a přípravu teplé vody, lze hodnotit vliv použití různých energonositelů v různých zdrojích tepla na bilanci neobnovitelné primární energie. Faktor využití primární energie lze zapsat jako

$$PER = \frac{PE}{Q} = \frac{F}{\eta} \quad (2)$$

kde F je konverzní faktor daného energonositele a η je provozní účinnost zdroje tepla. Účinností se zde rozumí účinnost využití energetického obsahu energonositele (paliva), například v případě plynových kotlů se jedná o stupeň využití spalného tepla. V případě tepelných čerpadel je provozní účinnost vyjádřena sezónním topným faktorem *SPF*. V tab. 1 jsou porovnány hodnoty *PER* pro různé zdroje tepla a energonositele. Vyšší hodnoty znamenají vyšší potřebu primární energie. Použité konverzní faktory jsou převzaty z [1], konverzní faktor pro solární soustavu je vztažen k vyrobenému teplu.

Tab. 1 Hodnoty *PER* pro různé zdroje tepla

| Zdroj tepla / energonositel | <i>F</i> | η | <i>PER</i> |
|---|----------|--------|------------|
| | [-] | | |
| Elektrický kotel / elektřina | 3,00 | 1,00 | 3,00 |
| Tepelné čerpadlo / elektřina | 3,00 | 2,90 | 1,03 |
| Plynový kotel běžný / zemní plyn | 1,10 | 0,75 | 1,47 |
| Plynový kotel kondenzační / zemní plyn | 1,10 | 0,95 | 1,16 |
| Kotel na pelety / dřevní pelety | 0,15 | 0,80 | 0,19 |
| Solární tepelná soustava / sluneční energie | 0,05 | 1,00 | 0,05 |

Z tab. 1 je patrné, že tepelná čerpadla oproti jiným obnovitelným zdrojům tepla spotřebovávají nezanedbatelné množství primární energie kvůli elektrickému pohonu. Na provozní účinnost tepelných čerpadel jsou proto kladeny určité požadavky. Například v Evropské směrnici o podpoře OZE [2] je definována minimální hodnota

$$SPF = 1,15 \cdot \frac{1}{\eta} \quad (3)$$

kde η_e je celková účinnost výroby elektrické energie uvažovaná jako evropský průměr ($\eta_e = 0,4$). Potom minimálně požadovaný sezónní topný

faktor *SPF* soustav s tepelnými čerpadly je 2,875. Pro samotnou ČR by požadovaná hodnota byla výrazně vyšší ($SPF > 3,45$).

Tab. 2 Minimální/cílové hodnoty *SPF* pro tepelná čerpadla země-voda [3]

| Druh budovy | <i>SPF</i> minimální | <i>SPF</i> cílový |
|-------------|----------------------|-------------------|
| renovace | 3,5 | 4,0 |
| novostavby | 3,3 | 3,7 |

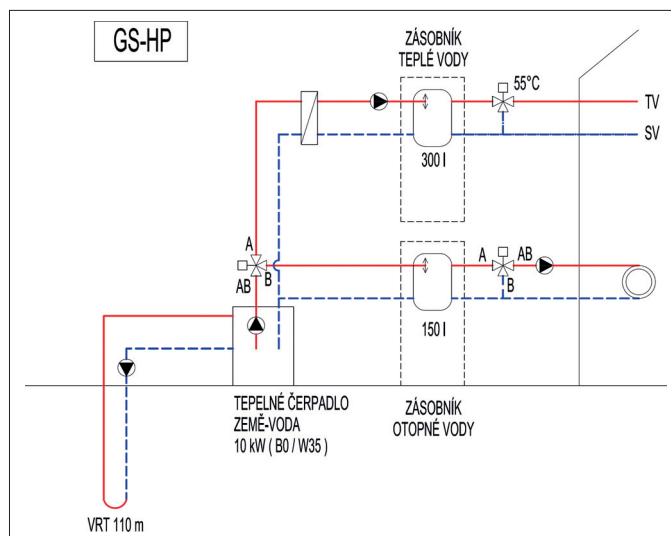
Norma ČSN EN 15450 [3] určená pro navrhování tepelných soustav s tepelnými čerpadly uvádí v normativní příloze C minimální a cílové požadavky na sezónní topné faktory typické pro střední Evropu (viz tab. 2) pro dobrou návrhovou praxi. Pro soustavy přípravy teplé vody a vytápění s tepelnými čerpadly země-voda v běžné (starší) výstavbě analyzované v tomto příspěvku je cílová hodnota *SPF* rovna hodnotě 4,0.

S ohledem na průzkumy reálně dosahovaných hodnot *SPF* provozovaných soustav s tepelnými čerpadly v Evropě [4–6] lze konstatovat, že dosažení požadovaných minimálních hodnot je možné, nicméně velká část soustav pracuje s efektivitou horší, zpravidla vlivem investičně úsporného návrhu (podcenění nízkopotenciální zdroj tepla, vysoký podíl dohřevu dodatkovým zdrojem, apod.) nebo podcenění tepelných ztrát prvků či potřeby pomocné energie. Cílem snah v oblasti tepelných čerpadel je maximalizace úspor primární energie, tzn. dosažení hodnot *SPF* výrazně lepších než 3,0 a zvláště v podmínkách ČR. To je obtížné především v novostavbách s významným podílem potřeby tepla na přípravu teplé vody oproti vytápění, neboť roční topný faktor tepelného čerpadla v režimu přípravy teplé vody na požadovaných 55 °C je nízký, pohybuje se okolo hodnoty 2,6. Jednou z možností jak zvýšit hodnoty *SPF* (efektivitu provozu soustavy s tepelným čerpadlem) a snížit hodnoty *PER* (dopad na potřebu primární energie) je kombinace se solární tepelnou soustavou, která vykazuje velmi vysoké hodnoty *SPF* (> 50) a nízké hodnoty *PER* (0,05). V případě tepelných čerpadel země-voda může solární soustava navíc snížit potřebnou délku zemních vrtů, případně zvýšit regenerační schopnost stávajících a poskytnout ochranu před postupným vyčerpáváním tepelného obsahu podloží při nevhodném návrhu. Níže uvedená simulační analýza se věnuje energetickému hodnocení různých kombinací zapojení solárních tepelných soustav s tepelnými čerpadly.

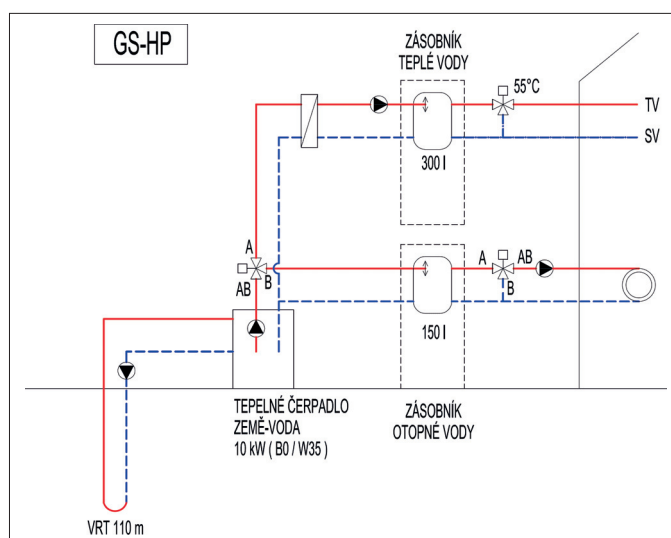
ANALYZOVANÉ VARIANTY

Vliv využití solárního tepla na zvýšení sezónního topného faktoru *SPF* byl zkoumán na řadě variant zapojení solární soustavy kombinované s tepelným čerpadlem země-voda pro vytápění a přípravu teplé vody v rodinném domě o běžné energetické náročnosti se jmenovitou tepelnou ztrátou 8,5 kW (při venkovní teplotě -12 °C) obývaném 4 osobami s průměrnou spotřebou teplé vody 50 l/os.den při teplotní úrovni 55 °C. Teplota studené vody byla celoročně uvažována konstantní 15 °C. Odběr teplé vody byl uvažován s charakteristickým profilem (ranní špička, večerní špička, letní pokles o 25 % oproti průměru). Otopná soustava byla uvažována nízkoteplotní s návrhovým teplotním rozdílem 40/30 °C. Potřeba tepla na vytápění byla určena 15 550 kWh/rok (cca 100 kWh/m²/rok), potřeba tepla na ohřev vody byla stanovena 3416 kWh/rok. Příprava teplé vody se na celkové potřebě tepla podílí pouze 18 %.

Základní variantou GS-HP (z angl. ground source – heat pump) je tepelná soustava s tepelným čerpadlem země-voda pro vytápění a přípravu teplé vody. Ve všech variantách bylo použito tepelné čerpadlo s výkonem 10 kW a topným faktorem 4,5 při podmínkách B0/W35. Primární okruh je tvořen zemním vrtem o průměru 150 mm a délce 110 m v podloží s tepelnou vodivostí 2 W/m.K a objemovou tepelnou kapacitou 1500 kJ/m³.K. Tepelné čerpadlo pracuje do dvou akumulčních zásobníků: zásobník otopné vody 150 l a zásobník teplé vody 300 l. Oba zásobníky mají tepelnou izolaci



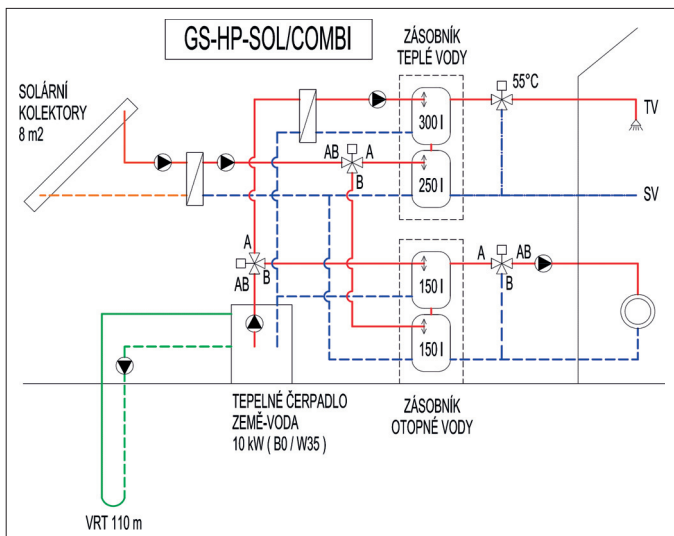
Obr. 1 Základní varianta – tepelné čerpadlo pro přípravu teplé vody a vytápění



Obr. 2 Paralelní kombinace tepelného čerpadla se solární soustavou pro solární ohřev vody

o tloušťce 5 cm. Tepelné ztráty akumulčních zásobníků teplé vody a otopné vody jsou vyhodnocovány v rámci simulačního výpočtu. Zjednodušené schéma zapojení simulačního modelu základní varianty je uvedeno na obr. 1. Tepelné čerpadlo prioritně připravuje teplou vodu na požadovanou teplotu (nastavení termostatu 57 °C, hystereze 5 K, čidlo v horní části zásobníku TV) výměníkem o účinnosti sdílení tepla 0,75. Zásobník otopné vody se ohřívá na teplotu o 5 K vyšší než je požadovaná ekvitermní teplota otopné vody v horní části zásobníku s hysterezí 5 K. Dodatekový zdroj tepla (elektrický dohříváč) kompenzuje aktuálně nedostatečný výkon na obou okruzích. Na výstupu ze zásobníku teplé vody tepelného čerpadla je uvažován termostatický směšovací ventil (55 °C). Na výstupu ze zásobníku otopné vody tepelného čerpadla je uvažován směšovací ventil pro přesné nastavení ekvitermní teploty otopné vody. Z hydraulického zapojení, parametrů zásobníků a regulace vycházejí ostatní varianty kombinované se solární soustavou.

Druhou a třetí variantou je tepelná soustava sdružující solární soustavu pro přípravu teplé vody a/nebo vytápění s tepelným čerpadlem v paralelním zapojení. Varianta se solární soustavou pouze pro přípravu teplé vody GS-HP-SOL/HW má plochu solárních kolektorů 5 m² (zapojení viz obr. 2) a solární zásobník teplé vody s objemem 250 l pro předehřev vody. Varianta pro kombinaci s vytápěním GS-HP-SOL/COMBI má plochu solárních kolektorů 8 m² (zapojení viz obr. 3). Solární kolektory prioritně ohřívají solární předehřívací zásobník teplé vody (objem 250 l) do teploty 65 °C



Obr. 3 Paralelní kombinace tepelného čerpadla se solární soustavou pro ohřev vody a vytápění

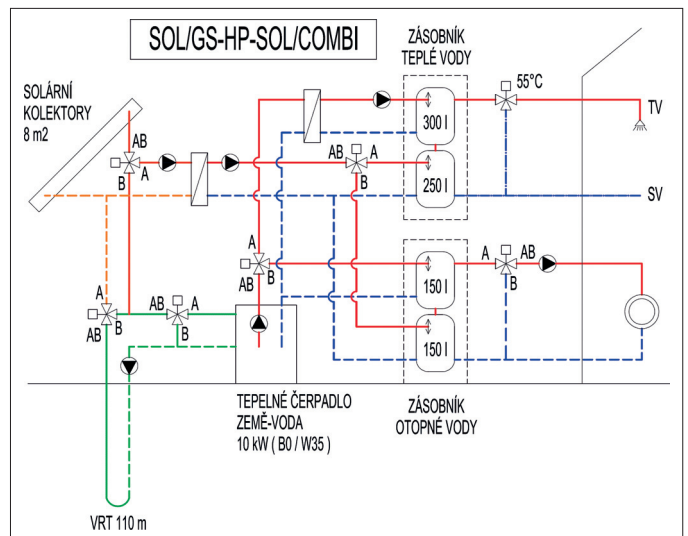
(v zimě), resp. 85 °C (v létě), potom soustava přepíná do solárního předehřívacího zásobníku otopné vody (objem 150 l, max. teplota 65 °C, provoz pouze v zimě). Dohřev teplé a otopné vody zajišťuje v obou variantách tepelné čerpadlo, případně se spínají dodatkové zdroje tepla (el. ohřev pro teplou vodu a vytápění). Tepelné čerpadlo pracuje stejně jako ve variantě GS-HP s prioritou přípravy teplé vody.

Solární kolektory jsou pro všechny analyzované varianty uvažovány stejně (standardní ploché kolektory s jižní orientací a sklonem 45°). Solární zásobníky jsou pro simulaci uvažovány jako ideálně stratifikační. Přívod studené vody je napojen do solárního zásobníku teplé vody a výstup napojen do zásobníku teplé vody tepelného čerpadla. Přívod vratné vody z otopné soustavy je napojen do solárního zásobníku otopné vody a jeho výstup napojen do zásobníku otopné vody tepelného čerpadla. Uvedené propojení zásobníků (předehřev-dohřev) simuluje jediný zásobník se zónou pro přívod solárního tepla do dolní části a zónou pro přívod tepla z tepelného čerpadla v horní dohřívací části.

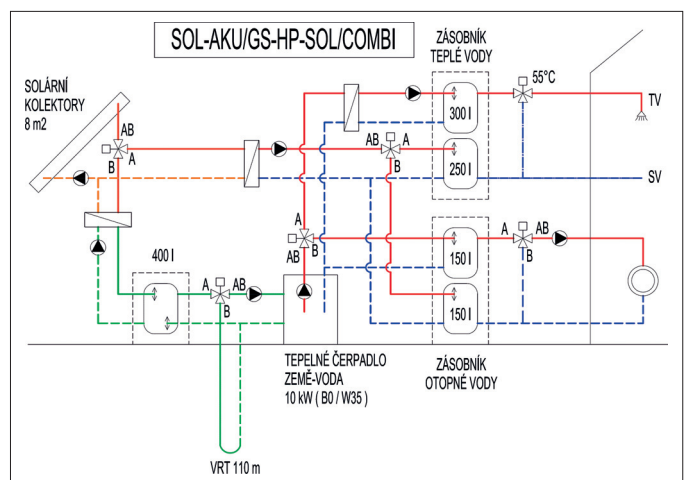
Čtvrtou variantou je soustava s označením SOL/GS-HP-SOL/COMBI, která vychází z varianty GS-HP-SOL/COMBI, nicméně možné přebytky tepla nevyužitelné na sekundární straně tepelného čerpadla jsou využity pro předehřev výstupu ze zemního vrtu (při provozu tepelného čerpadla) a pro regeneraci vrtu (mimo provoz tepelného čerpadla). Zapojení varianty je uvedeno na obr. 4.

V páté variantě SOL-AKU/GS-HP-SOL/COMBI se přebytečné teplo ze solární soustavy ukládá do akumulčního zásobníku na primární straně tepelného čerpadla (objem 400 l, propylenglykol s teplotou tuhnutí -15 °C). Schéma zapojení je uvedeno na obr. 5. Tepelné čerpadlo v případě, že v zásobníku je vyšší teplota než 10 °C, tento zásobník vychlazuje. Při vychlazení na 5 °C přepíná zpět do vrtu. Maximální teplota v primárním zásobníku může být až 90 °C, nicméně pro ochranu tepelného čerpadla před vstupem kapaliny o teplotě nad 25 °C do výparníku je uvažován termostatický směšovací ventil (ve schématu není zakreslen). Čtvrtá i pátá varianta pracují v sérioparalelním zapojení solární soustavy s tepelným čerpadlem.

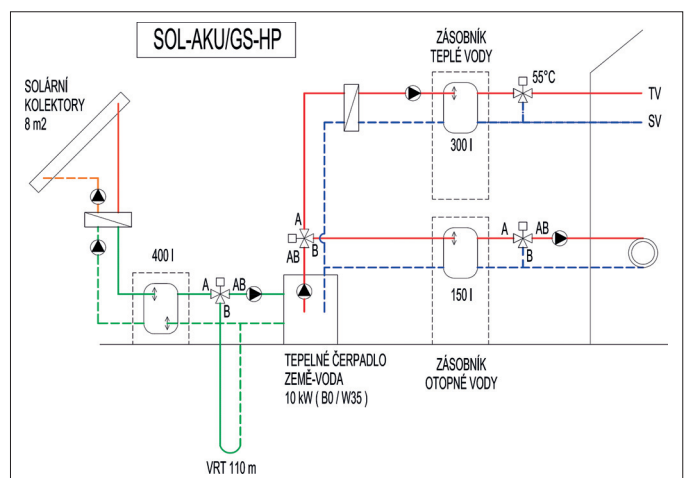
Další analyzované varianty představují čistě sériové zapojení solární soustavy s tepelným čerpadlem, kde solární soustava dodává teplo pouze do akumulčního zásobníku na primární straně tepelného čerpadla. Solární soustava nedodává teplo přímo do přípravy teplé vody ani vytápění. Záměrem je získat informaci o vlivu použití solárních kolektorů v jednoduché tepelné soustavě s tepelným čerpadlem bez použití speciálních solárních zásobníků na odběrové straně. To se týká například rekonstrukcí soustav



Obr. 4 Solární soustava s tepelným čerpadlem s regenerací zemních vrtů solárním teplem



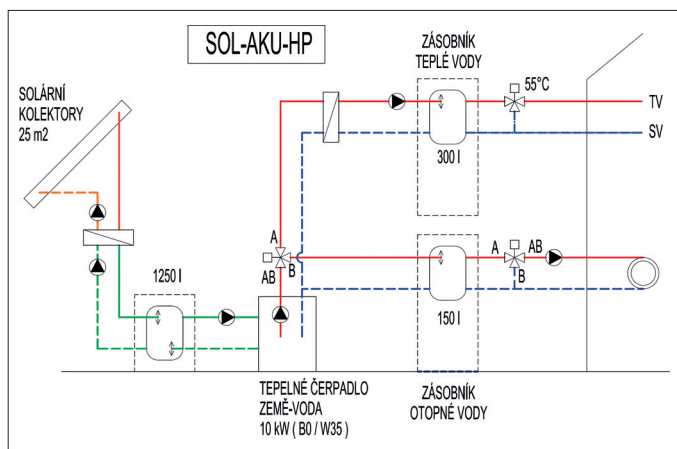
Obr. 5 Solární soustava s tepelným čerpadlem s akumulací solárního tepla v primárním zásobníku



Obr. 6 Tepelné čerpadlo s akumulací solárního tepla pouze na primární straně

s tepelnými čerpadly, kompaktních soustav s tepelnými čerpadly, využití střeš jako absorbérů pro primární okruh tepelných čerpadel, apod.

Šestá varianta SOL-AKU/GS-HP uvažuje solární soustavu s 8 m² solárních kolektorů. Tepelné čerpadlo přepíná mezi primárním zásobníkem (400 l, propylenglykol) a zemním vrtem podle stejné strategie jako u předchozí varianty SOL-AKU/GS-HP-SOL/COMBI. Schéma zapojení je uvedeno na obr. 6.



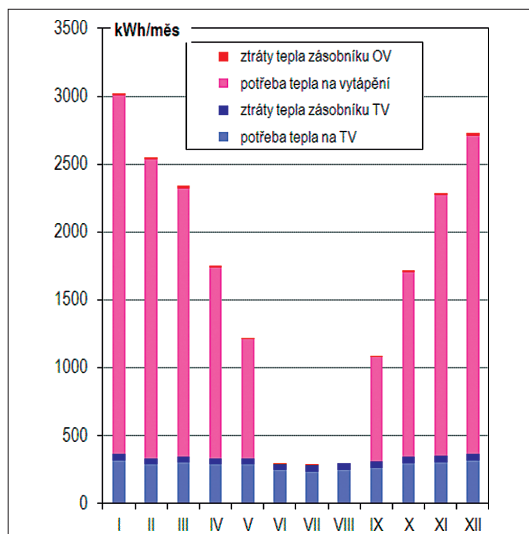
Obr. 7 Tepelné čerpadlo s akumulací solárního tepla pouze na primární straně

Seďmá varianta SOL-AKU-HP je provozně extrémním případem, kdy pro tepelné čerpadlo nejsou vůbec použity zemní vrty. Nicméně je zvýšena plocha solárních kolektorů v ceně „ušpořené“ zemního vrtu (asi o 17 m²). Celkem je plocha kolektorového pole 25 m². Pro akumulaci solárních zisků na primární straně tepelného čerpadla je v této variantě uvažován akumulací zásobník o objemu 1250 l (propylenglykol). Schéma zapojení je uvedeno na obr. 7.

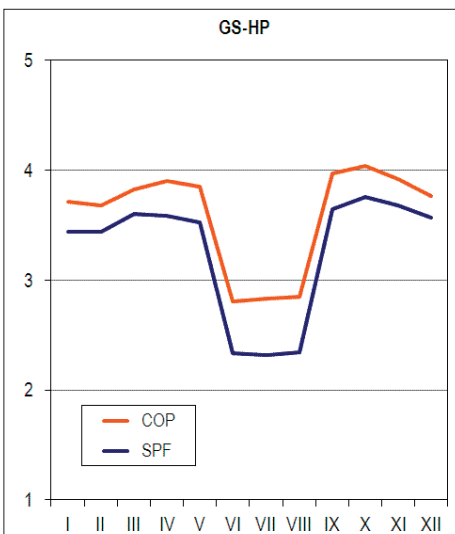
Analýza provozního chování jednotlivých variant zapojení byla provedena v simulačním prostředí TRNSYS [7] umožňujícím modulové propojování modelových komponent soustavy (tepelné čerpadlo, solární soustava, akumulací zásobníky, regulace). Dům byl modelován zjednodušeným modelem zahrnujícím i otopnou soustavu (type 12c). Pro tepelné čerpadlo byl použit model (type 668) vycházející z křivek výkonu a příkonu tepelného čerpadla v závislosti na vstupních teplotách do výparníku a kondenzátoru získaných testem ve zkušebně. Pro solární kolektory byl použit běžný kvadratický model (type 1b). Pro modelování akumulací zásobníků byl použit ideálně stratifikovaný případ (type 4c). Vrt byl modelován s potrubní smyčkou zalitou v bentonitové směsi (type 557a). Klimatické údaje byly použity pro typický meteorologický rok (TMY Praha).

VÝSLEDKY

Tepelné čerpadlo v základní variantě kryje potřebu tepla na přípravu teplé vody, tepelné ztráty akumulací zásobníku teplé vody, potřebu tepla na vytápění a tepelné ztráty akumulací zásobníku otopné vody. Zbylá po-



Obr. 8 Energetická bilance soustavy vytápění a přípravy teplé vody v základní variantě



Obr. 9 Průběh COP a SPF pro základní variantu

třeba tepla vlivem současnosti potřeby vytápění a přípravy teplé vody je kryta elektrickým dohřevem (cca 1,5 % z dodané energie pro dům). Grafické znázornění energetické bilance je uvedeno na obr. 8. Tepelné ztráty zásobníku teplé vody se pohybují okolo 16 %, tepelné ztráty zásobníku otopné vody do 1 %.

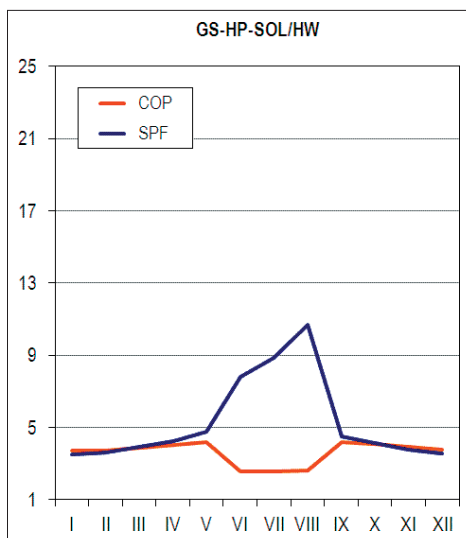
Na obr. 9 jsou uvedeny průběhy provozního topného faktoru samotného tepelného čerpadla (*COP*) a topného faktoru celé tepelné soustavy (*SPF*) během roku. Roční provozní topný faktor *COP* tepelného čerpadla je 3,76, zatímco při zohlednění tepelných ztrát zásobníků, potřeby dohřevu elektrickou energií a pomocné energie se sezónní topný faktor *SPF* soustavy pohybuje na úrovni 3,5.

Lze konstatovat, že tepelná soustava je navržena vhodně, aby splňovala směrnici kladené požadavky na minimální topný faktor pro dosažení úspory primární energie. Zároveň splňuje minimální požadavek návrhové normy na soustavu s tepelným čerpadlem pro renovaci. Je to dáno především nízkoteplotní otopnou soustavou (40/30 °C) a vhodně navrženou délkou zemního vrtu. Z průběhů obou sledovaných parametrů během roku je patrné, že *COP* tepelného čerpadla v letním období (pouze příprava teplé vody) se pohybuje okolo hodnoty 2,9, hodnoty *SPF* jsou okolo 2,4. Pokud by potřeba tepla na přípravu teplé vody tvořila větší část celkové potřeby tepla jako například v nízkoe energetických a pasivních domech, nízké topné faktory v přípravě teplé vody by významně negativně ovlivnily celkovou bilanci soustavy [8].

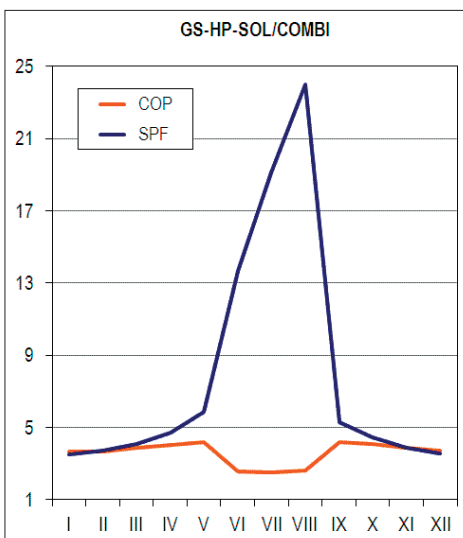
Na obr. 10 jsou uvedeny výsledky pro variantu kombinace se solárním předehřevem teplé vody. Paralelním zapojením solární soustavy k tepelnému čerpadlu se výrazně zlepšil letní provoz vlivem přísunu solárního tepla do zásobníku teplé vody bez potřeby pohonu kompresoru (odstavení tepelného čerpadla v létě). Zatímco vlastní *COP* tepelného čerpadla během letního období klesá, neboť dohřívá již předehřátou vodu od solární soustavy, letní hodnoty *SPF* výrazně narostou až na hodnoty mezi 7 a 10. Vzhledem k relativně nízkému podílu potřeby teplé vody na celkové potřebě tepla se však výhodný letní provoz na roční hodnotě *SPF* neprojeví natolik výrazně. Oproti základní variantě *SPF* vzrostl na hodnotu 3,94. Roční provozní *COP* samotného tepelného čerpadla je na úrovni 3,85. Mírný nárůst *COP* je způsoben mírně vyšší teplotou podloží vlivem zvýšené přirozené regenerace díky snížení letní zátěže vrtů. Celkové využití zisky solární soustavy se pohybují okolo 370 kWh/m².rok.

Zvýšením plochy solárních kolektorů na 8 m² typických pro solární kombinovanou soustavu a zapojením i pro předehřev otopné vody se v podstatě eliminuje příprava teplé vody tepelným čerpadlem v letním období a roční hodnota *SPF* se zvýšila na 4,15. Letní hodnoty *SPF* soustavy se pohybují mezi 14 a 24 (viz obr. 11). Podobně jako v předchozí variantě pracuje tepelné čerpadlo vlivem předehřevu teplé vody a otopné vody při vyšších (dohřívacích) teplotách. Celoroční hodnota *COP* samotného tepelného čerpadla je na stejné úrovni jako u předchozí varianty (3,85). Celkové využití zisky solární kombinované soustavy se pohybují okolo 325 kWh/m².rok.

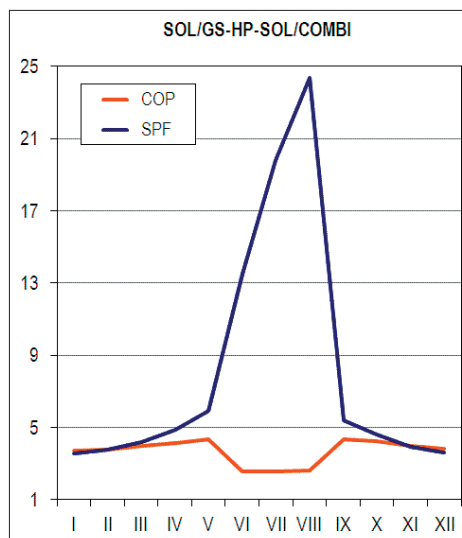
Pro variantu SOL/GS-HP-SOL/ COMBI, která vychází z paralelního zapojení solární kombinované soustavy (8 m²) s tepelným čerpadlem, avšak umožňuje přebytky solárních zisků využít pro primární okruh tepelného čerpadla (předehřev vstupu do vý-



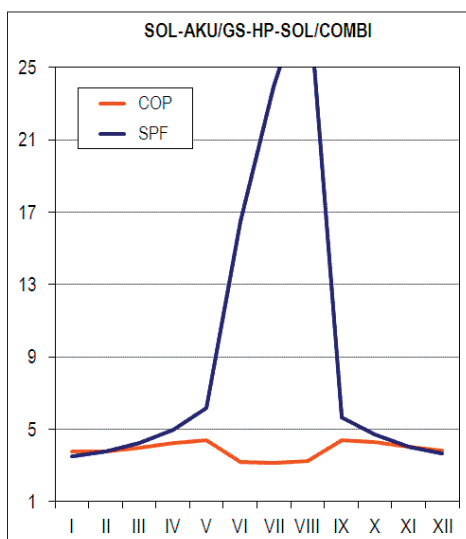
Obr. 10 Průběh COP a SPF pro variantu GS-HP-SOL/HW (paralelní solární soustava pro TV)



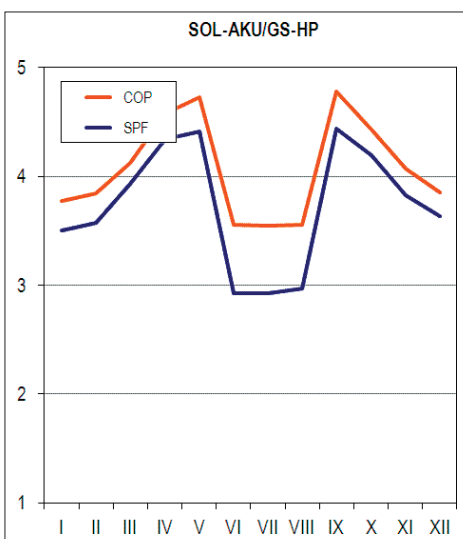
Obr. 11 Průběh COP a SPF pro variantu GS-HP-SOL/COMBI (paralelní solární soustava TV+VYT)



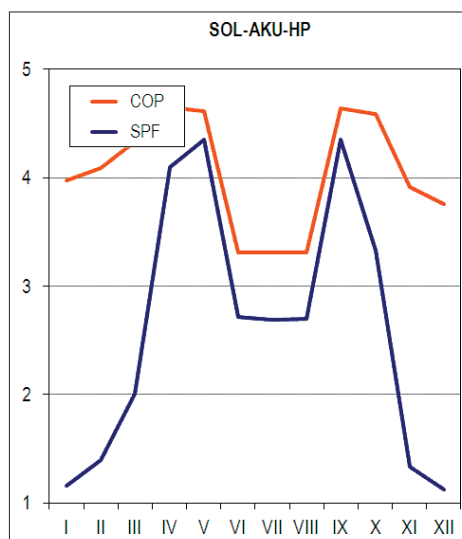
Obr. 12 Průběh COP a SPF pro variantu SOL/GS-HP-SOL/COMBI s využitím solárních zisků pro regeneraci vrtu



Obr. 13 Průběh COP a SPF pro sérioparalelní variantu SOL-AKU/GS-HP-SOL/COMBI s akumulací solárního tepla i na primární straně



Obr. 14 Průběh COP a SPF pro variantu SOL-AKU/GS-HP s využitím solárních zisků pouze na primární straně tepelného čerpadla



Obr. 15 Průběh COP a SPF pro variantu SOL-AKU/HP s využitím solárního tepla na primární straně tepelného čerpadla bez odběru tepla z vrtu

parníku, regenerace vrtu), roční provozní COP tepelného čerpadla mírně vzroste na hodnotu 3,93. Podobně i SPF se mírně zvýší na hodnotu 4,23 vlivem dodávky solárního tepla na primární stranu tepelného čerpadla. Produkce tepla solárními kolektory se zvýšila o více než 20 % (měrný zisk 400 kWh/m².rok) a teplo je využito v primárním okruhu tepelného čerpadla.

Nicméně z výsledků předchozí sérioparalelní varianty lze usuzovat na nevýrazný vliv solárních zisků při jejich přímém použití k ohřevu kapaliny z vrtu na vstupu do tepelného čerpadla, případně pro účel regenerace, na sezónní topný faktor SPF. Proto byla simulována možnost využití sluneční energie v primárním okruhu pro nabíjení primárního zásobníku tepla, ze kterého tepelné čerpadlo může přečerpávat energii akumulovanou z nadbytečných solárních zisků nevyužitých na odběrové straně.

Výsledky ukazují oproti variantě bez primárního zásobníku zvýšení hodnot COP tepelného čerpadla i SPF celé soustavy (viz obr. 13) zejména v letním období pro přípravu teplé vody. Letní topné faktory tepelného čerpadla se zvýšily z běžných hodnot okolo 2,6 na 3,2. Roční hodnoty se pohybují pro COP na úrovni 3,98 a pro SPF 4,3. Vzhledem k nízkému podílu přípravu teplé vody na energetické bilanci se však SPF oproti čistě paralelní variantě GS-HP-SOL/COMBI zvýšil pouze o 0,15.

V sériové variantě SOL-AKU/GS-HP ohřívají solární kolektory pouze zásobník tepla na primární straně tepelného čerpadla, což přispívá ke zvýšení provozního COP. Veškerý využitelný zisk solární soustavy se přečerpává přes tepelné čerpadlo do odběrových zásobníků. Měsíční hodnoty COP tepelného čerpadla jsou relativně vysoké (viz obr. 14), celoroční COP je 4,07. Nevyužití přímé dodávky energie ze solárních kolektorů do odběru však znamená oproti všem předchozím „solárním“ variantám nižší roční hodnotu SPF na úrovni 3,81 i přesto, že letní COP tepelného čerpadla narostl až na hodnoty okolo 3,55.

Spíše pro zajímavost byl simulován i provoz kombinace solární tepelné soustavy s tepelným čerpadlem bez využití zemního vrtu SOL-AKU/HP. Solární zásobník tepla 1250 l na primární straně tepelného čerpadla je spolu s plochou kolektorů 25 m² jeho jediným zdrojem nízkopotenciálního tepla a v případě vyčerpání energetického obsahu zásobníku (pod 5 °C) se tepelné čerpadlo vypíná a vytápění a přípravu teplé vody kryje elektrický dohříváč. I přesto, že výsledky ukazují velmi vysoké provozní COP tepelného čerpadla s roční hodnotou 4,26, jedná se o velmi neúčinnou tepelnou soustavu vlivem významného podílu elektrického dohřevu se sezónním topným faktorem SPF okolo 1,69. Pokrytí potřeby tepla tepelným čerpadlem je pouze 56 % (ostatní varianty > 98 %). Solární soustava má omezené využití, zvláště v letním období, kde dochází k četným periodám

stagnace. Využití solární zisky pro tepelné čerpadlo jsou na nízké úrovni 220 kWh/m².rok.

Výsledky analýzy (provozní topné faktory samotného tepelného čerpadla $COP_{Tč}$ a sezónní topné faktory celého systému SPF_{sys}) jsou pro zkoumané varianty souhrnně uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Výsledky analýzy pro jednotlivé varianty

| Varianta | $COP_{Tč}$ | SPF_{sys} |
|-------------------------|------------|-------------|
| GS-HP | 3,76 | 3,50 |
| GS-HP-SOL/COMBI | 3,85 | 4,15 |
| SOL/GS-HP-SOL/COMBI | 3,93 | 4,23 |
| SOL-AKU/GS-HP-SOL/COMBI | 3,98 | 4,29 |
| SOL-AKU/GS-HP | 4,07 | 3,81 |
| SOL-AKU-HP | 4,26 | 1,69 |

ZÁVĚR

Zvyšování ročních hodnot sezónního topného faktoru SPF tepelných soustav s tepelnými čerpadly je téma, které v současnosti začíná hrát významnou úlohu ve snahách o minimalizaci potřeby primární energie pro vytápění a přípravu teplé vody v budovách. Simulační analýza pro dům běžné energetické náročnosti ukázala, že využití solárních tepelných soustav v paralelní spolupráci s tepelnými čerpadly umožňuje zvýšení SPF o cca 20 %. Další zvyšování SPF pro různé sérioparalelní kombinace s odběrovým nebo zdrojovým okruhem tepelného čerpadla ukazují na dodatečný přínos již pouze v řádu procent, přestože některé varianty vykazují vysoké solární zisky. Výsledné hodnoty SPF se pro uvedené varianty od sebe příliš neliší především z důvodu převažující potřeby tepla v otopném období pro vytápění. Významné přínosy solární soustavy na provozní COP tepelného čerpadla nebo SPF celého systému v letním období se tak výrazně neodrážejí v celkové bilanci. Jiná situace bude u nízkoenergetických a zejména pasivních domů se srovnatelnými potřebami tepla na vytápění a na přípravu teplé vody.

Analýza také prokázala, že čistě sériová zapojení solárních soustav s tepelnými čerpadly nepřinášejí z hlediska celkové účinnosti soustavy vyjádřené hodnotou SPF kýžený efekt, přestože topné faktory COP samotného tepelného čerpadla jsou během jeho provozu vysoké.

Kontakt na autory: borivoj.sourek@seznam.cz, tomas.matuska@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky. ČNI 2011
- [2] Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources
- [3] ČSN EN 15450 Tepelné soustavy v budovách – Navrhování tepelných soustav s tepelnými čerpadly, ČNI 2011
- [4] Nowak T. Heat pumps – a renewable energy technology REHVA Journal, August 2011.
- [5] Klazar L. Jak je to vlastně s topným faktorem (II). Portál tzb-info, 2005
- [6] Bláha M. Velký test tepelných čerpadel. Portál tzb-info, 2010
- [7] TRNSYS 16. Transient Systems Simulation Program. Solar Energy Laboratory, Univ. of Wisconsin-Madison
- [8] Matuska T. Přínosy tepelných čerpadel v pasivních domech. Sborník konference Pasivní domy 2012, Brno, str. 280–287, CPD 2012.

Seznam označení

| | | |
|-------|--|-----|
| COP | topný faktor tepelného čerpadla | [-] |
| SPF | sezónní topný faktor soustavy s tepelným čerpadlem | [-] |
| PER | faktor využití primární energie | [-] |



Nové Calio: malé, ale přesto vysoce účinné

Nová generace vysoce účinných oběhových čerpadel pro vytápění – vyvinutá na základě našich dlouholetých zkušeností a z našeho inovačního know-how podle současných technických požadavků.

- Jednoduchá obsluha
- Vysoký komfort
- Maximální energetická účinnost
- Univerzální použití

KSB-PUMPY+ARMATURY s.r.o., koncern, Kličová 2300/6, Praha 4 - Chodov • www.ksb.com, www.ksbpumpy.cz

Čerpadala • Armatury • Servis



VYTÁPĚNÍ VĚTRÁNÍ INSTALACE

Webová prezentace časopisu VVI na stránkách www.stpcr.cz/vvi

- historie a současnost časopisu
- obsahy všech čísel od r. 1958
- informace pro autory
- vyhledávací databáze
- informace pro recenzenty
- plné verze vybraných článků
- soutěž o cenu prof. Pulkrábka
- dostupnost starších čísel