

doc. Ing. Tomáš MATUŠKA, Ph.D.^{1),2)}
 Ing. Bořivoj ŠOUREK, Ph.D.²⁾
 Ing. Jan SEDLÁŘ²⁾
 Ing. Nikola POKORNÝ²⁾
 Ing. Michal BROUM³⁾

¹⁾ ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
 Ústav techniky prostředí
²⁾ ČVUT v Praze, Univerzitní
 centrum energeticky efektivních
 budov
³⁾ Regulus, s.r.o.

Recenzenti:
 doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.
 doc. Ing. Pavel Charvát, Ph.D.

Vývoj a optimalizace solárního systému kombinovaného s tepelným čerpadlem s využitím počítačové simulace

Development and Optimization of Solar System Combined with a Heat Pump Using Computer Simulation



Příspěvek popisuje možnosti využití počítačové simulace v prostředí TRNSYS při vývoji a optimalizaci solárního systému s tepelným čerpadlem a jeho hlavních komponent: tepelného čerpadla, kombinovaného zásobníku tepla a solárního hybridního fotovoltaicko-tepelného kolektoru. Kromě standardní optimalizace návrhu velikosti komponent (výkon tepelného čerpadla, objem akumulčního zásobníku, plocha solárních kolektorů) pro zamýšlený odběr tepla pro vytápění a přípravu teplé vody v daných klimatických podmínkách byla počítačová simulace použita pro validaci matematických modelů komponent jejich experimentálním testováním a následně pro jejich energeticko-ekonomickou optimalizaci (velikost teplosměnných ploch výměníků tepelného čerpadla, velikost solárního výměníku a výměníku pro přípravu teplé vody integrovaných v zásobníku tepla, tloušťka tepelné izolace v solárním kolektoru apod.).

Klíčová slova: solární systém, tepelné čerpadlo, optimalizace prvků, počítačová simulace, validace modelu

The paper describes possibilities of using computer simulation in the TRNSYS environment for development and optimization of solar system with heat pump and its main components: heat pump, combined heat storage tank and photovoltaic-thermal hybrid solar collector. In addition to the standard component size optimization (heat pump capacity, storage tank volume, solar collector area) for intended heat consumption for heating and hot water preparation under given climatic conditions, the computer simulation was used to validate mathematical models of components by experimental testing and subsequently for their energy-economic optimization (heat exchange surface area of the heat pumps' heat exchangers, size of the solar heat exchanger and heat exchanger for hot water preparation which are integrated in the heat storage tank, thickness of the solar collector's thermal insulation, etc.).

Keywords: solar system, heat pump, element optimization, computer simulation, model validation

ÚVOD

V rámci evropského projektu MacSheep [1] byly vyvíjeny solární systémy s tepelným čerpadlem pro vytápění a přípravu teplé vody pro rodinný dům ve středoevropských klimatických podmínkách. Projektu se účastnily čtyři evropské výzkumné týmy kombinující vždy výzkumnou organizaci a průmyslového partnera. Cílem projektu bylo vyvinout takový solární systém v kombinaci s tepelným čerpadlem, který by oproti konvenčnímu a na trhu dostupnému kombinovanému systému dosáhl 25% úspory spotřeby elektrické energie za rok a zároveň byl konkurenceschopným, tzn. nestál by zákazníka po dobu své životnosti více než systém konvenční.

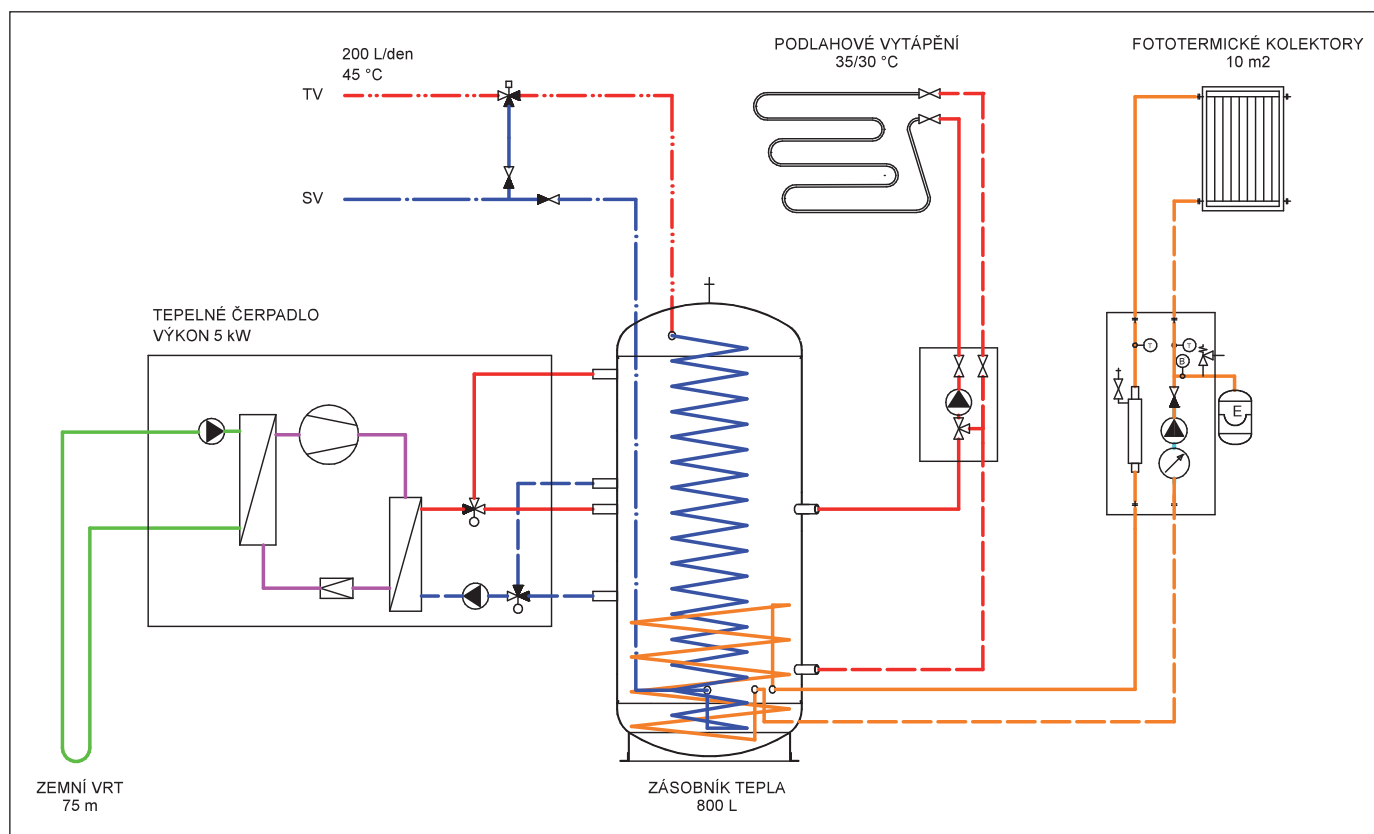
Takový ambiciózní cíl znamenal v prvním roce projektu především prověření možných a cenově dostupných pokročilých řešení v oblasti solárních kolektorů, tepelných čerpadel, zásobníků tepla a regulace. Potenciál úspor pro daný rodinný dům při začlenění do celého systému vytápění a přípravu teplé vody byl zhodnocen dostupnými (a často zjednodušenými) simulačními modely v prostředí TRNSYS, které bylo základní a společnou platformou pro modelování prvků a systémů v rámci projektu. Ve druhé fázi byly vyvíjeny jednotlivé prvky systému, zároveň byly vytvořeny podrobnější modely, kterými je možné jejich chování detailně popsat a použít pro spolehlivější modelování celého systému. Modely byly validovány experimentálním testováním samotných prvků, aby mohly být použity pro nákladovou optimalizaci prvků. Ta vycházela z ambiciózního cíle konkurenceschopnosti vyvíjeného systému. Fáze vývoje, testování a optimalizace prvků z hlediska funkce celého systému a zajištění požadované úspory trvala dva roky. Ukázala, že lze často použít i méně účinná (zato výrazně

levnější) řešení, která však v kombinaci s jinými prvky či při vhodnějších hydraulických zapojeních mohou být z pohledu systémové efektivity a celkové ekonomiky výhodnější. V současné době jsou totiž obnovitelné zdroje tepla (a nejen ty) hodnoceny zásadně jako samostatné prvky. Jejich vývoj vede k vysoce účinným zařízením, které jsou samostatně ověřovány ve zkušebnách podle platných norem. Snaha o vysoce účinné zdroje tepla však v praxi naráží na jedné straně na jejich cenovou nedostupnost pro koncového zákazníka, na druhé straně jejich nevhodné použití v kombinaci s dalšími prvky (další zdroje tepla, akumulční zásobníky, regulace, hydraulické zapojení) může vést k nízké efektivitě celého dodávaného systému a nevyužití potenciálu efektivity dílčích prvků.

Třetí fázi v posledním roce projektu pak byla stavba systému a jeho test v laboratoři jako celku. Laboratorní test měl ověřit, zda systém má potenciál splnit cíl 25% úspory elektrické energie. Pro tyto účely byla dovyvinuta šestidenní metoda zkoušky solárního systému kombinovaného s tepelným čerpadlem, při které je systém v laboratoři zatížen provozními podmínkami šesti vybraných typických dnů v roce (klimatické podmínky, podmínky odběru tepla budovou). Z výsledků testu lze přímo určit závěr o celoroční efektivitě systému a jeho spotřebě elektrické energie. Test zároveň sloužil pro detailnější kalibraci matematického modelu celého systému.

SOLÁRNÍ SYSTÉM KOMBINOVANÝ S TEPELNÝM ČERPADLEM

V rámci projektu byl ve spolupráci ČVUT a společnosti Regulus vyvíjen solární systém v kombinaci s tepelným čerpadlem země-voda určený



Obr. 1 Schéma konvenčního solárního systému s tepelným čerpadlem

Fig. 1 Diagram of the conventional solar system with heat pump

pro novostavbu rodinného domu. Srovnávacím konvenčním systémem byla kombinace plochých solárních kolektorů a tepelného čerpadla od nejmenované společnosti zapojená podle schématu uvedeném na obr. 1. Systém je určen pro novostavby s roční potřebou tepla na vytápění 7944 kWh a na přípravu teplé vody 3038 kWh v klimatických podmínkách města Zürich (Švýcarsko). Plocha solárních kolektorů je 10 m², tepelné čerpadlo má topný výkon 5 kW při podmínkách B0/W35 a je napojené na zemní vrty s celkovou délkou 75 m. Zásobník tepla má objem 800 l a integrovaný vlnovcový výměník pro přípravu teplé vody má plochu 6 m². Pro konvenční systém byl v prvním roce projektu sestaven simulační model v TRNSYS a byly provedeny celoroční simulace pro zjištění spotřeby elektrické energie a efektivity vyjádřené sezónním topným faktorem *SPF*. Ve třetím roce byl pak konvenční systém vyzkoušen zmíněným šestidenním testem v laboratoři a byla zjištěna reálná efektivita oproti simulačnímu modelu, která následně sloužila jako porovnávací reference pro zhodnocení splnění cíle projektu. Výsledky simulace a zkoušky konvenčního systému v laboratoři jsou uvedeny v tab. 1. Spotřeba elektrické energie systému W_{el} je vždy uvedena včetně tzv. penaltových hodnot za nesplnění požadované teploty do odběru. V žádném případě však penalizovaná energie nesměla překročit 1 % z celkové spotřeby, jinak byl systém považován za nefunkční. V prvním roce projektu byla také stanovena cena konvenčního systému pro porovnání ekonomických parametrů s vyvíjeným systémem.

Tab. 1 Spotřeba elektrické energie a sezónní topný faktor konvenčního systému

Tab. 1 Electricity consumption and seasonal heating performance factor of the conventional system

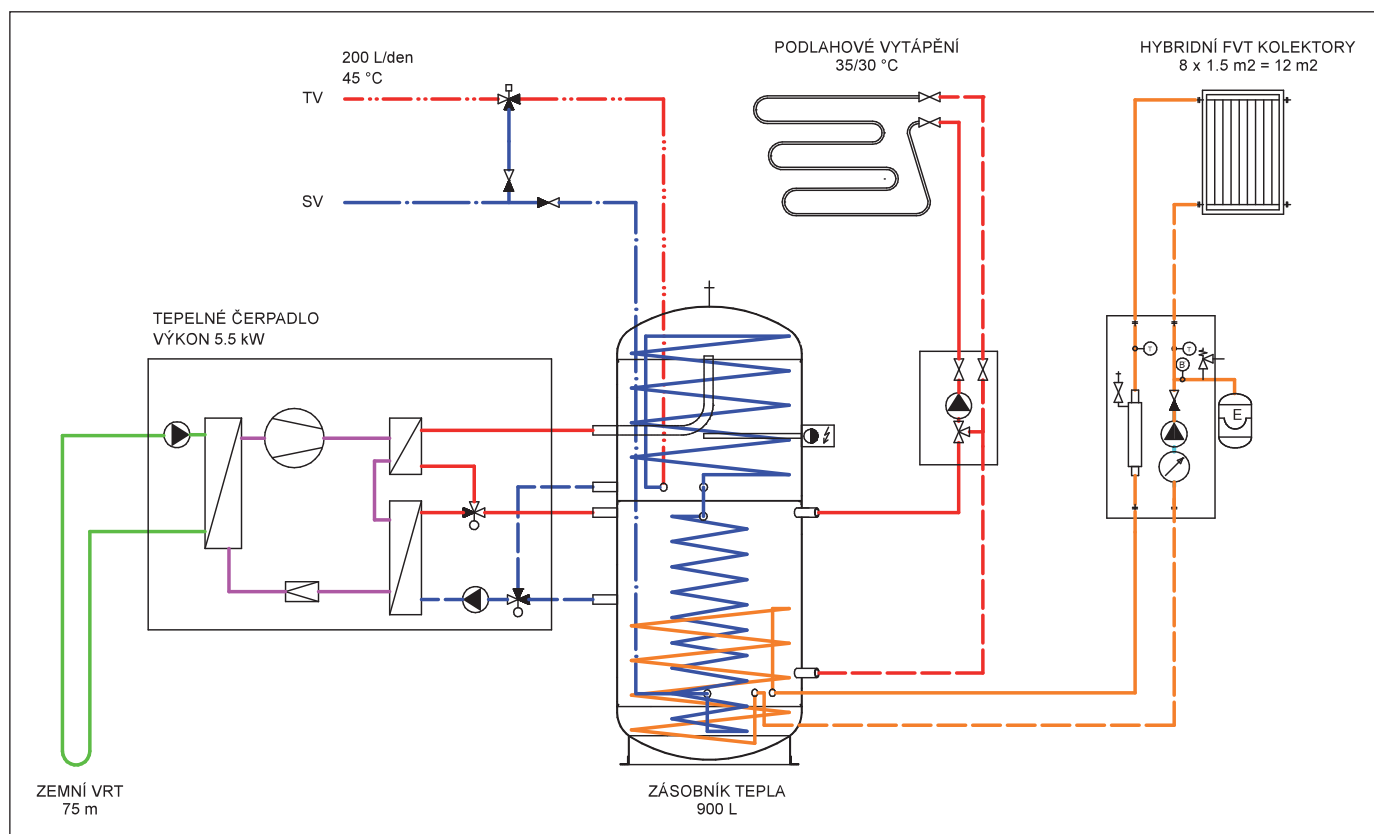
Konvenční systém	W_{el} [kWh/rok]	<i>SPF</i> [-]
Simulace	2658	4,13
Test	2912	3,79

Na základě rešerše potenciálu zlepšení prvků pro docilení úspory oproti konvenčnímu systému byly pro vyvíjený systém (viz obr. 2) zvoleny následující hlavní prvky systému:

- ❑ Zasklený hybridní fotovoltaicko-tepelný solární kolektor – solární kolektor, který kromě využitelného tepla produkuje i elektrickou energii využívanou pro krytí spotřeby kompresoru, oběhových čerpadel a v případě přebytků ohřev horní části zásobníku na teplotu až 90 °C.
- ❑ Vícevýměňkové tepelné čerpadlo – tepelné čerpadlo, které kromě kondenzátoru využívá ještě samostatného chladiče přehřátých par pro ohřev vody na významně vyšší teplotu, než je kondenzační, a dochlazovače kapalného chladiva jako dalšího samostatného výměníku pro přehřev studené vody, obojí bez navýšení kompresní práce a spotřeby elektrické energie.
- ❑ Kombinovaný zásobník tepla s pevnou přepážkou mezi zónou přípravy teplé vody a otopné vody pro vytápění – jeho výhodou je především nemísění obou zón a udržení teplotního vrstvení zejména při provozu tepelného čerpadla, zároveň bylo zvoleno netradiční rozložení plochy integrovaného trubkového výměníku pro přípravu teplé vody – větší plocha výměníku je v zóně přípravy teplé vody pro snížení požadované teploty nabíjení zóny.
- ❑ Pokročilý regulátor s predikcí odběru teplé vody a řízením toku elektrické energie z FVT kolektoru – systému nadřazený regulátor využívá další pokročilé funkce kontroly chodu tepelného čerpadla, dálkové sledování a monitoring provozu systému.

VÝVOJ PRVKŮ

Vývoj prvků systému byl od počátku provázen matematickým modelováním. Zatímco pro zásobník tepla existoval relativně pokročilý model určený pro simulační prostředí TRNSYS, pro vícevýměňkové tepelné



Obr. 2 Schéma vyvíjeného systému s konečnými parametry hlavních prvků

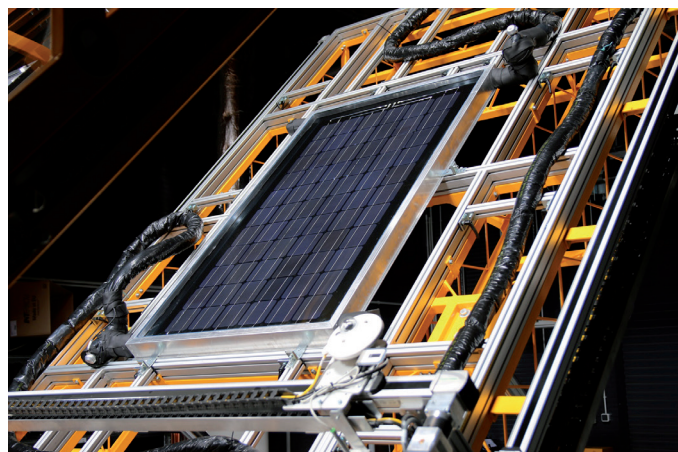
Fig. 2 Diagram of the developed system with final characteristics of the main elements

čerpadlo ani pro hybridní fotovoltaicko-tepelný kolektor podrobné modely nebyly k dispozici, a byly proto postupně vytvořeny. Navržené prvky byly vyrobeny ve spolupráci s průmyslovým partnerem Regulus a samostatně testovány v laboratořích ČVUT (UCEEB) a Regulus. Výsledky testů posloužily jako podklad pro validaci matematických modelů a nastavení parametrů pro simulaci prvků v rámci celého systému.

V případě zaskleného fotovoltaicko-tepelného kolektoru (viz obr. 3) byl validován detailní matematický model umožňující charakterizovat FVT kolektor v provozu jak bez odběru elektrické energie, tak při odběru v režimu odběru se sledováním výkonového maxima, viz obr. 4 [2]. Model byl použit pro optimalizaci konstrukce kolektoru. Ze simulací použití hybridního FVT kolektoru nejen v řešeném systému, ale i v běžných solárních systémech pro ohřev vody, vznikla potřeba použití nízkoemisivního povla-

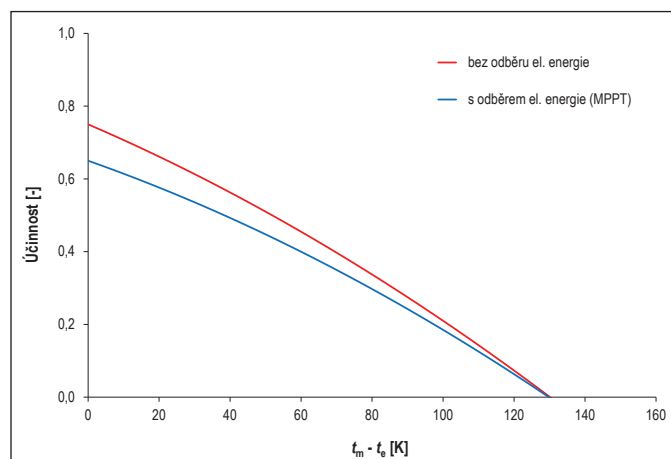
ku vysoce propustného pro sluneční záření pro zajištění určité selektivity absorberu opatřeného FV články [3], [4]. Bylo rovněž rozhodnuto o použití tepelné izolace tloušťky 30 mm na zadní straně kolektoru, neboť větší tloušťka nedávala ekonomický smysl. Pro stavbu dalších prototypů byl dále uvažován optimalizovaný zasklený selektivní FVT kolektor [5].

Matematický model tepelného čerpadla byl nejprve vytvořen v programu Matlab a následně naprogramován jako type250 pro TRNSYS [6]. Po sestavení prototypu byla provedena validace na základě rozsáhlého testování za různých okrajových podmínek [7]. Byla sledována především shoda tepelného výkonu na jednotlivých výměnících, celkového elektrického příkonu tepelného čerpadla a COP . Typické výsledky validace modelu jsou uvedeny na obr. 5. Použití validovaného modelu v simulaci celého systému odhalilo, že v případě použití solárního systé-



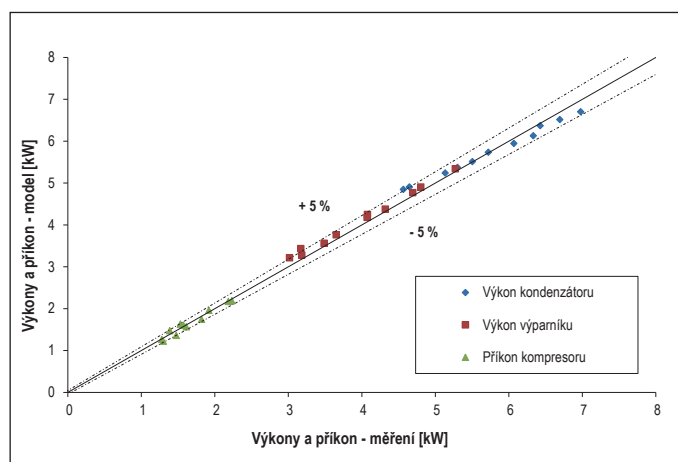
Obr. 3 Zasklený hybridní solární FVT kolektor při zkoušce v laboratoři

Fig. 3 Glazed FVT hybrid solar collector during a laboratory testing



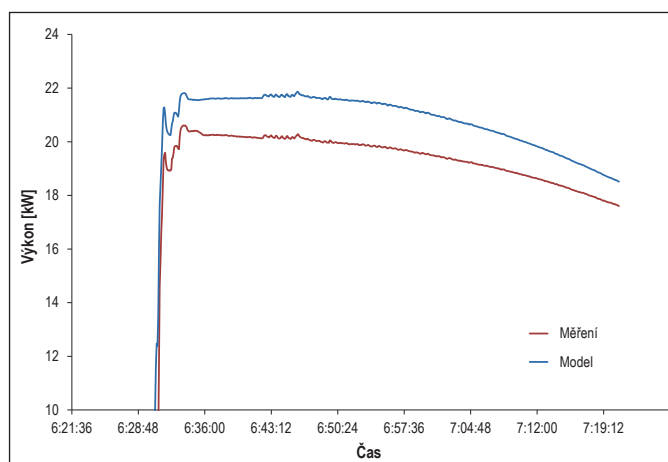
Obr. 4 Výkonové charakteristiky hybridního FVT kolektoru (pro $G = 1000 \text{ W/m}^2$)

Fig. 4 Power characteristics of FVT hybrid collector (for $G = 1000 \text{ W/m}^2$)



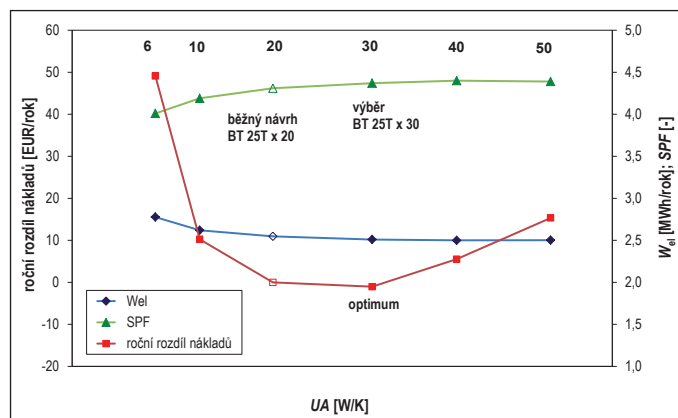
Obr. 5 Validace matematického modelu tepelného čerpadla s experimentálním měřením

Fig. 5 Validation of the mathematical model of heat pump by experimental measurement



Obr. 7 Porovnání výkonu výměníku přípravy teplé vody z měření a simulace

Fig. 7 Comparison of output of hot water preparation heat exchanger in measurement and simulation



Obr. 6 Energeticko-ekonomická optimalizace počtu desek kondenzátoru tepelného čerpadla

Fig. 6 Energy-economical optimization of heat pump's condenser plates number

mu nemá použití dochlazovače kapalného chladiva pro předešlý dolní části zásobníku výrazný přínos a pouze zvyšuje cenu tepelného čerpadla (dochlazovač proto není uveden ve schématu na obr. 2). Dochlazovač má však relativně vysoký přínos v případě přípravy teplé vody samotným tepelným čerpadlem [8].

S využitím modelu tepelného čerpadla v simulačním modelu systému byl optimalizován návrh výměníků tepla (výparníku, kondenzátoru, chladiče přehřátých par) tak, aby dosáhl maximální ekonomické úspory (cena tepelného čerpadla oproti roční provozní úspoře za 20 let) dosažené oproti běžnému praktickému návrhu. Na obr. 6 jsou uvedeny výsledky optimalizace kondenzátoru.

U kombinovaného zásobníku tepla byly na základě experimentálního testování především správně nastaveny parametry modelu type340 [9] týkající se měrného výkonu výměníku pro přípravu teplé vody a pohotovostní tepelné ztráty zásobníku. Výkon výměníku byl testován, porovnáván se simulací za identických podmínek a na základě rozdílu (viz obr. 7) byla provedena úprava parametrů výměníku v modelu. Tepelná ztráta zásobníku byla vyhodnocena včetně deseti napojovacích metrových potrubí pro zohlednění tepelných mostů způsobených hydraulickým propojením zásobníku tepla s tepelným čerpadlem, odběrem tepla otopnou soustavou, odběrem teplé vody, napojením expanzní nádoby a napojením solárních kolektorů. Konzultací s průmyslovým partnerem,

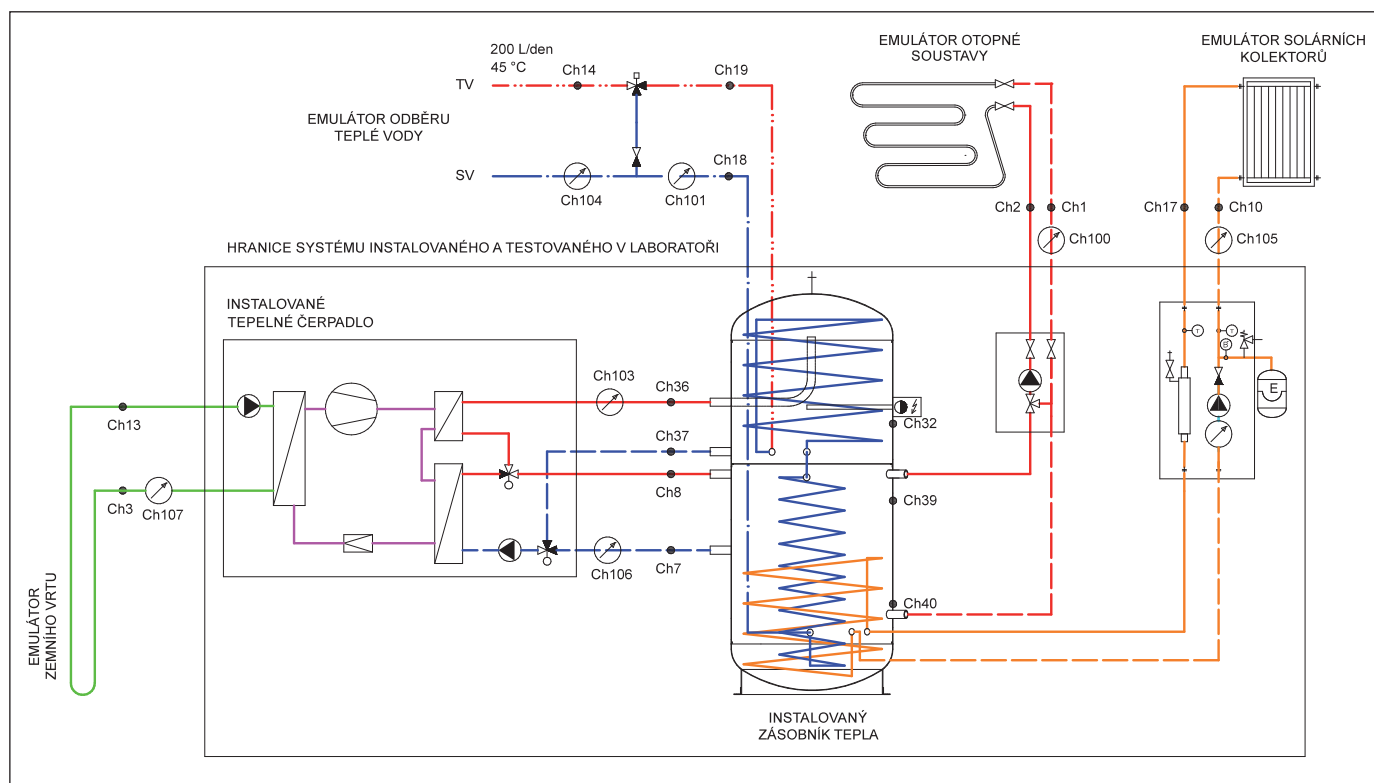
který je zároveň výrobcem kombinovaného zásobníku, byla navýšena úroveň tepelné izolace pláště a omezeny tepelné mosty bez výrazného zvýšení ceny zásobníku.

ŠESTIDENNÍ TEST A KALIBRACE MODELU SYSTÉMU

V rámci projektu byla vyvinuta zkušební šestidenní metoda [10], [11] pro celé systémy zahrnující solární kolektory, tepelná čerpadla i akumulční zásobníky. Byla vybrána sekvence 6 po sobě jdoucích typických dnů s navzájem odlišnými odběrovými a klimatickými charakteristikami, pro které byl kontinuální test systému proveden. Odběr tepla budovou pro vytápění v jednotlivých dnech byl současně simulován v prostředí TRNSYS podle odpovídajících klimatických podmínek a zároveň emulován zařízením, které simulovaný odběr fyzicky zajišťovalo. Podobně odběr teplé vody byl realizován emulátorem podle definovaného a pro každý den jiného realistického odběrového profilu. Pro zjednodušení a praktickou realizaci zkoušky byl i solární kolektor nahrazen emulátorem. Na základě simulace provozu uvažovaného solárního kolektoru experimentálně ověřeným modelem podle aktuálních klimatických a provozních podmínek poskytoval emulátor solárního kolektoru takovou výstupní teplotu při daném průtoku, jako kdyby byl při zkoušce zapojený reálný kolektor. V případě tepelného čerpadla země-voda byl podobně emulován i provoz zemního vrtu.

Fyzicky ve zkušebně tak nakonec bylo instalováno pouze jádro celého systému, a to tepelné čerpadlo hydraulicky propojené se zásobníkem tepla a regulátor systému. Výhodou šestidenního testu byla jednak možnost validace modelu celého systému v TRNSYS a jednak zjednodušené vyhodnocení celoroční efektivity systému přepočtem z výsledků šestidenního měření. V efektivitě systému hodnocené takovým testem se projeví reálné tepelné mosty propojení dílčích prvků systému, nevhodné nastavení regulace, zacházení s teplotním vrstvením zásobníku tepla provozem kombinovaného zdroje, vliv dynamiky celého systému, které se při stacionárním testování samotných prvků buď neprojeví, nebo nevyhodnocují.

Pro šestidenní test vyvíjeného systému byla určena zkušebna člena konsorcia projektu v Solar Energy Research Centre v Dalarně (Švédsko). Během léta roku 2015 byl postaven v dílnách společnosti Regulus systém sestávající z tepelného čerpadla, zásobníku a regulátoru a odzkoušena jeho funkce vytápění a přípravy teplé vody bez solárních kolektorů, neboť ty měly být v rámci testu pouze emulovány bez fyzické



Obr. 8 Napojení systému v laboratoři na emulátory

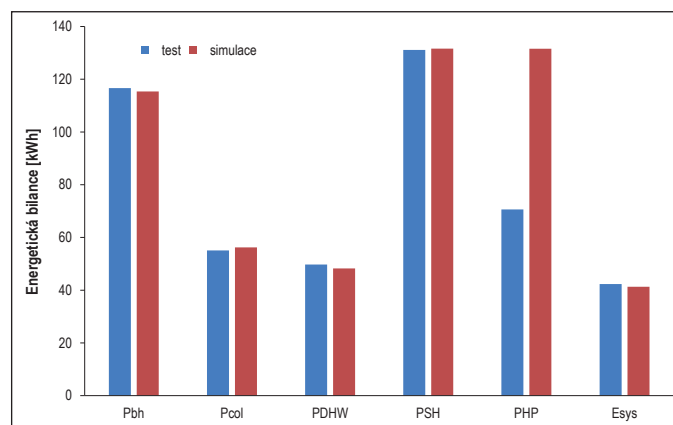
Fig. 8 Connection of the laboratory system to emulators

přítomnosti v laboratoři. Solární hybridní kolektory byly nicméně zkoušeny ve své poslední verzi prototypu zvláště v Solární laboratoři UCEEB ČVUT pro vyhodnocení jejich parametrů a použití v matematickém modelu emulátoru.

Po dopravě do zkušební laboratoře začaly přípravné fáze testu. Systém byl instalován pracovníky společnosti Regulus a byla nastavena regulace. Byly provedeny celkem dva šestidenní testy, kterým vždy předcházely 2 přípravné dny pro ustálení provozu celého systému. Po vyhodnocení prvního testu bylo dálkově upraveno nastavení regulace (teploty přípravy teplé vody, spínací difference apod.). Výsledkem z druhé šestidenní sekvence byla řada veličin (hlavní teploty, průtoky, celkový příkon systému) ve 20vteřinovém kroku. Šestidenní sekvence naměřených údajů za hranicí systému (viz obr. 8) byla použita jako okrajové podmínky pro simulační model celého systému jako podklad pro jeho kalibraci.

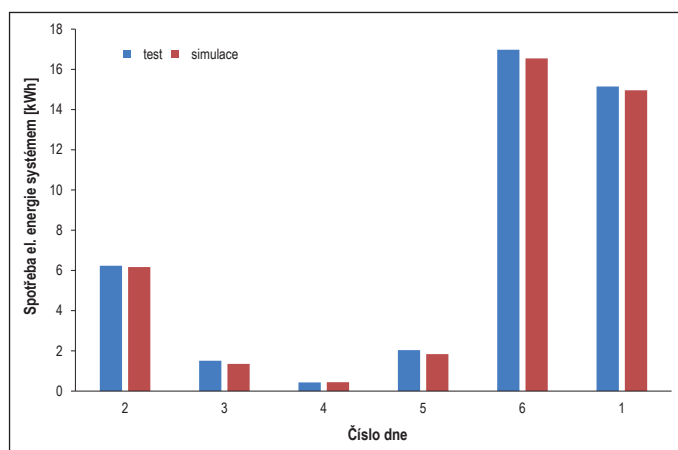
Realita v detailních průbězích teplot je vždy poněkud odlišná od počítačové simulace. Cílem kalibrace modelu bylo především dosažení shody v energii spotřebované tepelným čerpadlem ve všech šesti dnech s minimální odchylkou od naměřených hodnot. Ostatní veličiny jako teplo dodané tepelným čerpadlem do zásobníku tepla či průběhy teplot v zásobníku byly uvažovány především jako pomocné informace pro odhalení příčin sledovaného chování systému. Bohužel z pohledu spotřeby elektrické energie byl v laboratoři sledován pouze příkon celého systému bez rozlišení podílu jednotlivých oběhových čerpadel, nicméně díky spouštění oběhových čerpadel tepelného čerpadla v předstihu před kompresorem bylo možné alespoň částečnou informaci získat z průběhu spotřeby elektrické energie. Kalibrace nakonec spočívala především v úpravě měrného výkonu solárního výměníku (nebyl testován při vývoji zásobníku), a to na základě měřených výstupních teplot a dále v úpravě elektrického příkonu oběhových čerpadel, které byly vyšší, než se předpokládalo (vyšší tlakové ztráty emulátorů odběru tepla pro vytápění a zemního vrtu v laborato-

ři). Porovnání naměřených šestidenních energetických veličin systému a výsledků simulace s kalibrováním modelem bez vlivu přínosu elektrické části FVT kolektoru je provedeno na obr. 9. Vliv elektrické části nemohl být během testu zohledněn, neboť emulátor FV části kolektoru v laboratoři SERC byl v době probíhajících testů mimo provoz. Z obr. 9 je patrný významný rozdíl mezi naměřenou a simulovanou produkcí tepla tepelným čerpadlem (PHP), přestože všechny ostatní bilance jsou ve shodě, včetně spotřeby elektrické energie a dodávky tepla do budovy. Byly proto detailně porovnány průběhy teplot na kondenzátoru a bylo zjištěno, že čidlo teploty na výstupu z kondenzátoru ukazuje významně nižší hodnoty než simulace. Důvodem bylo nevhodně umístěné příložné čidlo ve špatném kontaktu s trubicí. Naměřené a simulované hodnoty spotřeby elektrické ener-



Obr. 9 Porovnání simulovaných a měřených energetických toků: Pbh – teplo z vrtů; Pcol – teplo z kolektorů; PDHW – odběr pro teplou vodu; PSH – odběr pro vytápění; PHP – teplo z TČ; Esys – spotřeba elektrické energie systému

Fig. 9 Comparison of simulated and measured energy flows: Pbh – heat from boreholes; Pcol – heat from collectors; PDHW – consumption for hot water preparation; PSH – consumption for heating; PHP – heat from HP; Esys – electric energy consumption of the system



Obr. 10 Porovnání simulované a měřené spotřeby elektrické energie v jednotlivých dnech experimentu

Fig. 10 Comparison of simulated and measured power consumption for each day of the experiment

gie systému (viz obr. 10) se za celou sledovanou šestidenní periodu liší o 3 %, což je v případě tak složitého systému, při měření veličin zatíženém nejistotou a simulací modely sice validovanými, avšak experimentálním měřením opět zatíženým nejistotou, poměrně velmi nízká hodnota.

VÝSLEDKY

Pro vyvinutý solární systém s tepelným čerpadlem byl na základě modelu kalibrovaného experimentálním šestidenním testem upraven simulační model systému pro celoroční simulaci, včetně příspěvku produkce elektrické energie od FVT kolektorů pro pohon tepelného čerpadla a s přebytky ukládanými topným tělesem do zóny přípravy teplé vody od dubna do října. Byla provedena celoroční simulace systému, podobně jako v případě konvenčního systému, který sloužil jako reference pro stanovení úspory. Simulační výpočet v TRNSYS ukázal, že při stejném odběru tepla budovou a stejných klimatických podmínkách vyvinutý systém spotřebuje o 753 kWh elektrické energie méně než konvenční systém dostupný na trhu při sezónním topném faktoru $SPF = 5,09$. Na základě pravidel projektu na hodnocení ceny systému (zavedené směrné ceny dílčích prvků) společně s realistickými odhady průmyslového partnera byla určena cena systému o cca 2500 EUR vyšší než cena konvenčního systému. Při ceně elektrické energie 0,16 EUR/kWh, zahrnutí nákladů na údržbu systému a růstu ceny energie byla stanovena pozitivní bilance (úspora) nákladů na úrovni 13 EUR/rok. Tento výsledek znamená, že zařízení na jedné straně spoří cca 26 % elektrické energie a zároveň je konkurenceschopné.

ZÁVĚR

Cílem příspěvku nebylo ukázat nové zařízení v podobě solárního systému kombinovaného s tepelným čerpadlem, ale možnosti využití počítačových simulací při vývoji takového systému, ať už na úrovni jednotlivých

prvků, tak především na systémové úrovni, kde vlivy různých opatření a prvků je daleko složitější předvídat. Zároveň bylo naznačeno, jak počítačová simulace s ověřeným matematickým modelem umožňuje optimalizovat dílčí prvek (především ekonomicky) tak, aby na jedné straně byla zachována účinnost celku (systému) a zároveň bylo možné systém zachovat konkurenceschopný z pohledu celkových nákladů, např. za dobu životnosti systému. Zkoušení funkce celého systému šestidenním testem s využitím kosimulace v TRNSYS v kombinaci s fyzickou emulací odběru tepla budovou a dodávky tepla solárním kolektorem je v oblasti laboratorního zkoušení novinkou, zatím nijak normově nepodchycenou. Rostoucí zájem o takové zkoušky u německých a švýcarských firem, které dodávají celé systémy na trh, je důkazem, že takové zkoušky, díky nimž lze odhalit především nesrovnalosti v hydraulickém zapojení, nastavení regulace či principiální koncepci systému, mají velký smysl pro dodávku kvalitních a dlouhodobě spolehlivých úsporných systémů.

Kontakt na autora: tomas.matuska@fs.cvut.cz

Poděkování: Výzkum, který vedl k těmto výsledkům, získal finanční prostředky ze sedmého rámcového programu 7RP/2007-2011 Evropské unie na základě grantové dohody č. 282825 – acronym MacSheep.

Použité zdroje:

- [1] Project FP7/2007-2011 no. 282825 MacSheep – New Materials and Control for a next generation of compact combined Solar and heat pump systems with boosted energetic and exergetic performance (2012–2015). Dostupné z: <http://macsheep.spf.ch>
- [2] POKORNÝ, N., MATUŠKA, T. *TRNSYS Type 223 v0.1 – Model zaskleného kapalinového fotovoltaicko-tepelného kolektoru založeného na detailních parametrech konstrukce a energetické bilanci* [software]. 2015.
- [3] MATUŠKA, T., SOUREK, B. Solar Heat Pump System with Hybrid PVT Collectors for a Family House. CESB 2013, Prague, Czech Republic. 2013.
- [4] MATUŠKA, T. Performance and economic analysis of hybrid PVT collectors in solar DHW system. *Energy Procedia*. 2014, Vol. 48, s. 150–156.
- [5] MATUŠKA, T., SOUREK, B., JIRKA, V., POKORNÝ, N. Glazed PVT Collector with Polysiloxane Encapsulation of PV Cells: Performance and Economic Analysis. *International Journal of Photoenergy*. Volume 2015, Article ID 718316.
- [6] SEDLÁŘ, J. *TRNSYS Type 250 – Ground source heat pump with desuperheater and subcooler* [software]. 2016.
- [7] SEDLÁŘ, J., BROUM, M., MATUŠKA, T., SOUREK, B. Model tepelného čerpadla s odvodem tepla na třech úrovních. *Vytápění, větrání, instalace*. 2015, roč. 24, s. 16–21.
- [8] SEDLAR, J. Energy analysis of heat pump with subcooler. *Proceedings of IEA Heat Pump Conference 2014*. Montreal, Canada.
- [9] DRUECK, H. Multiport Store Model for TRNSYS – Stratified fluid storage tank with four internal heat exchangers, ten connections for direct charge and discharge and an internal electrical heater (type340). University of Stuttgart. 2006.
- [10] HALLER, M.Y., HABERL, R., PERSSON, T., BALES, C., KOVACS, P., CHÈZE, D., PAPILLON, P. Dynamic whole system testing of combined renewable heating systems – The current state of the art. *Energy and Buildings*. 2013, Vol. 66, s. 667–677.
- [11] CHÈZE, D., PAPILLON, P., LECONTE, A., HALLER, M.Y., HABERL, R., PERSSON, T., BALES, C. Towards a harmonized whole system test method for combined renewable heating systems for houses. *Proceedings of the EuroSun 2014 conference*. ISES Europe, Aix-les-bains, France.

Nejlepší portály
o stavebnictví



Největší stavební portál
pro odborníky v ČR

ESTAV.cz
Portál pro širokou
stavební veřejnost