OBSAH

OZE – Určující prvek transformace energetiky 7
Beneš Ivan

Obnovitelné zdroje energie v domácnostech - statistika roku 2011 17
Bufka Aleš

Nový zákon o podporovaných zdrojích energie v kontextu evropského a mezinárodního práva 25
Doležalová Helena

Energetická bilance slunečního záření, dopadající na zemský povrch 31
Jirka Vladimír, Pokorný Jan

Závislosti dopadající energie slunečního záření na plochu 41
Peterka Jaroslav

Přednosti a úskalí hodnocení solárních soustav podle ČSN EN 15316-4-3 49
Matuška Tomáš

Navrhovanie solárnych termických systémov pre bytové domy 57
Gottas Alfréd

Vliv stagnačních stavů na solární soustavy 63
Kramoliš Petr, Vrtek Mojmír, Plaček Stanislav

Problematika využití solárních systémů pro vytápění 71
Skácel Dalibor

Projekt SDHtake-off a jeho výstupy 79
Borovský David

Modely alternativních zdrojů energie využívané při výuce 83
Kohout Ladislav

Solární hybridní fotovoltaicko-tepelné kolektory – přehled 89
Buchta Luboš

Porovnání výkonnosti integrovaných zásobníků tepla pro přípravu TV 95
Broum Michal

Sezónní horizontální zásobník tepla v podloží budov 113
Kramoliš Petr, Kopecký Pavel

Realizace 100% pokrytí potřeby tepla z OZE v soustavě centralizovaného zásobování teplem v Marstalu 119
Borovský David, Caletková Jana

Solární systém s dlouhodobou akumulací tepla ve Slatiňanech – analýza provozu 125
Kny Martin, Urban Miroslav

Využití OZE pro výrobu elektřiny a tepla a vliv na distribuční sítě 135
Vybíralík František

Pasivní chlazení administrativní budovy 141
Lain Miloš

Vliv vstupních klimatických dat na výsledky energetické simulace zemního výměníku tepla 149
Kolbábek Antonín, Jaroš Michal

Sorpční chladicí jednotky pro využití solárního tepla 159
Begeni Radek

Účast týmu ČVUT v soutěži Solar Decathlon 2013 163
Bureš Michal

Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT 171
Lupíšek Antonín, Matuška Tomáš

Energetická náročnost přípravy teplé vody a systémy zpětného získávání tepla 179
Kabrhel Michal

Pasivní domy Koberovy - měření spotřeb energií 185
Zikán Zdeněk

Úspory energie v rodinném domě instalací OZE 195
Kalina Jiří

Reálné náklady na vytápění dřevními peletami 201
Lyčka Zdeněk

Mezinárodní obchod s peletami - současnost a výhled do roku 2020 207
Stupavský Vladimír

Pelety, ekopaliva a kotle na biomasu v České republice 211
Řebíček Marek, Stupavský Vladimír

Dimenzování a volba tepelného čerpadla podle roční energetické bilance a optimálního proběhu 217
Helebrant Václav

Vytápění velkoprostorových objektů sálavými panely a tepelnými čerpadly 223
Hojer Ondřej, Krainer Robert

Stokový výměník a jeho využití pro tepelná čerpadla 229
Horák Petr, Počinková Marcela, Bartoník Adam

Praktická realizácia plynového tepelného čerpadla a jeho ekonomika 235
Izakovič Emil

Tepelná čerpadla s CO_2 pro ohřev vody 241
Šimek Petr

Solární kolektory a tepelná čerpadla na bytových domech 247
Matiovská Milada

Nejčastější chyby v oblasti návrhů a montáží soustav se solárními termickými kolektory 253
Bezouška Marek

Praktické poznatky z provozu velkých solárních soustav a jejich monitoringů 259
Němec Stanislav

Solární fototermální systémy s tepelnou transformací 271
Skácel Dalibor

Termické kolektory a tepelná čerpadlá, konkurencia alebo kooperácia? 283
Novák Milan

Simulační analýza solární soustavy kombinované s tepelným čerpadlem v běžné výstavbě 289
Šourek Bořivoj, Matuška Tomáš

Varisol HP – nová generace vakuových kolektorů 299
Frolík Václav

OZE – URČUJÍCÍ PRVEK TRANSFORMACE ENERGETIKY

Ivan Beneš

AF CITYPLAN spol. s r.o.
ivan.benes@afconsult.com

ANOTACE

Naše západní společnost je v krizi. Čím dál více je zjevné, že nejde pouze o krizi hospodářskou, ale vážnější krizi – krizi společenskou. Za poválečný vysoký (stále ještě) blahobyt vděčí západní civilizace fosilním palivům a bipolárnímu světu. Bipolární svět skončil rozpadem Sovětského svazu a svět fosilních paliv je pouhou epizodou na časové ose lidstva. Z pohledu dvou generací dnes nedokážeme předpovědět, v čem budou žít naše děti a vnoučata. Nepochybně bude třeba pro zachování základních hodnot západní civilizace (demokracie, životní úroveň) transformovat nejen energetické a dopravní systémy, ale i způsob života. Na tuto transformaci máme kratší čas, než trval rozvoj západní společnosti od počátku průmyslové revoluce, protože energetická návratnost zbývajících fosilních zdrojů se neustále snižuje.

ÚVOD

Dnes je už téměř všem zřejmé, že zdroje pro zachování existence naší západní společnosti jsou omezené a tím s rostoucí spotřebou stále vzácnější. Chceme-li alokovat omezené zdroje efektivně, je nutné pochopit jejich vzájemné závislosti. Z hlediska zajištění základních životních potřeb se jedná o zdroje vody, energie a potravin.

Větší produkce potravin vyžaduje více vody a energie, mnoho energetických transformací potřebuje vodu, voda je potřebná pro chlazení elektráren, rafinaci ropy i výrobu biopaliv, biopaliva soupeří o půdu s výrobou potravin. Pro čerpání, úpravu a distribuci vody potřebujeme energii.

Chybné zacházení s vodou může mít škodlivý vliv na zásobování energií a zemědělskou výrobu, a naopak. Globální oteplování, rostoucí urbanizace a rostoucí spotřeba vody, energie a potravin bude i nadále narušovat náš, již tak křehký, ekosystém. Voda poskytuje důležité ekosystémové služby. Voda slouží jako nenahraditelných vstup pro růst všech druhů biomasy, která podporuje regulaci klimatu, sekvestraci uhlíku a další důležité ekosystémové služby.

NEJISTÁ DEKÁDA

Čeká nás velmi nejistá dekáda. Dění ve světě nabírá na akceleraci, připomíná vlak, jenž zrychluje, aniž by strojvůdce měl jistotu, že koleje vedou do žádoucí stanice, že trať za určitou dobu nepřestane existovat, nebo že se náhle na trati neobjeví nečekaná překážka. Každý, komu došel v nádrži benzín, poznal na vlastní kůži, jak se ze snadno ovladatelné tuny oceli a plastu stane nemohoucí předmět, který se jen velmi obtížně dotlačí k nejbližší benzínové pumpě. Průmyslově vyspělá civilizace vděčí za svůj relativní blahobyt 250 rokům dostupné a levné fosilní energii. Přitom slovo levné je neméně důležité, jako slovo dostupné.

Akceleraci světové nestability dokládá porovnání zpráv o vývoji globálních rizik, které každoročně publikuje The World Economic Forum, nezávislá mezinárodní organizace, jejímž cílem je zlepšit stav světa zapojením obchodních, politických, akademických a další představitelů společnosti, se záměrem ovlivňovat tvorbu globálních, regionálních a průmyslových agend. Výsledky jsou rovněž uváděny v grafickém znázornění usnadňujícím

pochopení nejen závažnost rizik současného světa, ale i jejich vzájemných vazeb a souvislostí.

Jednotlivé nežádoucí události spolu samozřejmě více či méně souvisí, jak z hlediska příčiny a následků, tak mohou mít i zesilující efekt. Pak se může původně izolovaná událost rozvinout vlivem vějířového šíření a dominového efektu do události s katastrofickými následky. Obdobně jako v oblasti přírodních katastrof, kdy zemětřesení může vyvolat tsunami s následnými devastujícími dopady na životy, majetky a přírodu, tak i nahromaděná síla korupčního jednání, uvolněná tragickou sebevraždou člověka v bezvýchodné situaci, může smést jeden vládní režim za druhým, jak jsme byli svědky v Severní Africe.

Tak jako z nepřehledné hvězdné oblohy můžeme zvýraznit jednotlivá souhvězdí, tak i z tohoto souboru rizik můžeme zvýraznit jednotlivá rizika. Je možné sledovat 3 shluky - klastry – vzájemně souvisejících událostí, které v konečném důsledku dopadají na jednotlivé občany, často prostřednictvím selhání (kritické) infrastruktury, jejímž úkolem je naopak náš život usnadňovat a uspokojovat naše potřeby. Můžeme tak pozorovat 3 klastry rizik významné pro naši budoucnost [1]:

- **Klastr ekonomické nerovnováhy** je vzájemné působení fiskální krize, kolapsu akciových trhů, globální nerovnováhou a volatilitou měn.
- **Klastr nelegální ekonomiky** je tvořen korupcí, nelegálním obchodem, organizovaným zločinem a slábnoucím státem.
- **Klastr voda, potraviny, energie** tvoří klimatická změna, vodní bezpečnost, potravinová bezpečnost, energetická bezpečnost a volatilita cen.

Rizika ekonomické nerovnováhy a nelegální ekonomiky nemusí hned vyvolat sociální bouře. Pokud však dojde k tomu, že značná část obyvatel bude mít potíže zajistit si základní potraviny, vodu a energii, stanou se sociální bouře jistotou. Důvod je zřejmý: dokud může člověk uspokojovat své fyziologické potřeby a má do značné míry pocit bezpečí (že stát alespoň v základním rámci své odpovědnosti funguje), je ochoten se smířit i s tím, že nedosahuje vlastní úplné seberealizace.

Letošní ekonomické fórum v Davosu (setkání mocných, které promění každý rok v lednu švýcarský Davos v nedobytnou pevnost) vynikalo do značné míry bezradností. Před jeho konáním vydala organizace World Economic Forum svou již po sedmé svou zprávu o stavu světa *Global Risks 2012* [2]. Obava o budoucnost a pochybnosti o schopnosti naší civilizace zvládnout chod příštího vývoje zesílily. Nehovoří se o jednotlivých rizicích, ale rizika se shlukují do jakýchsi soustav s gravitačními poli a vazbami. Opět se zdůrazňují 3 nejvýznamnější shluky:

- **Dystopie** (opak utopie) tj. vývoj špatným směrem. Je charakterizován světem mladých nezaměstnaných, velkým počtem důchodců a silně zadluženou vládou. Provází ho zhroucení ekonomiky a demontáž sociálního státu s hrozbou nacionalismu a populismu.
- **Ztráta bezpečí –** vyplývá ze skutečnosti, že stále složitější a vzájemně závislejší svět je méně bezpečný. Nové technologie, finanční závislosti, vyčerpání zdrojů a klimatická změna odhalují křehkost opatření zajišťujících bezpečí (politika, normy, regulace, instituce). Naše systémy nebudou schopny zajistit životně důležité zdroje, chod trhů a ochranu obyvatel.
- **Odvrácená strana konektivity -** kriminalita, terorismus a války v reálném světě se mohou rozšířit do virtuálního světa kybernetického prostoru (např. když vir Stuxnet pronikl do nukleárních zařízení Íránu s cílem zbrzdit jeho jaderný program).

Základní smlouva mezi státem a občanem (což je hlavní důvod, proč stát existuje) spočívá v tom, že primárním úkolem státu je postarat se o občana v dobách, kdy on sám není schopen zajistit si základní životní potřeby a oplátkou za to občan státu odevzdává (odevzdával) daně. Zátěžové testy proto potřebují ani ne tak naše jaderné elektrárny jako naše západní civilizace. Většina témat a diskusí politických stran jsou z pohledu hrozících rizik diskusemi o přesouvání křesel na palubě Titaniku a nikoliv pozorováním blížícího se ledovce. Krize ignorance, pokud ji nevyřešíme, bude následována energetickou, vodní a potravinovou krizí, což zákonitě vyústí v civilizační střety.

Podobně jako World Economic Forum vidí problém současného světa i pojišťovny a zajišťovny. Například ve zprávě londýnské LLOYD'S *Climate chase and security: risks and opportunities for business* můžeme nalézt předpovědi, kde se očekávají ožehavé oblasti postižené nedostatkem vody, poklesem produkce potravin v důsledku klimatické změny, zvýšenou intenzitou meteorologicko-hyrologických pohrom a z těchto příčin narůstající migrace obyvatelstva [3]. Právě Evropa, která se zdá z hlediska dopadu klimatické změny relativně bezpečným kontinentem, může být masovou migrací z jihu (Afrika) a z východu (Asie) nemile překvapena.

Generální štáby velmocí zvyšují pozornost vůči dopadům plynoucím z docházejících fosilních zdrojů a klimatických změn. Studie United States Joint Forces Command The Joint Operating Environment z roku 2010 uvádí, že lze očekávat v první třetině 21. století nepokoje a konflikty o zdroje energie, vody a potravin [4]. V roce 2030 bude, zejména vlivem rostoucí populace a ekonomiky třetího světa, spotřeba energie o 50 % vyšší, než v roce 2010. Poptávka po ropě se zvýší z 86 na 118 milionů barelů denně, přitom bude velmi obtížné, aby rostoucí poptávku pokryly nekonvenční zdroje ropy a nová naleziště. Očekáváme, že příštích 25 let bude těžiště pokrytí poptávky spočívat na fosilních zdrojích, ale nové objevy nalezišť za posledních 20 let poskytují jen málo optimizmu, že toho budou schopny. Současný růst investic může plató ropného vrcholu prodloužit, ale v roce 2030 se patrně bez masivního přílivu nových investic nedostane těžba na hodnotu vyšší, než 100 milionů barelů denně. Rezervní kapacita pro pokrytí výkyvů trhu může zcela zmizet a v roce 2015 může chybět až 10 milionů barelů denně. Nejcitlivějším místem ropné bezpečnosti jsou úžiny a průplavy, jimiž se exportuje ropa z producentských zemí. Jedná se o:

- Hormuzský průliv mezi Ománským zálivem a Perským zálivem. Jde o jedinou námořní cestu ropy ze zemí Perského zálivu do otevřeného oceánu – asi 15 tankerů denně. Přepravované množství představuje 20 % ropy na světovém trhu a 40 % světové přepravy ropy po moři. Hormuzský průliv je proto strategicky nedůležitější oblastí světa.
- Úžina Malacca (805 km) mezi Malajským poloostrovem a indonéským ostrovem Sumatra.
- Suezský průplav a ropovod Sumed vedoucí z terminálu Ain Sukhna v Rudém moři do středomořského terminálu Sidi Kerir, jenž představuje alternativní dopravu ropy vůči Suezskému průplavu.
- Úžina Bab al-Mandab mezi Jemenem na Arabském poloostrově a Rudým mořem, Eritreou, mezi Džibuti a severním Somálskem v oblasti Afrického rohu (Somálského poloostrova) a Adenským zálivem.
- Turecké úžiny Bospor a Dardanely spojující Marmarské moře s Černým mořem na straně jedné a Egejské moře, resp. Středozemní moře na straně druhé, jsou tradičně považovány za hranici mezi světadíly Evropou a Asií.

- 1768 km dlouhý ropovod Baku-Tbilisi-Ceyhan vedoucí z ropných polí Azeri–Chirag–Guneshli v oblasti Kaspického moře do tureckého přístavu Ceyhan ve Středozemním moři.
- Panamský průplav spojující Atlantský oceán a Tichý oceán.

Je pochopitelné, že tyto zásobovací trasy ropy a jejich kritická místa jsou zakresleny i do vojenských map generálních štábů a jsou součástí vojenských doktrín dotčených států. Podle amerického Unified Command Plan spočívá geografická odpovědnost za ropnou bezpečnost hlavně na velitelství USCENTCOM. Jeho posláním je, spolu s národními a mezinárodními partnery, podporovat spolupráci mezi národy, reagovat na krize, odstrašovat a porazit případné státní i nestátní agresory, podporovat rozvoj, a pokud je to nutné, i rekonstrukci s cílem vytvořit podmínky pro regionální bezpečnost, stabilitu a prosperitu. Toto poslání navazuje na tzv. Carterovu doktrínu z roku 1980, ve které připustil možnost i vojenského zásahu v oblasti. Byla přijata v návaznosti na sovětskou invazi do Afganistanu, ale také jako reakce na ropný šok z roku 1973. Po sovětské invazi do Afganistanu vznikly ve Spojených státech obavy, že se SSSR pokusí vytvořit novou sféru vlivu na území Perského zálivu. Při jejím zdůvodňování prezident Jimmy Carter prohlásil: *„Nechť je naše pozice absolutně jasná: pokus každé vnější síly získat kontrolu nad oblastí Perského zálivu bude chápán jako útok na životní zájmy Spojených států amerických, a takovýto útok bude odražen všemi nutnými prostředky, včetně vojenské síly.“* Střední východ byl prohlášen za oblast životních zájmů USA. Energie začala být chápána jako „životodárná krev americké bezpečnosti a blahobytu“. Tento koncept se stal základem politiky USA v oblasti Perského zálivu. Lze konstatovat, že chápání energie jako nezbytnosti pro bezpečnost a blahobyt občanů platí pro všechny státy bez rozdílu.

Podobné obavy z dopadů Peak Oil a jeho dopadu na německé hospodářství a bezpečnost sdílí rovněž německý Think-tank Zentrum für Transformation der Bundeswehr [5]. Vzhledem k naší hospodářské závislosti na Německu by tato studie neměla uniknout pozornosti našich politiků.

ROPA A VOJENSKÁ MOC

Ropa byla a zůstává jedním z rozhodujících faktorů mezinárodních vztahů. První světová válka tak proměnila ropu ve strategickou surovinu a změnila její hlavní užitek pro osvětlování na pohonnou hmotu. Ve válkách 20. a 21. století nerozhodují ani tak zbraně jako dostupnost pohonných hmot. Nedostatek nafty měl v 1. světové válce pro německá a rakousko-uherská vojska katastrofální následky. Na frontách se zastavily tanky a motorová vozidla, lodě nemohly opustit přístavy, i průmysl v zázemí trpěl nedostatkem energie a mazadel. Z průběhu války vyplynul ještě jeden důležitý poznatek, že daleko lepší obchody s ropou lze dělat v krizových dobách než v období míru.

Po porážce Němců zůstala obrovská naleziště na Blízkém a Středním východě v rukách Angličanů. Z iniciativy Herberta Hoovera (pozdějšího amerického prezidenta) se v roce 1921 pod heslem národní bezpečnosti podařilo založit syndikát největších amerických ropných společností, jehož hlavním cílem bylo zlomit panství Velké Británie tímto ropným bohatstvím.

Dostupnost ropy sehrála důležitou roli i ve 2. světové válce. Po obsazení Rumunska v roce 1941 se zdálo, že Německo má ropu pro bleskovou válku zajištěnou. Díku anglickému odporu však německému průmyslu, který pracoval na plné obrátky, začaly chybět pohonné hmoty a mazadla. Proto se Hitler začal zajímat o ruská ropná pole na Kavkazu, ale Stalin německé návrhy na společnou těžbu na Kavkaze odmítl. Existuje domněnka, že právě Stalinovo odmítnutí bylo jedním z důvodu k napadení Sovětského svazu. Po napadení SSSR v roce

1941 obsadily Canarisovy výsadkové jednotky Maikop v Krasnodarském kraji v podhůří Kavkazu. V bojích s Rudou armádou však byla těžební zařízení natolik poškozena, že nedošlo k obnovení těžby. Ani snaha Hitlera získat Blízký a Střední východ nedopadla lépe. Rommelova armáda sice úspěšně bojovala v Severní Africe, odkud se měla přes Írán a Irák probojovat na východ a spojit se s jednotkami na Kavkazu, ale tyto plány ztroskotaly v bitvě u El Alamainu. Německému velení zde šlo o mnoho, protože rafinerie v Abadanu dodávala značnou část leteckého benzinu pro RAF.

Ve stejné situaci, ne-li dokonce horší, bylo také Japonsko. Na ostrovech téměř žádná ropa nebyla, samo Japonsko nedisponovalo žádnými většími ropnými koncesemi a až do vypuknutí války bylo odkázáno na dodávky od cizích koncernů z Dálného východu a z USA. Anglie a Holandsko zastavily dodávky ihned po vypuknutí války v Evropě, USA až v prosinci 1941 po napadení Pearl Harbor. Japonská armáda byla sice ve svém vojenském postupu dlouho úspěšná, ale Angličani i Holanďané dokázali svá výrobní zařízení před obsazením zničit. Také zde musela být většina potřebného benzinu vyráběna synteticky. Ani v této oblasti nelze Japoncům upřít vynalézavost. Benzín vyráběli ze všeho možného, dokonce i z borovicových kořenů. Mít či nemít ropu znamenalo vyhrát nebo prohrát světovou válku v Evropě i v Tichém oceánu [6].

V dobách Rockefellera znamenala kontrola nad trhem s ropou jen obrovskou ekonomickou moc. V době obou světových válek se stala ropa hlavním zdrojem energie, a z toho plynula a dosud plyne i její obrovská vojenská moc.

DŮSLEDEK KONEČNOSTI ZDROJŮ – ROPNÝ ZLOM

Pojmem „ropný zlom“ se rozumí bod v čase, kdy (globální) produkce ropy dosáhne svého maxima. Po tomto bodu bude objem vytěžené a prodané ropy v dlouhodobém trendu jen klesat. Odhadování data ropného zlomu není snadné, protože vyvážející země poskytují zkreslující údaje. Jedna věc je ale jistá – ropa je konečný zdroj a pro jeho produkční funkci existuje maximum. Přesný čas není tak podstatný, důležité je být si toho vědomi a připravit zemi na očekávatelné dopady. Nejhorší možný budoucí scénář je ten, kdy nedostatek ropy způsobí takové odchylky od normálního hospodářského vývoje, že je systém nebude schopen absorbovat a dojde k jeho selhání.

Ropa je energetickým zdrojem číslo jedna a svět se nachází v období ropného zlomu. Vážné ochromení ekonomiky je s určitým zpožděním po ropném zlomu téměř jisté, protože od začátku industriální revoluce vyžadoval hospodářský růst zvyšující se spotřebu fosilních paliv. Toto spřažení (růst HDP – růst spotřeby fosilních paliv) se doposud nepodařilo rozvázat, ač se o tom začalo hovořit ve spojení se snižováním emisí skleníkových plynů. Rok 2008 byl výjimečný a ukázal plný rozsah možných škod z nedostatečné nabídky. Začal s cenou ropy 90 $/barel a v půli roku se cena zlomila za vrcholem 150 $/barel. Ekonomika se zároveň stahovala, klesala průmyslová výroba a exporty, rostla nezaměstnanost. Dopravní průmysl se ocitl v životním ohrožení. Z roku 2008 si lze odnést dvě poučení: ceny se opravdu mohou vyhoupnout do nečekaných výšin a velmi vysoké ceny působí v krátkém období závažné škody na hospodářství.

Od ropných šoků 70. let minulého století uplynulo 40 let. Na základě této zkušenosti jsme se naučili hodně. Pokud cena ropy prudce stoupá nahoru, projeví se krátkodobý dopad snížením spotřeby jiného zboží, protože spotřeba ropy se neupraví tak rychle jako spotřeba jiného zboží. Flexibilita poptávky po ropě je nízká. V dlouhodobém intervalu však lidé mohou reagovat a spotřebu ropy (energie) snížit. Koupit si auto s nižší spotřebou, zateplit dům, více využívat veřejnou dopravu … Dlouhodobý dopad vysoké ceny energie je tak mnohem méně

negativní. Čím je život rodiny, ekonomiky státu, energeticky méně náročný, tím méně je zranitelný vůči kolísání její ceny. Každým úsporám musí předcházet investice.

V poslední době se objevuje snaha o rozvázání závislosti ekonomického růstu na spotřebě energie. Po tomto volají stratégové korporací, občanská hnutí obávající se změny klimatu i politické reprezentace hájící bezpečnost státu. Přímou závislost hospodářské prosperity na objemu užívané energie se ale dosud rozdělit nepodařilo. Současný bankovní systém s tvorbou peněz založenou na dluzích nemůže fungovat, pokud bude v budoucnu k dostání méně energie, která jediná může přinést hospodářský růst nebo inflaci – prostředky na splacení dluhů. Bez dalšího půjčování se nabídka peněz zmenší a pro podniky bude postupně těžší obchodovat a platit zaměstnance. V situaci dneška, kdy vyprchává efekt vládních stimulů (na Západě) a hrozí pohyb po klesající spirále tenčících se výnosů a neochotě půjčovat, vyvstává otázka tzv. pasti na likviditu – do čeho investovat s jistotou návratnosti?

Jelikož moderní ekonomiky silně závisí na dostupnosti fosilních zdrojů, zejména ropy, znamenal by ropný zlom v případě neúplného či nedostatečného přechodu na post-fosilní ekonomiku značné omezení přepravních systémů, přerušení ekonomických struktur a v důsledku toho také úpadek důvěry ve státní instituce.

Protože se dosud nenašla dostatečná alternativa v podobě obnovitelného zdroje pro osobní motorizovanou dopravu, zapříčiní nejspíše ropný zlom a růst cen paliv její velké omezení. To přinese okamžité dopady na způsob života v moderních průmyslových společnostech. Pokud budou dopady velké, zasáhnou nejen dojíždějící z předměstí a satelitních sídel, ale celý automobilový průmysl a další oblasti ekonomiky, od stavebnictví po turismus. Krize mobility se tak může stát dalším rozměrem ekonomické krize. Přeprava zboží představuje díky dnešní globální dělbě práce komplexní systém závislý na ropě, který není vůbec lehké přestavět. Omezení přepravy se týká všech druhů zboží včetně životně důležitých produktů. Mezi ně patří zejména potraviny, na jejichž produkci může mít ropný zlom znatelné dopady. Ty se budou od potravinových krizí v historii lišit tím, že (1) budou mít dopad na veškeré potraviny obchodované na velké vzdálenosti, (2) hektarové výnosy zemědělství používajícího hnojiva, pesticidy a stroje se kvůli nedostatku ropy sníží, (3) nárůst cen bude mít dlouhodobý charakter, nebude výsledkem jedné neúrody, (4) konkurence plodin pro pěstování biopaliv na zemědělské půdě prohloubí nedostatek potravin. Pravděpodobnost vážných krizí s důsledky pro bezpečnostní politiku se bude zvyšovat tam, kde je úroveň potravinové bezpečnosti již teď nízká a bude se dále zhoršovat s nedostatkem vody.

V podmínkách ropného zlomu může docházet i k další výstavbě jaderných elektráren, spojené s proliferací jaderných materiálů a technologií. Množství "jaderných" států může vzrůstat a může se zvětšovat i riziko radiačních havárií a teroristického zneužívání štěpných materiálů. Nebezpečné jsou přitom především technologie obohacování uranu.

Ropa je přímo či nepřímo potřebná pro více než 90% současné produkce zboží a služeb a dopady ropného zlomu tak nastanou napříč všemi sektory ekonomiky. Posun v cenách změní spotřebu, výrobu i zahraniční obchod. Možnosti přizpůsobení výroby jsou dané substitučními možnostmi alternativ k ropě v jednotlivých článcích výroby. Například v automobilovém průmyslu by se podmínky pro výrobu, prodej a provoz změnily natolik, že by celý sektor musel podstoupit fundamentální přeměnu. Při přechodu na post-fosilní ekonomiku se mohou objevit nové sektory, pracovní příležitosti a trhy. Toto ekonomické obrození se ale může projevit nejdříve jako strukturální nezaměstnanost spojená s poklesem ceny lidského kapitálu a podle toho se také projevit v ekonomice.

Ropný zlom začne působit na všechny najednou, bez předchozí znalosti „Best Practice“. Státy se navíc budou lišit ve struktuře své ekonomiky, v dosavadním úsilí vytvořit post-fosilní a

efektivní energetiku, v ekonomicko-politických prioritách, v institucionálních kapacitách a formě vlády.

V situaci, kdy se obyvatelstvu sníží životní úroveň v důsledku omezené osobní mobility a nezaměstnanosti, může dojít k dvojímu negativnímu vývoji. Historické případové studie ukazují, že jen trvalé zvyšování individuálních životních podmínek poskytuje základ pro otevřenou a tolerantní společnost. Na druhé straně, ale také může být otřesena důvěra lidí ve státní instituce a politiku. Empirické studie pro země OECD také dokazují, že snižování ekonomického růstu může vést ke zvyšování počtu politických hlasů pro extrémistické a nacionalistické strany. To zejména ve společnostech, kde je důvěra v politiku už nyní nízká a v krizových regionech, kde začíná být zřejmé, že vlády nejsou schopny vyvinout patřičná řešení a poskytnout vedení společnosti v průběhu transformace.

Základní problém při odvozování bezpečnostní hrozby představované ropným zlomem je systémová povaha rizika vzácnosti surovin a jejich vysokých cen v komplexním ekonomickém systému. Ropný zlom může mít na světovou ekonomiku dramatické dopady. Díky provázanosti ekonomických struktur se cenové šoky mohou přenášet různými cestami a vlivem vzájemných závislostí se proto konkrétní důsledky špatně odhadují. Zpočátku bude možné působení ropného zlomu měřit jako pokles světového ekonomického růstu. Tento pokles může dosáhnout až bodu zvratu (bifurkačního bodu). Nejprve by se totiž mohlo zdát přirozené, že nižší produkce ropy se odrazí ve stejně sníženém ekonomickém růstu. Během této doby se budou vyvíjet technologie pro nahrazení ropy. Nicméně, ekonomiky se pohybují v rámci nějakého pásma stability, v rámci něhož jsou sice různé odchylky a šoky možné, ale funkční principy zůstávají zachovány. Mimo toto pásmo však systém reaguje chaoticky. Dosažení hranice tohoto pásma je bodem zvratu. Z ekonomického pohledu může znamenat takové zpomalení růstu, při kterém dojde k destabilizaci systému. Toto představuje nejhorší scénář. Možné budoucí scénáře adaptace společnosti na kombinaci působení ropného zlomu a dopadů klimatické změny se pokouší v zajímavé publikaci popsat Australan David Holgreen. Jeho scénáře mají název: Brown Tech (pomalý pokles těžby ropy a rychlá klimatická změna), Green Tech (pomalý pokles těžby ropy a pomalá klimatická změna), Earth Steward (rychlý pokles těžby ropy a pomalá klimatická změna), Lifeboats (rychlý pokles těžby ropy a rychlá klimatická změna) [7].

NĚMECKÁ A ČESKÁ ENERGETICKÁ POLITIKA

Každý stát má právo analyzovat trendy a podle nich utvářet svou politiku, včetně energetické. Rovněž každý podnikatel promítá svou analýzu trendů v energetice do svých podnikatelských záměrů.

Německá energetická politika je důsledkem geopolitických faktů. Za posledních 12 let došlo ke třem významným rozhodnutím. V roce 2000 bylo dosaženo dohody s provozovateli jaderných elektráren o odstoupení Německa od jaderné energetiky. 8. září 2005 podepsaly Gazprom, BASF a E.ON základní dohodu o vybudování plynovodu Nord Stream. 30. října 2009 byla založena technologická platforma DESERTEC (v současnosti 55 firem a institucí) s cílem propojit evropské elektroenergetické sítě se severní Afrikou a Blízkým Východem s cílem využít obrovský potenciál slunečního záření v těchto oblastech.

Německá vláda předpokládá, že německé podniky budou páteří nového vývoje post-fosilní energetiky založené na třech hlavních směrech:

1) zabránit plýtvání energií (zvyšování energetické účinnosti);

2) podporovat decentralizovanou výrobu energie, kde je to rozumné a možné;

3) podporovat centralizovanou výrobu elektřiny z OZE v místech s bohatými přírodními zdroji (sluneční, větrná a vodní energie) a nabízí tak nejvhodnější podmínky.

Díky vyspělému vědecko-technickému potenciálu se SRN v minulosti pokusila sehrát aktivní roli ve všech oblastech jaderných technologií. Tehdejší Západní Německo bylo vysoce úspěšné při vývoji jaderných technologií a úspěšně vyvinulo demonstrační reaktorové typy PHWR, HWGCR, HTGR a LMFBR. V průmyslovém měřítku vybudovalo elektrárny typu PWR ve spolupráci firem Siemens a Westinghouse i typu BWR ve spolupráci firem AEG a GE, a to včetně výroby i těch nejnáročnějších komponent. Pokusilo se proniknout i nepřímo antiproliferačními bariérami dodávkou zařízení pro izotopické obohacování pro JAR a těžkovodního reaktoru na výrobu zbrojního plutonia MZFR pro Brazílii.

Z celého tohoto náročného a úspěšně zvládnutého programu nakonec pod enormním zahraničně-politickým tlakem, umocněným i prohrou ve Druhé světové válce, zbyly pouze tlakovodní elektrárny PWR, a to ještě jen v zahraniční licenci. Takovéto - německému vědeckotechnickému potenciálu a náročnosti na ekonomickou produktivitu - nedůstojné podmínky se nemohly neodrazit v celkovém poměru k jaderné energetice, která musela ustoupit a dát přednost energetickému využití zemního plynu a obnovitelných zdrojů, lépe odpovídajícímu charakteru vyspělé německé společnosti.

Současná německá energetická politika má geopolitickou a mírovou logiku. Nezakládá pro spor nebo konflikt ani s USA, ani s Čínou, ani s lídry EU ani s Ruskem. Je přitažlivá pro města a rozvojový svět. Problematikou ropného zlomu a jeho dopadu na německou společnost se věnuje i zpráva Centra pro transformaci Bundeswehru („Peak Oil - Sicherheitspolitische Implikationen knapper Ressourcen“). Zabývá se bezpečnostními důsledky omezených zdrojů a nastiňuje doporučení (i v oblasti energetické politiky včetně mezinárodních vztahů) pro německé politiky vedoucí k zachování síly a postavení Německa ve světě. Protože ekonomika ČR je hospodářsky vázána na Německo, je vhodné zmínit některé zásadní myšlenky. Dopady ropného zlomu na bezpečnost budou eskalovat v letech 2025 – 2040. Ropa bude určující silou měnící mezinárodní vztahy. Nedostatek základního zboží a služeb by přivodil kolaps tržně orientovaného německého hospodářství. Ekonomický krach kdekoliv ve světě by zasáhl i SRN pro její úzkou integraci na globální ekonomiku (a tedy i ČR). Zásadní význam mají energetické vazby na Rusko, jeho stabilní a privilegované dodávky ropy a plynu. V časovém rámci do roku 2040 může kombinace růstu světové populace, docházejících zdrojů a klimatické změny vést k diskontinuitě světového vývoje. Zpráva varuje před regionálním nedostatkem, zhroucením trhů a přeskupením politických sil. Ničení infrastruktury se může stát atraktivním cílem nepřátelských skupin i některých států. Krize mobility by vedla k potravinové krizi pro její závislost na silniční dopravě. Německo, jako země závislá na globalizované ekonomice, je silně ohroženo rizikem její destabilizace. Musí proto silně investovat do zvýšení odolnosti infrastruktury a lokální soběstačnosti.

Německá energetická politika má ekonomickou logiku. Německo rozeznalo nezbytnost využívání obnovitelných zdrojů a jejich postupné nasazování v dlouhém období. Německo se svou expertní znalostí a technologiemi chce být v čele toho vývoje se všemi výhodami pozice lídra, protože ví, že tyto technologie a know-how budou ve světě žádány a dobře zaplaceny.

Německý import ropy je z 97 % z oblastí, které již dosáhly ropného vrcholu. Analýza dovozů a vývozů mobilizuje novou hospodářskou politiku Německa, neboť nedostatek ropy omezí nejen „palivo“ pro německou ekonomiku, ale ohrozí i odbyt konvenčních automobilů, které budou bez dostatku ropy na světovém trhu neprodejné. Podobně může být z hlediska skladby dovozů a vývozů ohrožena i Česká republika. Ta je hospodářsky závislá na Německu a energeticky na Rusku. 27 % importu a 33 % exportu se vztahuje k SRN. Německo je naším

nejvýznamnějším obchodním partnerem, s velkým náskokem před Slovenskem, Polskem, Francií, Velkou Británií a Rakouskem. Energetická závislost ČR na Ruské federaci činí v současnosti 100 % jaderného paliva, 75 % zemního plynu[1] a 70 % ropy.

Česká historie energetického využívání jaderné energie souvisí s těžbou uranu. Již v r. 1871 byla v Jáchymově zřízená Státní továrna na uranová barviva, kterou v r. 1938 převzaly německé firmy. Dne 11. 9. 1945 byl Jáchymov obsazen sovětskou armádou, 24. 10. 1945 byly jáchymovské doly znárodněny a 23. 11. 1945 byla se SSSR podepsána dohoda „o dodávkách radia a jiných radioaktivních prvků". Na jejím základě byla zřízena sovětsko-československá komise, která od r. 1945 až do r. 1990 fakticky řídila aktivity čs. uranového průmyslu. Dohoda se SSSR z r. 1945 zavazovala Československo dodávat uran výhradně do SSSR s výjimkou až 10 % těžby, kterou si v odůvodněných případech mohlo ponechávat pro vlastní potřebu.

Vyvezený uran představoval svým energetickým obsahem dvacetiletou těžbu domácího uhlí z období vrcholu jeho těžby (100 Mt hnědého uhlí a 25 Mt černého uhlí v 80. letech 20. století). Jelikož při této intenzitě těžby uhlí jeho zbývající zásoby měly být vyčerpány během několika desetiletí, představovala jaderná energetika na domácí přírodní uran jednu z nemnoha reálných možností, jak zabránit tomu, aby národní hospodářství ČSSR nemuselo být převedeno na importovaná paliva se všemi tvrdými ekonomickými důsledky z toho vyplývajícími. Volba demonstračního těžkovodního programu na přírodní uran v roce 1956 vycházela z možnosti přímého využívání aspoň 10% domácí těžby pro vlastní energetické účely, které dovolovala dohoda se SSSR z r. 1945. Z toho vycházelo i Usnesení vlády ČSSR z roku 1964, které uložilo ČSUP, aby se připravil na výrobu jaderného paliva pro elektrárnu A-1 a později i pro další jaderné elektrárny. Při rozhodování o charakteru čs. jaderně energetického programu koncem 60. let během spuštění demonstrační těžkovodní elektrárny A-1 se v celém světě již vědělo, že se plynem chlazené těžkovodní reaktory (GCHWR) neosvědčily. Sovětská nabídka výstavby průmyslových tlakovodních elektráren na obohacený uran byla důvěryhodným signálem, že vojenské potřeby uranu již byly i v SSSR saturovány.

Přijmout nabídku průmyslových tlakovodních elektráren na obohacený uran (PWR, v sovětském označení VVER) znamenalo se smířit s tím, že veškeré zbývající uranové zásoby ztratí svůj perspektivní energetický potenciál a jako řadová komerční komodita budou postupně se ztrátou vyvezeny. Druhá možnost - pokračování v těžkovodním programu na přírodní uran – by znamenalo přeorientovat se na kanadský program „Candu", jak to později učinilo Rumunsko. Okupace ČSSR v roce 1968 však tuto variantu vyloučila. V roce 1970 byla se SSSR podepsána nová dohoda o pomoci při výstavbě dvou tlakovodních elektráren sovětského typu VVER s reaktory na sovětský obohacený uran. Z hlediska jaderné energetiky však byla tato čs. volba v tehdejší situaci jediná reálně možná. Implicitně jí byl totiž nadřazen požadavek zabránit šíření jaderných zbraní, vůči němuž těžkovodní reaktory na domácí přírodní uran byly zvláště citlivé a nebezpečné, jak např. demonstrovala Indie získáním plutonia pro svůj pokusný jaderný výbuch. Chybný byl snad pouze spěch, s nímž se sovětské tlakovodní bloky začaly v ČSSR zavádět a kvůli němuž byla první československá průmyslová elektrárna V-1 postavena v celosvětově nevyhovující bezpečností koncepci (neměla kontejnment, ani jeho náhradu).

Pokud se týká jaderné budoucnosti v ČR, je jaderná energetika českými občany (na rozdíl od většiny zemí EU) vnímána výrazně pozitivně. Hlavní bariéry tak spočívají zejména v ekonomické oblasti. Výrobní cena elektřiny z nových JE je zhruba dvakrát vyšší, než

[1] 100 % zemního plynu „reálně" přichází ze Sibiře. Zemní plyn z Norska je jen „virtuálně" obchodovaný.

současná tržní cena, přitom lze očekávat, že se investiční náklady v důsledku zpřísnění požadavků na bezpečnost po Fukušimě ještě zvýší. Navíc veškeré údaje o cenách je třeba brát s rezervou, protože dosud nikde nestojí funkční referenční blok generace 3+. Specifickým problémem pak je riziko, že v průběhu výstavby dojde ke zhroucení světového finančního systému. Investor do jaderné energetiky tedy spekuluje na rostoucí cenu elektřiny a rostoucí poptávku po základním výkonu.

Debaty o zásobách a zdrojích energie jsou mnohdy plné velmi optimistických očekávání. Mnoho lidí se domnívá, že je možné v krátké době plně nahradit fosilní energii alternativní energií, tj. jadernou energií a energií z obnovitelných zdrojů. Tato transformace energetického sektoru však představuje složitý proces, který bude trvat desetiletí.

OZE JAKO ALTERNATIVA VÍTĚZÍ

Tento nadpis může sloužit jako závěr, ke kterému není třeba příliš co dodat. Nechme hovořit čísla. V EU v období 2000 až 2011 činil čistý přírůstek instalovaného výkonu: 116 GW plynových elektráren, 84 GW větrných elektráren, 47 GW slunečních fotovoltaických elektráren, 4 GW velkých vodních elektráren, 3 GW elektráren na biomasu, 2 GW elektráren na využití odpadu a 1 GW slunečních tepelných elektráren (CSP). Ve stejném období ubylo 10 GW uhelných elektráren, 14 GW jaderných elektráren a 14 GW olejových elektráren [8].

Je potěšitelné, že náš soused, na kterého je navázáno naše hospodářství, má ambici být světovým lídrem vývoje a realizace transformace světa na post-fosilní dobu. Snaží se přitom, aby do tohoto vlaku naskočila EU jako celek. Je smutným faktem, že mezi 2 země, které tento vlak nejvíce brzdí, patří vedle Velké Británie i Česká republika.

LITERATURA

[1] WORLD ECONOMIC FORUM: Global Risks 2011, Sixth Edition, An initiative of the Risk Response Network. Geneva, Switzerland, 2011, ISBN: 92-95044-47-9.

[2] WORLD ECONOMIC FORUM: Global Risks 2012, Seventh Edition, An initiative of the Risk Response Network. Geneva, Switzerland, 2012, ISBN: ISBN: 92-95044-35-5.

[3] LLOYD'S: Climate change and security: risks and opportunities for business. The International Institute for Strategic Studies and Lloyd's, 2009.

[4] United States Joint Forces Command: The JOE 2010, The joint operating environment. USJFCOM, Suffolk, VA 23435, 2010.

[5] Zentrum für Transformation der Bundeswehr, Dezernat Zukunftsanalyse: Streitkräfte, Fähigkeiten und Technologien im 21. Jahrhundert Umweltdimensionen von Sicherheit, Teil 1: Peak Oil - Sicherheitspolitische Implikationen knapper Ressourcen. Zentrum für Transformation der Bundeswehr, Strausberg, 2010.

[6] VOLF, V. Ropa, ropa, ropa …Soubor článků z Informačního zpravodaje MERO CR, a.s., MERO, 2001.

[7] HOLMGREN, D. Future Scenarios: How communities can adapt to peak oil and climate change: Mapping the Cultural Implications of Peak Oil and Climate Change. Chelsea Green Publishing Company, White River Junction, Vermont, 2009. ISBN 978 1 900322 50 8.

[8] WIND IN POWER: 2011 European statistics. The European Wind Energy Association, February 2012.

OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE V DOMÁCNOSTECH – STATISTIKA ROKU 2011

Aleš Bufka

Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR
bufka@mpo.cz

ANOTACE

Článek pojednává o vývoji trhu s palivy a technologiemi obnovitelných zdrojů energie určených pro využití v domácnostech. Na základě posledních statistických dat komentuje aktuální vývoj do roku 2011. Zaměřuje se na palivové dřevo, brikety a pelety z biomasy, kotle a kamna na biomasu, tepelná čerpadla a solární kolektory.

ÚVOD

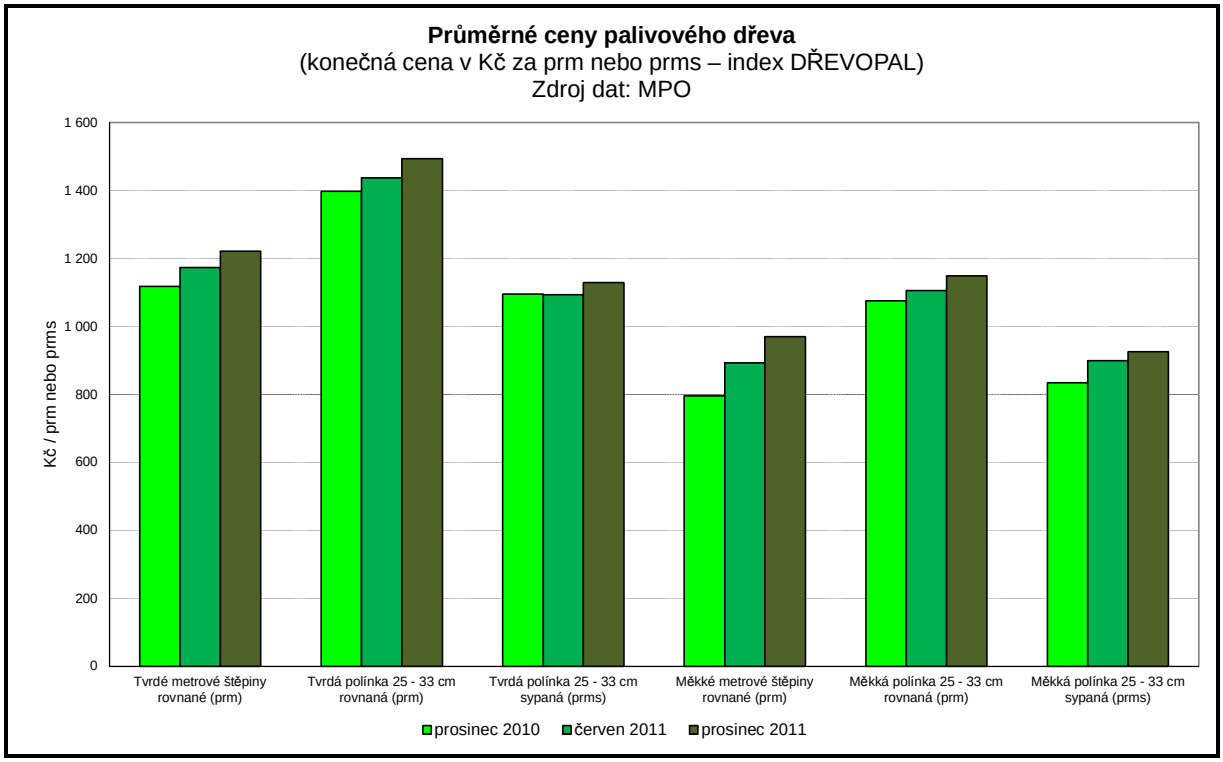
Rozhodujícím obnovitelným zdrojem využívaným v domácnostech je stále palivové dřevo. Záměna uhlí za dřevo, případně za dřevěné brikety a pelety bude hlavním faktorem změny vytápění našich domácností v nejbližších letech. Na druhém místě bude zvýšené využívání krbů a krbových kamen jako doplňkového zdroje vytápění ke stávajícímu kotli na zemní plyn, nebo elektřinu. Teprve s odstupem, i přes rostoucí počet prodejů, budou ostatní technologie (především tepelná čerpadla).

VÝVOJ SPOTŘEBY A CEN PEVNÝCH PALIV PRO DOMÁCNOSTI

Palivové dřevo je rozhodujícím tuhým palivem našeho venkova. Je využíváno jak v kotlích (na dřevoplyn, nebo v klasických kotlích i v kombinaci s uhlím), tak i v malých spalovacích zařízeních, jako jsou krbová kamna a krby. Je jisté, že značná část spotřebitelů má možnost si toto palivo opatřit na venkově samovýrobou, či samosběrem. Jak poroste obliba přitápění dřevem např. v příměstských aglomeracích, budou však uživatelé stále více odkázáni na nákup tohoto paliva od výrobců a distributorů.

Cena palivového dřeva v uplynulých letech dramaticky vzrostla, z 200 Kč v roce 1993 na 1200 Kč za prostorový rovnaný metr metrových tvrdých štěpin v současné době. Cena dále roste, jak je vidět z aktuálního vývoje indexu DŘEVOPAL [1]. Ke konci roku 2011 podle tohoto indexu stál prostorový rovnaný metr metrových tvrdých štěpin 1200 Kč, rovnaný metr měkkých štěpin 970 Kč. Rovnaná tvrdá polínka 1494 Kč, měkká 1149 Kč. Zřetelná je i změna orientace dodavatelských firem z prodeje prostorového metru rovnaného na prostorový metr sypaný. To je nepochybně výrobně i dopravně jednodušší (rozvíjí se používání štípacích a balících automatů), z hlediska odběratele je však v řadě případů obtížnější kontrola dodaného množství. Sypaný metr tvrdých polínek stál ke konci roku 2011 v průměru 1129 Kč, měkké pak 926 Kč. Meziročně se tak ceny těchto sortimentů palivového dřeva zvedly v průměru o 10 %, což není nic mimořádného a rozhodně nelze tvrdit, že se na cenách paliva promítá jeho spoluspalování v elektrárnách. Ceny palivového dřeva jsou regionálně velmi diferencované a na trhu se obchoduje i s takovými cenami polínkového dříví, které se např. uživatelům, kteří dřevo používají jako „levnější“ doplněk k hlavnímu vytápění zemním plynem, prostě nevyplatí. Je nepochybně důležité si vybrat takového dodavatele, u kterého si je uživatel jist kvalitou a množstvím dodaného paliva a míti alespoň základní povědomí, kolik energie a za jakou cenu, ve spojení s účinností krbu a kamen, nakupuje. Výraznější zvýšení předpokládáme pro rok 2012 v souvislosti s úpravou DPH i nadále rostoucí poptávkou. Pro rok 2011 se očekává vykázaná produkce palivového dříví z lesa ve výši přes 3,5 mil.

prostorových metrů, celková spotřeba včetně samovýroby a dřeva z jiných zdrojů je však podstatně vyšší [2].

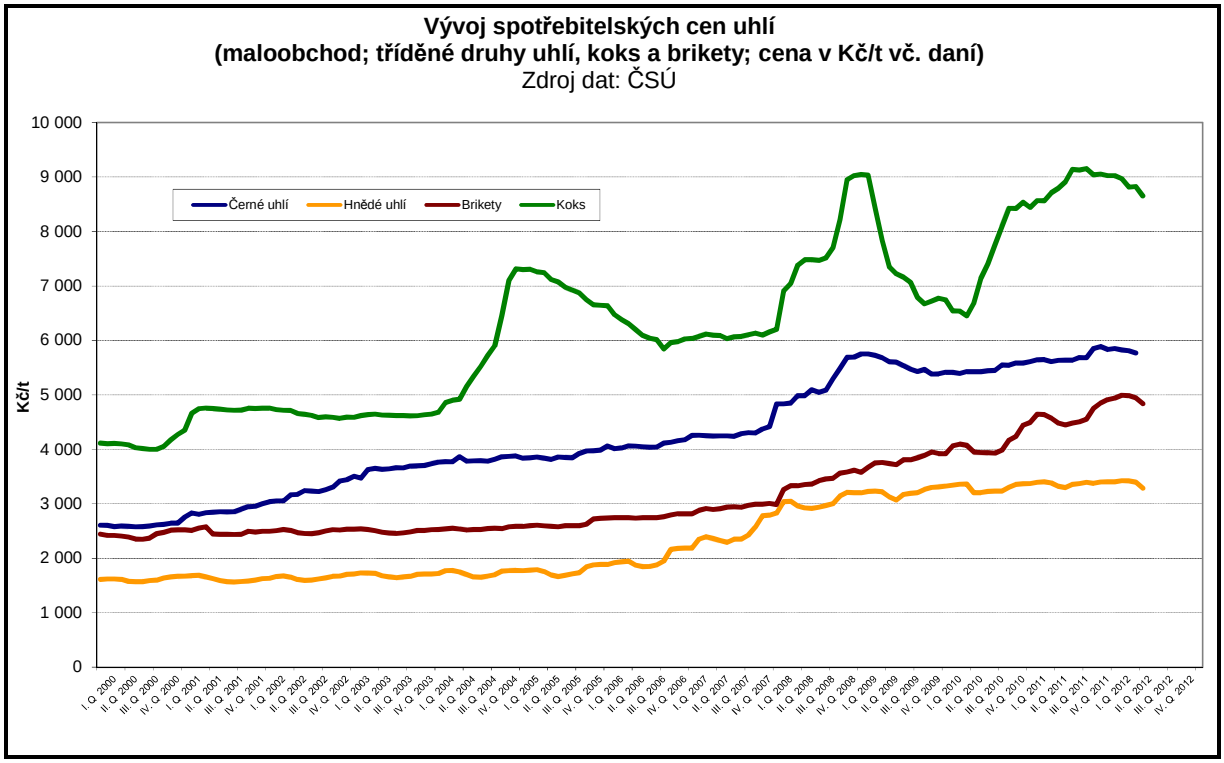


Obr. 1 *Průměrné ceny palivového dřeva podle indexu DŘEVOPAL.*

Na trhu je nabízeno velké množství různých druhů dřevěných briket, ne vždy odpovídá cena a kvalita uživatelskému komfortu, který je od briket očekáván. Pokud se ale podaří nakoupit brikety za přijatelnou cenu (většinou je důležité se předzásobit na jaře a v létě od přímých výrobců nebo dovozců), pak jsou dřevěné brikety s minimální pracností a minimálním znečištěním v okolí topidel vhodným palivem pro kamna a krby umístěné v jinak pečlivě uklizeném obývacím pokoji. To samé platí i o dřevěných peletách. Ceny pelet v České republice odpovídají v zásadě cenám v Německu a Rakousku a z vývoje jejich prodejních cen v těchto zemích lze konstatovat dlouhodobě vyrovnanou úroveň bez větších cenových výkyvů. Pro rok 2011 je předpokládáno, že se v ČR v domácnostech uplatní necelých 100000 tun dřevěných briket a 75000 tun dřevěných pelet. Rostlinné brikety a pelety, rašelinové brikety, papírové brikety, kukuřičná zrna apod. mají zatím v České republice ve spalovacích zařízeních instalovaných v domácnostech jen minimální využití.

Cenu a spotřebu biomasy je potřeba porovnávat především s uhlím. Cena hnědého tříděného uhlí roste jen velmi pomalu (průměr sortimentů 3300 Kč za tunu), což se nepochybně odráží i v jeho spotřebě, která je v domácnostech dle statistiky již několik let vyrovnaná na hodnotě mírně nad 1 milion tun. Černé uhlí je v průměru samozřejmě dražší, a to cca 5800 Kč za tunu, nicméně i zde zůstává spotřeba již několik let vyrovnaná zhruba na úrovni 100 tisíc tun. U obou těchto komodit však musíme počítat s určitou statistickou chybou vzhledem k množství uhlí, které je dováženo z Polska a není vykazováno v celních statistikách. Ceny otopového koksu výrazně oscilují a při ceně necelých 9000 Kč za tunu je v domácnostech již jen okrajovým palivem. V současné době jsou na trhu k dispozici německé hnědouhelné brikety za relativně příznivou cenu (i v porovnání s briketami dřevěnými). Nověji se hnědouhelné brikety objevují jako doporučené palivo v krbových kamnech, které je velmi vhodné na udržení žhavého v kamnech přes noc. I z tohoto důvodu se předpokládá nadále

rostoucí trend spotřeby. V roce 2011 bylo dovezeno přes 160 tisíc tun německých briket a prodejní cena se pohybuje okolo nad 4500 Kč za tunu.



Obr. 2 *Vývoj spotřebitelských cen uhlí.*

VYTÁPĚNÍ V NOVOSTAVBÁCH KOLAUDOVANÝCH V LETECH 2010–2011

Od roku 2010 je k dispozici statistika rozdělení zdrojů vytápění v nově kolaudovaných bytech (stavební statistika ČSÚ). Na základě informací stavebních úřadů jsou tak k dispozici věrohodná data o hlavním a vedlejším vytápění v nově kolaudovaných bytech v rodinných i bytových domech v rozdělení podle paliva či technologie.

Nejdůležitějším ukazatelem je struktura vytápění v nově kolaudovaných rodinných domech. Počet nových bytů v rodinných domech (což prakticky odpovídá počtu domů) poklesl z 19760 v roce 2010 na 17385 v roce 2011. Dominantním zdrojem hlavního vytápění nově postavených rodinných domů je zemní plyn, i když jeho podíl poklesl z 55 % v roce 2010 na 51 % v roce následujícím. Je následován elektřinou, jejíž podíl se naopak mírně zvýšil z 21 % na 24 %. Teprve v odstupu zůstávají ostatní paliva a technologie. Palivové dřevo mělo v roce 2011 podíl 9 %, tepelná čerpadla 8 %, uhlí 6 %. Překvapivě nízký podíl na hlavním zdroji vytápění mají dřevěné pelety a to 1 % při minimálním meziročním růstu. V absolutní hodnotě tak šlo pouze o 327 kotlů na pelety v novostavbách kolaudovaných v letech 2010–2011!

Při analýze vytápění rodinných domů pak hraje velkou roli i informace, jaký podíl má dřevo jako vedlejší zdroj vytápění. V letech 2010–2011 mělo 40 % novostaveb rodinných domů krbová kamna a krby již v době kolaudace, přičemž tento podíl meziročně mírně vzrostl. Je nepochybné, že další kamna a krby si majitelé novostaveb budou dodatečně instalovat později.

Tab. 1 *Počet bytů v rodinných domech kolaudovaných v letech 2010–2011 podle hlavního zdroje vytápění.*

	2010		2011	
Zemní plyn	10 942	55,4%	8 839	50,8%
Elektřina	4 107	20,8%	4 145	23,8%
Dřevo, dřevěné brikety	1 589	8,0%	1 551	8,9%
Tepelné čerpadlo	1 361	6,9%	1 468	8,4%
Uhlí	1 334	6,8%	1 059	6,1%
Dřevěné a rostlinné pelety	160	0,8%	167	1,0%
CZT	39	0,2%	65	0,4%
Nerozlišeno a jiné	196	1,0%	57	0,3%
Solární kolektory	17	0,1%	26	0,1%
Kapalná paliva	15	0,1%	8	0,0%
Celkový součet	**19 760**	**100,0%**	**17 385**	**100,0%**

PRODEJ TEPLOVODNÍCH KOTLŮ, KAMEN A KRBŮ NA TUHÁ PALIVA

V současné době je trendem nahrazování starších teplovodních kotlů na tuhá paliva modernějšími zařízeními, především na dřevoplyn nebo automatickými kotli na pelety a uhlí. Značná část domácností, po zateplení rodinného domu zjišťuje, že stávající zdroj je předimenzovaný a právě z tohoto důvodu je pravděpodobné, že více budou využívat dříve doplňkový zdroj vytápění – krbové vložky a kamna. Komín, zdroj dřeva i zkušenost s jeho zpracováním v těchto případech je k dispozici.

Základní statistiku prodeje teplovodních kotlů o výkonu do 50 kW zpracovává APTT. Tato data, která specifikují prodeje tuzemských výrobců, jsou pro novější období dopočítávána a doplňována především o dovozová zařízení na biomasu. Přesto je třeba počítat, že v kategoriích „ocelové, litinové a automatické na pevná paliva“ je další nezjištěné (značné) množství přímo dováženo především z Polska a Slovenska.

Ze statistik vyplývá, že dodávka kotlů na dřevoplyn na tuzemský trh stabilně rostla až do roku 2008, kdy dosáhla svého maxima na úrovni 7813 kusů. Poté následoval pokles, který byl pravděpodobně vyvážen rostoucím zájmem o peletové kotle. Po propadu na 4365 kusů v roce 2009 následovalo mírné oživení na 4500 kotlů a opětovný pokles na 3898 kusů v roce 2011 nepochybně vyvolaný ukončením podpory z programu Zelená úsporám. Oproti tomu prodeje peletových automatických kotlů rostly až na maximum v roce 2010. V tomto roce se také maximálně projevil dovoz těchto kotlů – oproti 3514 kusům vykázaným APTT činí celková odhadovaná hodnota prodejů (včetně dovozu) 4814 kusů. I v tomto segmentu výrobků je však znát propad v roce 2011, celková odhadovaná dodávka pro tento rok činí 2383 kusů (z toho je však značná část stále z dovozu).

Také celkové prodeje tuzemský ocelových a litinových kotlů na tuhá paliva v roce 2011 poklesly na 26416 kusů oproti roku 2010, kdy se jich prodalo 30517. Zde je však třeba počítat, že do těchto čísel nejsou započítány dovozy, stejně jako v případě automatických kotlů na tuhá paliva (uhlí), kde vykázané prodeje činí pouze 1667 kusů.

Tab. 2 *Vývoj prodejů teplovodních kotlů do 50 kW.*

	Ocelové na tuhá paliva	Litinové na tuhá paliva	Automatické na pevná paliva	Speciální na dřevo	Automatické na biomasu
2007	14 776	16 432	1 298	7 525	830
2008	14 848	17 122	1 532	7 813	1 153
2009	15 911	16 437	1 239	4 365	2 831
2010	16 063	14 454	1 014	4 501	4 814
2011	14 542	11 874	1 667	3 898	2 383

Daleko optimističtější je vývoj v prodejích malých lokálních spalovacích zařízení na pevná paliva pro domácnosti, tedy krbů a kamen. V roce 2010 bylo na tuzemský trh dodáno přes 80 tisíc malých spalovacích zařízení na pevná paliva. Z toho bylo 24 tisíc krbových a kamnových vložek, 50 tisíc krbových kamen, necelých 5 tisíc kuchyňských sporáků a přes 1 tisíc kamen lázeňských. Zhruba 50 % těchto zařízení je z dovozu. Teplovodními výměníky je osazeno 15 až 20 % prodaných topidel. Více jak 40 % novostaveb rodinných domků je již v době kolaudace vybaveno těmito zdroji na vytápění. Stavěných krbových a kamnových topenišť a kuchyňských sporáků bylo v roce instalováno nejméně 1200 [3].

Odhad prodejů v roce 2011 potvrzuje předpoklady o rostoucí poptávce. Dodáno bylo nejméně 95 tisíc malých spalovacích zařízení (vyjma teplovodních kotlů). Tak jako v předchozích letech rostou neustále dovozy a současně rostou prodeje krbových kamen přes sítě „kutilských“ hypermarketů. Celkově bylo za posledních 20 let dodáno okolo 800 tisíc krbových vložek a krbových kamen, z toho bylo 65–75 tisíc teplovodních zařízení.

Tab. 3 *Dodávka spalovacích zařízení na pevná paliva na český trh podle typu v roce 2010.*

Typ	Počet celkem	Z toho teplovodní
Krbové a kamnové vložky na dřevo a brikety	23 892	3 908
Krbové a kamnové vložky na pelety	0	0
Krbová kamna na dřevo a brikety	50 264	6 489
Krbová kamna na pelety	554	538
Kombinovaná krbová kamna na pelety a dřevo	0	0
Kuchyňské sporáky na pevná paliva	4 772	107
Lázeňská kamna	1 178	x
Celkem	**80 660**	**11 042**

Krbová kamna na pelety se na tuzemském trhu objevila ve větší míře až v roce 2009, přičemž teprve rok 2010 je možno považovat ze „startovní“ rok tohoto typu spalovacích zařízení. Nepochybně je to také zapříčiněno programem Zelená úsporám, kde byla stanovena možnost jejich podpory. Lze předpokládat, že do budoucna prodej těchto zařízení dále poroste. O tom také svědčí rostoucí počet dovozních firem. Kombinovaná krbová kamna (vložky) na pelety a dřevo se objevila na trhu prakticky až v roce 2011, statistickým šetřením prakticky zjištěna nebyla. Oproti tomu je překvapující hodnota prodeje kuchyňských sporáků na pevná paliva.

V roce 2010 a 2011 jich bylo prodáno každoročně okolo 5000 kusů. Tuto hodnotu je dále třeba srovnat s počtem kuchyňských sporáků na pevná paliva ve výši 100 tisíc kusů zjištěných k roku 2003 v domácnostech.

Z neúplných informací lze jen obtížně stanovit počet stavěných krbových a kamnových topenišť a kuchyňských sporáků. Podle odhadu bylo v roce 2010 realizováno nejméně 450 stavěných individuálních krbových a kamnových topenišť a 750 stavěných individuálních kachlových sporákových topenišť. Lze předpokládat, že jejich počet v roce 2011 vzrostl.

SOLÁRNÍ TEPELNÁ ENERGIE

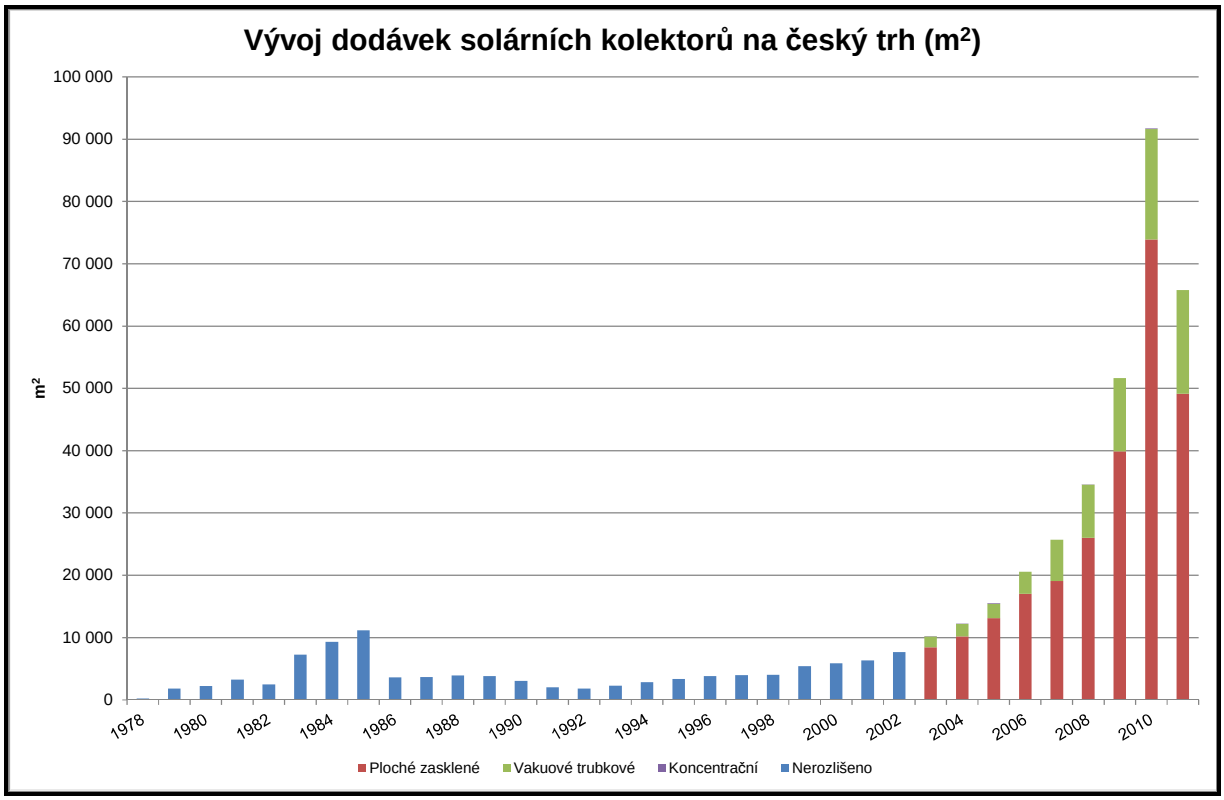
Solární kolektory se v České republice instalují do systémů pro ohřev vody od konce 70. let minulého století. Nejstarší dokumentovaný systém byl spuštěn na počátku roku 1978 v JZD Čechtín a nejstarší dosud provozovaný systém dodnes funguje od roku 1982 v Herbertově na Šumavě. Řada solárních systémů z druhé poloviny 80. let je dodnes stále v provozu v České republice i na Slovensku. Na konci 80. let pak k těmto klasickým kolektorům přibyly textilně-plastové absorbéry. Po roce 1989 vznikly nové výrobní a dovozní firmy. První polovina devadesátých let byla především ve znamení dovozů slovenských kolektorů a množství instalací textilně-plastových absorbérů [4].

V posledních pěti letech rostl významně počet dovozních firem. Od poloviny roku 2007 roste počet obchodních firem dovážejících čínské vakuové trubicové kolektory. Tento trend lze zachytit i v okolních zemích (např. na Slovensku, v Německu, Polsku aj.). Počet dovozních firem postupně rostl, tak jako rostl i samotný dovoz kolektorů a to až do roku 2010. Od druhé poloviny roku 2011 se nové dovozní firmy objevují v celních statistikách spíše výjimečně.

Na prodejích solárních kolektorů se zcela fatálně projevily státní dotace poskytované v letech 2009 až 2011. Již v roce 2009 byl z bývalého „státního programu SFŽP“ podpořen rekordní počet solárních systémů, aby tento počet vygradoval v programu „Zelená úsporám“, kdy bylo v letech 2009 až 2011 vypráno k podpoře 17 635 instalací s celkovou plochou 102 614 m^2. Tato masivní podpora měla za následek prudký vzestup celkové dodávky solárních kolektorů až na historicky nejvyšší hodnotu 91 717 m^2. Bohužel ukončení programu Zelená úsporám jenom potvrzuje, že dodávka solárních kolektorů je závislá právě na objemu státních dotací. Pro rok 2011 je odhadována dodávka „pouze“ 65 800 m^2. Rozhodujícím rokem bude rok letošní, kdy po mnoha letech nejsou vypsány státní dotace. Je ale pravděpodobné, že pokles prodejů ještě bude dále pokračovat. Celkově lze tedy plochu instalovaných solárních systémů v České republice odhadovat na 375 tisíc m^2.

Podíl dodávky trubkových kolektorů stabilně roste, nyní se pohybuje okolo 25 %. Ostatní speciální typy kolektorů (ploché koncentrační, vzduchové) se objevují pouze okrajově.

V českých podmínkách je zcela specifickým trhem dodávka bazénových plastových kolektorů. Extrémně vysoké hodnoty (55 až 65 tisíc m^2 ročně) korespondují s mimořádně vysokou oblibou zahradních bazénů v českých domácnostech. Na trvalých instalacích se však tyto plastové kolektory objevují jen zcela výjimečně, proto jejich dodávku do celkové instalované plochy nezapočítáme.



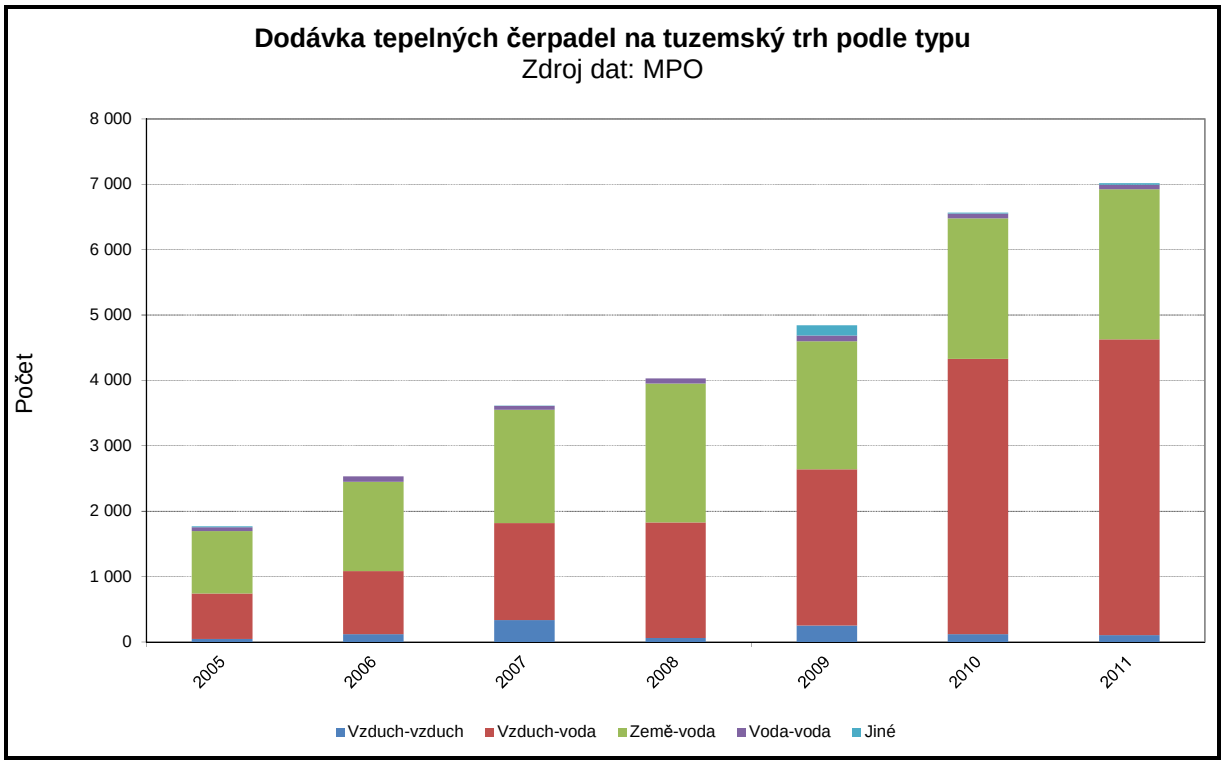
Obr. 3 *Vývoj dodávek solárních kolektorů na český trh.*

TEPELNÁ ČERPADLA

V bývalém Československu byla první tepelná čerpadla osazena již v 50. a 60. letech 20. století, jednalo se však o ojedinělé akce. K prvním rozsáhlejším pokusům o jejich využití došlo až v první polovině 80. let, kdy byla instalována řada tepelných čerpadel z dovozu. Od poloviny 80. let pak byly k dispozici i první stroje tuzemské výroby, mnohdy pozoruhodných výkonů. V domácnostech se první tepelná čerpadla objevila na přelomu 80. a 90. let 20. století, skutečný rozvoj prodejů však nastává až po roce 2001 [5].

V posledních několika letech na trhu působí podstatně větší počet drobnějších (především dovozních) firem, jejichž podíl na trhu roste na úkor firem „tradičních“. Zcela jasně to dokládá fakt, že v roce 2011 bylo statisticky sledováno 70 dovozních a výrobních firem oproti 29 v roce 2007. Přestože v letech 2009 až 2011 byl podpořen ze státních prostředků rekordní počet tepelných čerpadel v domácnostech, je zcela zřejmé, že na rozdíl od solárních systémů, není jejich dodávka přímo závislá na objemu dotací. Tempo růstu prodejů je v zásadě stabilní již po několik let. Je však vidět, že prodeje vzrostly v roce 2010 procentuálně více, než v roce 2011, kdy hlavní poptávka způsobená programem Zelená úsporám již odezněla.

Pro rok 2011 je odhadována dodávka tepelných čerpadel ve výši cca 7 015 kusů, v roce předchozím to bylo 6 564 kusů. Odhadovaný podíl jednotlivých typů je pro léta 2010 a 2011 prakticky stejný. Největší podíl zaujímají tepelná čerpadla vzduch–voda (64 %), následované tepelnými čerpadly země–voda (33 %). Zajímavé jsou výsledky statistiky vytápění nově kolaudovaných bytů v letech 2010 až 2011. Zatímco v roce 2010 bylo v novostavbách instalováno 1540 tepelných čerpadel, v roce 2011 to bylo již 1928 kusů. Jako zdroj hlavního vytápění tak má v době kolaudace tepelné čerpadlo 8,4 % rodinných domů a 4,8 % bytů v bytových domech. Na základě prodejů lze odhadovat, že 30 % tepelných čerpadel je tedy instalováno v novostavbách.



Obr. 4 *Dodávka tepelných čerpadel na tuzemský trh podle typu.*

ZÁVĚR

Obnovitelné zdroje energie sloužící k vytápění a přípravě teplé vody v domácnostech zažívají v posledních letech nebývalý rozmach. Rozvoj jejich využívání je závislý především na jejich provozní cenové výhodnosti nebo možnosti získání dotace.

LITERATURA

[1] BUFKA A. *Ceny pevných paliv pro domácnosti.* MPO, 2011
[2] BUFKA A. et al. *Obnovitelné zdroje energie v roce 2010.* MPO, 2011
[3] BUFKA A. *Malá spalovací zařízení pro domácnosti v roce 2010.* MPO, 2011
[4] BUFKA A. *Solární kolektory v roce 2010.* MPO, 2011
[5] BUFKA A. *Tepelná čerpadla v roce 2010.* MPO, 2011

NOVÝ ZÁKON O PODPOROVANÝCH ZDROJÍCH ENERGIE V KONTEXTU EVROPSKÉHO A MEZINÁRODNÍHO PRÁVA

Helena Doležalová

Masarykova univerzita, Právnická fakulta
helena.dolezalova@mail.muni.cz

ANOTACE

Zákon o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů nahrazuje zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů), ve znění pozdějších předpisů. Účel a předmět úpravy nového zákona je značně širší; mění se i právní úprava využití obnovitelných zdrojů při výstavbě nových budov a rekonstrukci budov stávajících. Hlavními důvody nového zákona jsou jednak nutnost implementace směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES (a s tím související hrozba tzv. *infringementu*), a také snaha o nápravu nedostatků zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů. Podpora alternativních energetických zdrojů je jedním z nástrojů ke splnění závazků z Kjótského protokolu k Rámcové úmluvě Organizace spojených národů o změně klimatu, která stanoví základ pro podporu opatření k omezení emisí skleníkových plynů. Na nový zákon je tedy třeba nahlížet v kontextu požadavků těchto pramenů mezinárodního a evropského práva, zejména s ohledem na zájem o udržitelný rozvoj společnosti a ochranu životního prostředí. Pozornost by měla být věnována nejen pramenům práva ve formálním smyslu, ale i ve smyslu materiálním, což jsou např. veřejné zájmy, konkrétně na zvyšování podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě primárních energetických zdrojů, na šetrném využívání přírodních zdrojů či na udržitelném rozvoji společnosti, ochraně klimatu a životního prostředí.

ÚVOD

Vládní návrh zákona o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů byl Poslaneckou sněmovnou Parlamentu České republiky schválen dne 9. května 2012 poté, co prezident republiky zákon nepodepsal a vrátil zpět sněmovně, která setrvala na původním návrhu zákona.

Jde o jeden z právních pramenů podpory obnovitelných energetických zdrojů. Za účelem komplexního pojetí potřeby změn právní úpravy podpory alternativních zdrojů energie je třeba se zabývat nejprve samotným pojmem *prameny práva*, dále prameny mezinárodního a evropského práva, ze kterých tato právní úprava vychází, podstatou a smyslem tzv. *infringement procedure*, což je řízení o porušení zakládající smlouvy Evropské unie pro porušení povinnosti nezajištěním účinného uplatňování směrnice, jakož i vztahem zákona o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů k využívání obnovitelných zdrojů energie v budovách.

PRAMENY PRÁVA

Pojem *prameny práva* lze vykládat několika způsoby. Význam tohoto pojmu není vždy zcela jasný. Je-li právo chápáno jako určitý předmět nebo obsah např. právního řádu, vyplývá z jiného předmětu, který je *pramenem*. Častěji však bývá *pramenem* nazýván určitý zákon apod. Proto je třeba rozlišovat prameny ve smyslu **materiálním** a **formálním**, tedy zda jde

o příčinu vzniku práva, nebo zda jde o tzv. objektivní právo, tj. soubor obecně závazných právních norem, z nichž plynou subjektivní práva.[1]

V materiálním pojetí jsou *prameny práva vztahující se k využívání obnovitelných zdrojů energie* zejména veřejné zájmy např. na zvyšování podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě primárních energetických zdrojů, na šetrném využívání přírodních zdrojů či na udržitelném rozvoji společnosti, ochraně klimatu a životního prostředí. Ve formálním pojetí jsou to především obecně závazné normativní akty, upravující zejména způsoby podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, výkon státní správy a související práva a povinnosti fyzických a právnických osob.

Prameny práva lze členit podle několika kritérií, např. podle jejich původnosti, podle stupně jejich právní síly, podle orgánů, které mají pravomoc je vydávat atd. Jednotlivé prameny tak lze zařadit do různých skupin. Jednou z možností, jak je lze členit, je jejich dělení podle úrovně, na které byly vydány, tedy na mezinárodní úmluvy, normativní právní akty Evropské unie, ústavní zákony, zákony, prováděcí předpisy a prameny vydávané územními orgány.

Mezinárodní úmluvy jakožto normativní smlouvy jsou pramenem českého vnitrostátního práva za podmínek stanovených v čl. 10 Ústavy České republiky. Podle tohoto článku jsou vyhlášené mezinárodní smlouvy, k jejichž ratifikaci dal Parlament souhlas a jimiž je Česká republika vázána, součástí právního řádu. Článek 10 Ústavy též dává základ pro **aplikační přednost** ustanovení mezinárodních smluv (současný stav je zásadně odlišný od stavu před účinností tzv. euronovely, ústavního zákona č. 395/2001 Sb.). Krom toho je Česká republika podle čl. 1 odst. 2 povinna dodržovat závazky vyplývající pro ni z mezinárodních závazků.

Česká republika se přistoupením k Evropské unii zavázala dodržovat **právo Evropské unie.** Mezi prameny evropského práva se řadí primární právo (zejména zakládací smlouvy), smlouvy uzavřené Evropskou unií a členskými státy s třetími subjekty, obecné právní zásady (na stejné úrovni jako primární právo), sekundární právo (právní normy vytvořené orgány Evropské unie), soudní rozhodnutí Soudního dvora Evropské unie, právní obyčej, rozhodnutí přijatá zástupci vlád členských států v Radě, prameny práva přijatá členskými státy v rámci úzké spolupráce.[2] Pozornost je třeba věnovat zejména **sekundárnímu právu**, konkrétně nařízením a směrnicím. *Nařízení* jsou přímo účinná a bezprostředně aplikovatelná, zatímco *směrnice* jsou závazné pro každý stát, kterému jsou určeny, avšak jen pokud jde o výsledek, jehož má být dosaženo. Vnitrostátní orgány volí prostředky a formy k dosažení daného účelu.

Ústava a ústavní zákony mají v České republice nejvyšší stupeň právní síly, což má význam zejména z hlediska jejich tvorby, nikoli však z pohledu jejich aplikace jako obecně závazných právních předpisů. Nicméně mnohá ustanovení Ústavy a ústavních zákonů slouží zejména pro účely interpretace ustanovení předpisů nižší právní síly. Pokud se týká Listiny základních práv a svobod, ta vytváří ústavní rámec pro základní garanci realizace jednotlivých práv.

Dominujícími vnitrostátními prameny správního práva jsou **zákony**. Jsou to akty, vydávané občany přímo voleným zákonodárným sborem, a proto se opírají o silnou demokratickou legitimaci. V právním řádu mají svrchované postavení, což znamená, že jsou nadřazeny ostatním pramenům. Samy však musí být v souladu s ústavními normami. Pouze zákony mohou určitý zákon měnit nebo rušit, i předpisy nižší právní síly mohou být rušeny zákonem. **Odvozená norma** musí mít především zákonný základ, musí se opírat o vůli zákonodárce a musí být vydána oprávněným subjektem.

Judikáty (precedenty) nepatří v českém právním systému mezi prameny práva. **Obecné principy práva** vyjadřují např. sociální potřeby apod. Některé z nich jsou explicitně vyjádřeny v různých zákonech, jiné z nich pouze implicitně vyplývají. V poslední době

nabývají na významu, neboť napomáhají interpretaci práva a plní i další úlohy. Vážou se zejména k převládajícím hodnotám ve společnosti.[3]

RELEVANTNÍ PRAMENY MEZINÁRODNÍHO A EVROPSKÉHO PRÁVA

Česká právní úprava podpory alternativních zdrojů energie vychází ze závazků Evropské unie a mezinárodních závazků týkajících se snižování emisí skleníkových plynů; tato podpora patří mezi opatření ke splnění **Kjótského protokolu k Rámcové úmluvě Organizace spojených národů o změně klimatu**.

Tato úmluva, uzavřená v roce 1992 v New Yorku, vyhlášená pod č. 80/2005 Sb.m.s., ve znění č. 9/2011 Sb. m.s., již v preambuli vyjadřuje zájem na tom, aby reakce na změnu klimatu byly integrovaným způsobem koordinovány se sociálním a hospodářským rozvojem. Jednou ze zásad této úmluvy je právo smluvních stran na udržitelný rozvoj, který by měly podporovat, přičemž přístupy a prostředky k ochraně klimatického systému před změnou způsobenou člověkem by měly odpovídat specifickým podmínkám každé smluvní strany, měly by být integrovány do vnitrostátních rozvojových programů a měly brát v úvahu, že hospodářský rozvoj je základem pro přijetí opatření vůči změně klimatu. Strany této úmluvy se zavázaly mj. ve vzájemné spolupráci podporovat vývoj, využití a rozšiřování technologií, postupů, procesů, které vedou ke kontrole, omezení či prevenci antropogenních emisí blíže specifikovaných skleníkových plynů, a to ve všech příslušných odvětvích včetně energetiky, dopravy, průmyslu, zemědělství, lesnictví a nakládání s odpady.

Kjótský protokol, přijatý v roce 1997, v České republice vyhlášený pod č. 81/2005 Sb.m.s., stanoví v čl. 2, že za účelem podpory udržitelného rozvoje každá smluvní strana při plnění svých kvantifikovaných závazků na omezení a snížení emisí v závislosti na národní situaci provádí nebo dále rozpracovává politiky a prostředky jako např. výzkum, podpora, vývoj a zvýšené využívání nových a obnovitelných forem energie apod. Pod široký pojem energie spadá nejen energetika, ale i spalování paliv, doprava, stavebnictví atd.

Na výše uvedené mezinárodní závazky odkazuje **Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES**. Pro Českou republiku z ní vyplývá celkový národní cíl určující podíl energie z obnovitelných zdrojů na hrubé konečné spotřebě energie v roce 2020 ve výši 13%, přičemž mechanismus podpory není závazně stanoven (kromě této směrnice se k předmětné problematice vztahují i další normativní akty Evropské unie, např. Směrnice Evropského parlamentu a rady 2002/91/ES ze dne 16. prosince 2002 o energetické náročnosti budov a další).

Ve vztahu k podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů v budovách tato směrnice k důvodům této podpory řadí potřebu stimulace opatření v nových a rekonstruovaných budovách, jakož i podporu energeticky účinnějších aplikací využívajících energii z obnovitelných zdrojů ve stavebních předpisech. Dále je zde vyjádřena potřeba usnadnění a urychlení procesu stanovování minimálních úrovní pro využívání energie z obnovitelných zdrojů v budovách začleněním faktoru pro energii z obnovitelných zdrojů do plnění minimálních požadavků energetické účinnosti podle směrnice 2002/91/ES, a také nezbytnost odstranit nedostatky v informovanosti a vzdělávání, zejména v odvětví vytápění a chlazení. V rámci úpravy správních postupů a předpisů v čl. 13 směrnice věnuje pozornost i nástrojům zaměřeným na zvýšení podílu všech druhů energie z obnovitelných zdrojů ve stavebnictví při zohlednění vnitrostátních opatření zaměřených na podstatné zvýšení energetické účinnosti, na kombinovanou výrobu tepla a energie a na užívání energeticky pasivních budov nebo budov s nízkou či nulovou spotřebou energie.

Členské státy mají do 31.12.2014 stanovit požadavek využívání minimálního množství energie z obnovitelných zdrojů v nových budovách a ve stávajících budovách procházejících důkladnou rekonstrukcí, a také umožnit využívání minimálního množství energie i prostřednictvím systémů ústředního vytápění a chlazení využívajících značný podíl energie z obnovitelných zdrojů. Dále by měly členské státy zajistit, aby nové veřejné budovy a stávající veřejné budovy, procházející rekonstrukcí, sloužily jako příklad již od roku 2012, a umožnit, aby to bylo možné splnit dodržováním norem pro budovy s nulovou spotřebou energie, nebo stanovením toho, že střechy budov ve veřejném vlastnictví nebo ve smíšeném soukromém a veřejném vlastnictví bude využívat třetí osoba k instalaci zařízení na výrobu energie z obnovitelných zdrojů. Též by měly členské státy podporovat používání systémů a zařízení pro vytápění a chlazení z obnovitelných zdrojů energie, představující značné snížení spotřeby energie. K tomu by měly sloužit energetické štítky, ekoznačky, osvědčení nebo normy.

TZV. INFRINGEMENT PROCEDURE

Česká republika, jakožto členský stát Evropské unie, byla povinna transponovat do svého právního řádu směrnici 2009/28/ES do 5. prosince 2010, což nesplnila. S tím však souvisí tzv. *infringement procedure,* tedy řízení o porušení zakládající smlouvy Evropské unie pro porušení povinnosti nezajištěním účinného uplatňování směrnice.

Nejčastější případy porušení smlouvy představuje právě neprovedení nebo vadné provedení směrnice. Evropský soudní systém je zárukou integrace Evropské unie. Základním předpisem jsou zakládající smlouvy Evropské unie. Hlavním úkolem Soudního dvora Evropské unie je zajištění dodržování práva při výkladu a provádění smluv; je příslušný k výkladu a aplikaci jak primárního, tak sekundárního evropského práva. Předmětem řízení o porušení smluv je porušení práva členským státem, spočívající v takovém porušení smluv, které je přímo či nepřímo způsobeno jednáním orgánu členského státu. Stát nemůže vylučovat svou odpovědnost např. proto, že jeho parlament neschválil návrh zákona, k jehož vydání byl stát povinen. Předmětem řízení tedy může být i opomenutí, existovala-li povinnost konat. Členské státy se nemohou dovolávat technických, institucionálních nebo politických obtíží. Cílem řízení je dosáhnout dodržování povinností vyplývajících ze smluv pro členské státy. Tato žaloba a řízení představuje jakousi poslední možnost, většina případů se vyřídí v předběžném řízení Komise. Před podáním žaloby je předepsáno obligatorní předběžné řízení, umožňující mimosoudní urovnání sporu a odstranění protiprávního stavu. Právo na žalobu není časově omezeno. Komise může navrhnout, aby členskému státu byla uložena povinnost platit paušální částku nebo penále. Rozhodnutí (odsuzující rozsudek) má určovací povahu (buď je žaloba zamítnuta nebo je vysloveno porušení smlouvy členským státem). Tento stát může volit druh opatření k odstranění následku porušení smlouvy. Členskému státu může být uložena povinnost zaplatit paušální částku nebo penále, ne však jiné konkrétní povinnosti. Rozsudek může představovat důvod pro žalobu na náhradu škody; je možný i výkon takového rozhodnutí. Členskému státu tak mohou vzniknout různé problémy.[4]

VÝSTAVBA A REKONSTRUKCE BUDOV V NOVÉM ZÁKONU

Pokud se týká využívání obnovitelných zdrojů energie v budovách, nový zákon o podporovaných zdrojích energie obsahuje v části *„změna zákona o hospodaření energií“*, tj. zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů (kromě jiných změn, týkajících se vytápění a chlazení využívající obnovitelné zdroje energie, zařízení využívající energii z obnovitelných a druhotných zdrojů energie či alternativních systémů) tato doplňující ustanovení, z nichž první by mělo nabýt účinnosti dnem vyhlášení zákona o podporovaných zdrojích energie a druhé dnem 1. ledna 2015:

*„U nových budov **veřejné správy** a při zásadních změnách dokončených budov veřejné správy v případě technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti instalace obnovitelných zdrojů energie vyplývající z průkazu, je stavebník nebo vlastník budovy povinen tyto zdroje instalovat. Tato povinnost může být splněna také výstavbou budovy s nulovou spotřebou energie nebo prostřednictvím dodávky tepelné energie ze soustavy zásobování tepelnou energií, ve které byla v předcházejícím kalendářním roce vyrobena více než polovina tepelné energie z obnovitelných zdrojů."*

„U nových budov a při zásadních změnách dokončených budov v případě technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti instalace obnovitelných zdrojů energie vyplývající z průkazu, je stavebník, vlastník budovy nebo společenství vlastníků jednotek povinen tyto zdroje instalovat. Tato povinnost může být splněna také výstavbou budov s nulovou spotřebou energie nebo prostřednictvím dodávky tepelné energie ze soustav zásobování tepelnou energií, ve které byla v předcházejícím kalendářním roce vyrobena více než polovina tepelné energie z obnovitelných zdrojů."[5]

Plnění těchto povinností by mělo přispět ke zvýšení využívání energie z obnovitelných zdrojů a využívání efektivního způsobu výroby elektřiny a tepla, dosahování úspor energie, čímž se chrání životní prostředí a zachovává udržitelný rozvoj.

ZÁVĚR

Prameny práva vztahující se k využívání alternativních zdrojů energie prochází v současné době dramatickým vývojem, který je reakcí na problémy spojené s ochranou ovzduší a dalších složek životního prostředí, se zajištěním stabilních dodávek energie, tzv. energetickou bezpečností apod. Tento vývoj také odráží obecné tendence vývoje pramenů práva obecně, tedy jejich neustálý početní růst, roztříštěnost atd.

Při tvorbě a aplikaci pramenů práva vztahujících se k využívání alternativních zdrojů energie ve formálním smyslu nelze opomíjet ani tyto prameny ve smyslu materiálním, zejména příslušné veřejné zájmy, neboť určitý soulad mezi těmito druhy pramenů musí být zachován. V mnoha případech z nedávné doby se však prokázalo, že česká právní úprava podpory využívání obnovitelných energetických zdrojů trpí takovými nedostatky, že umožňuje, aby byla aplikována s důsledky naprosto rozpornými s důvody a cíly, pro které byla vytvořena, což je způsobeno zejména nesprávným pojímáním pojmů jako např. udržitelný rozvoj. Tento princip je jedním ze zkresleně chápaných a vykládaných principů práva životního prostředí, které je relativně mladé a mnohdy nerespektované (většinou z nedostatečné znalosti či následkem převládajících hodnot ve společnost), a proto i specifickým principům tohoto právního odvětví není přikládán takový význam, jako jiným právním principům.

Využívání obnovitelných zdrojů energie v budovách je ve srovnání s ostatními způsoby často opomíjené, třebaže je velice významné, neboť může přispět k žádoucímu snižování emisí skleníkových plynů, úsporám energie, zvyšování energetické účinnosti a decentralizované výrobě energie. Otázkou a možnou překážkou je však podmínka *„technické, ekonomické a ekologické proveditelnosti"*.

LITERATURA

[1] WEYR, F. Prameny právní. In HÁCHA, E., HOETZEL, J., WEYR, F. a kol. *Slovník veřejného práva československého.* Svazek III. Brno: Polygrafia, 1938. s. 466-468

[2] TICHÝ, L., ARNOLD, R., ZEMÁNEK, J. et al. *Evropské právo*. 4. vydání. Praha: C.H.Beck, 2011. s. 232

[3] SLÁDEČEK, V. *Obecné správní právo*. Praha: ASPI, 2009. s. 59-61

[4] TICHÝ, L., ARNOLD, R., ZEMÁNEK, J. et al. *Evropské právo*. 4. vydání. Praha: C.H.Beck, 2011. s. 348-373
[5] Parlament České republiky. Poslanecká sněmovna. *Sněmovní tisk 369/9, část č. 1/2*, citováno 4.5.2012. Dostupné z: <http://www.psp.cz/sqw/text/tiskt.sqw?o=6&ct=369&ct1=9>

ENERGETICKÁ BILANCE SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ DOPADAJÍCÍHO NA ZEMSKÝ POVRCH

Vladimír Jirka, Jan Pokorný

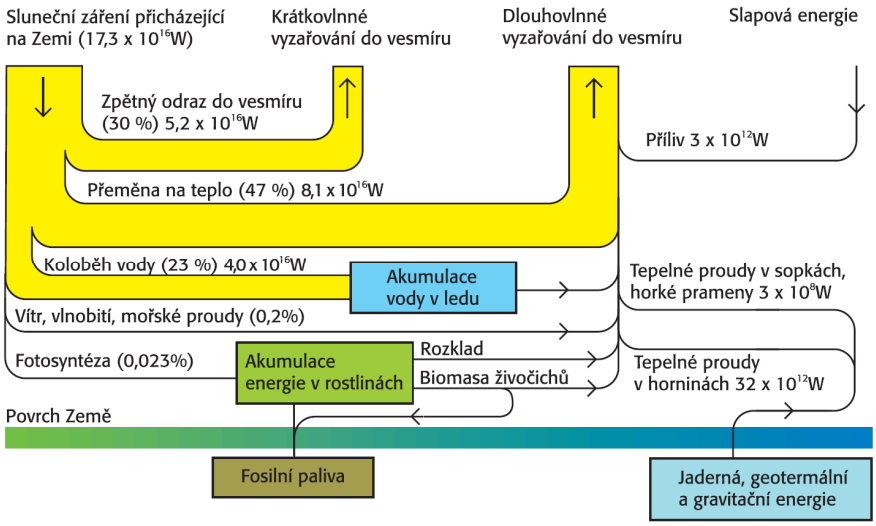
ENKI, o.p.s., Třeboň
jirka@enki.cz, pokorny@enki.cz

ANOTACE

Při dopadu na zemský povrch se část slunečního záření odrazí zpět, ale podstatná část energie je zužitkována na zjevné teplo, ohřev porostu, ohřev půdy, evapotranspiraci (změna skupenství vody) a fotosyntézu. Část energie se vyzáří v dlouhovlnné tepelné složce zpět do prostoru. V příspěvku jsou popsány a kvantifikovány jednotlivé složky v závislosti na biotopu, tedy přírodních podmínkách, které vytváří člověk. Jsou také uvedeny metody měření a porovnány energetické bilance ve volné a urbanizované krajině.

ÚVOD

Množství sluneční energie, které dopadá za jednu sekundu na plochu jednoho m2 horní vrstvy atmosféry Země, orientovanou kolmo ke slunečním paprskům je známé a pohybuje se v rozmezí od 1438 W/m^2 do 1345 W/m^2 v závislosti na okamžité vzdálenosti Země od Slunce, která jej obíhá po eliptické dráze. Země dostává pouhou dvoumiliardtinu z celkové zářivosti Slunce (180 000 TW). Z toho se asi 1/3 odráží. Celková bilance sluneční energie přicházející na Zemi je schematicky znázorněna na obr. 1. Toto známé schéma popisuje rozdělení slunečního záření na celé Zemi, tedy v oceánech i na pevnině.



Obr. 1 *Energetická bilance planety Země.*

Celé lidstvo využívá pro svoje potřeby (otop, doprava, výroba, potraviny) přibližně 10 TW, z toho potrava tvoří asi 0,6 TW. Potřebný energetický příkon je čerpán převážně z fosilních paliv, která vznikala za miliony let vázáním sluneční energie fotosyntézou s účinností nižší než jedno procento. Sluneční záření, které přichází na zemský povrch, se částečně odráží, částečně ohřívá povrch země a od něj se ohřívá vzduch, který proudí vzhůru (zjevné teplo). Část energie se spotřebuje na výpar vody (latentní teplo, skryté teplo) a část přechází do země (tok tepla do podloží). Fotosyntéza a ohřev porostu spotřebovávají velmi nízký podíl sluneční energie ve srovnání s odrazem, výparem vody a zjevným teplem.

Voda odráží pouze asi 10 % záření, vegetace přibližně 20 %, zastavěné plochy a betonový povrch 25 až 30 %. Zásadní význam mají dva toky energie, jejichž poměr závisí na množství dostupné vody – zjevné teplo a latentní teplo výparu vody. Suchý povrch se pohlcovanou sluneční energií ohřívá a od ohřátého povrchu se ohřívá vzduch, který stoupá vzhůru – v meteorologické budce zaznamenáváme vzestup teploty (zjevné teplo). Vlhký povrch, listy rostlin se ohřívají méně – sluneční energie se spotřebovává na výpar vody.

V krajině zásobené vodou a pokryté vegetací se podstatná část slunečního záření spotřebovává na výpar vody. Rostliny totiž vypařují vodu přes průduchy (transpirace) a voda se vypařuje též přímo z půdy (evaporace). Výpar vody porostem se proto nazývá evapotranspirace. Rostlinami a půdou se z metru čtverečního za den odpaří až několik litrů vody. Na výpar jednoho litru vody o teplotě 20 °C se spotřebuje 2,45 MJ ≈ 0,68 kWh sluneční energie. Při odpaření 5 litrů se tedy do vodní páry váže 3,4 kWh, více než polovina dopadající sluneční energie. Sluneční energie vázaná ve vodní páře ve formě skupenského tepla se potom opět uvolní při kondenzaci vodní páry, a to na chladných místech, na kterých se vodní pára sráží. Vázání sluneční energie výparem vody na místech s nadbytkem energie a uvolňování sluneční energie na místech chladných při kondenzaci vody je podstatou dokonalé přirozené klimatizace realizované vodou a rostlinami. Na pouhém jednom metru čtverečním může činit v létě rozdíl mezi energií vázanou ve vodní páře a energií uvolněnou jako teplo i několik kWh za den. Toky sluneční energie vázané při evapotranspiraci dosahují tedy až několika set wattů na m^2.

Ekologie se zabývá zejména energií, která se využívá k fotosyntéze, tedy ke tvorbě rostlinné biomasy, která je primárním zdrojem potravy (energie) v potravních řetězcích. Fotosyntézou se ovšem do biomasy rostlin váže jen velmi málo sluneční energie (méně než 1 %). Hlavním procesem přeměny sluneční energie v porostech není fotosyntéza, ale evapotranspirace, která účinně vyrovnává teplotní rozdíly v čase (mezi dnem a nocí) a v prostoru (mezi místy). Tomu odpovídá i poměr molekul přijímaného oxidu uhličitého a odpařované vody. Počet molekul vody, které rostlina přes průduchy, odpařuje je o dva řády vyšší než počet molekul oxidu uhličitého, které rostlina průduchy přijímá. Sluneční energie se rozděluje zejména do následujících toků: odraz, zjevné teplo, latentní teplo výparu, tok tepla do půdy a vyzařování v infračervené oblasti. Je zřejmé, že distribuce sluneční energie v krajině s bohatou vegetací a vodou se liší od distribuce v krajině suché. Extrémními příklady jsou pouště na straně jedné a deštné lesy na straně druhé. Pouště se vyznačují vysokými denními amplitudami teplot, kdy ráno teploty klesají pod bod mrazu a odpoledne stoupají nad 40 °C. Člověk obhospodařuje většinu plochy kontinentů, krajina se vysušuje a přichází o trvalou vegetaci. Podle statistik OSN (FAO) se mění v poušť ročně na 60 000 km^2 pevniny a na 200 000 km^2 pevniny ztrácí vodu tak, že se nehodí k zemědělské produkci. Klimatická změna je podle Mezivládního panelu pro klimatickou změnu (Intergovernmental panel on Climate Change - IPCC 2007) působena zvyšujícím se skleníkovým efektem následkem zvyšující se koncentrace skleníkových plynů. Materiály připravované na konfenreci států o klimatu (Copenhagen 2009) i pozdější doporučení IPCC se soustřeďují pouze na snižování emisí skleníkových plynů a nezabývají se přímým efektem odvodnění a odstraňování vegetace na klima. Zvýšené koncentrace skleníkových plynů přitom podle IPCC působí změnu 1 až 3 W/m^2 (radiative forcing od roku 1750), odvodnění a odstranění vegetace působí změnu v řádu stovek wattů na m^2.

V ENKI, o.p.s. jsme se zaměřili vývoj metody kvantitativního zhodnocení distribuce sluneční energie v krajině, která slouží k porovnání hlavních toků sluneční energie v různých typech krajiny a kvantitativně hodnotí, jak hospodářské zásahy člověka mění hlavní toky sluneční energie.

Předkládáme nástin metody a ukázku výsledků, které názorně ukazují, že toky sluneční energie lze kvantifikovat i přes jejich dynamiku.

TEORIE

Ze zákona zachování energie musí i na zemském povrchu pro energetické toky platit

$$R_s = R_{net} + \alpha \quad (1)$$

$$R_{net} = H + LE + G + IR + J + P \quad (2)$$

kde

R_s je záření, dopadající na zemský povrch ze Slunce (0,3 až 2,8 µm), W/m^2;

α odražené záření od zemského povrchu (0,3 až 2,8 µm), W/m^2;

IR radiační výměna mezi zemským povrchem a oblohou(4,5 až 42 µm), W/m^2;

R_{net} celková radiační bilance, W/m^2;

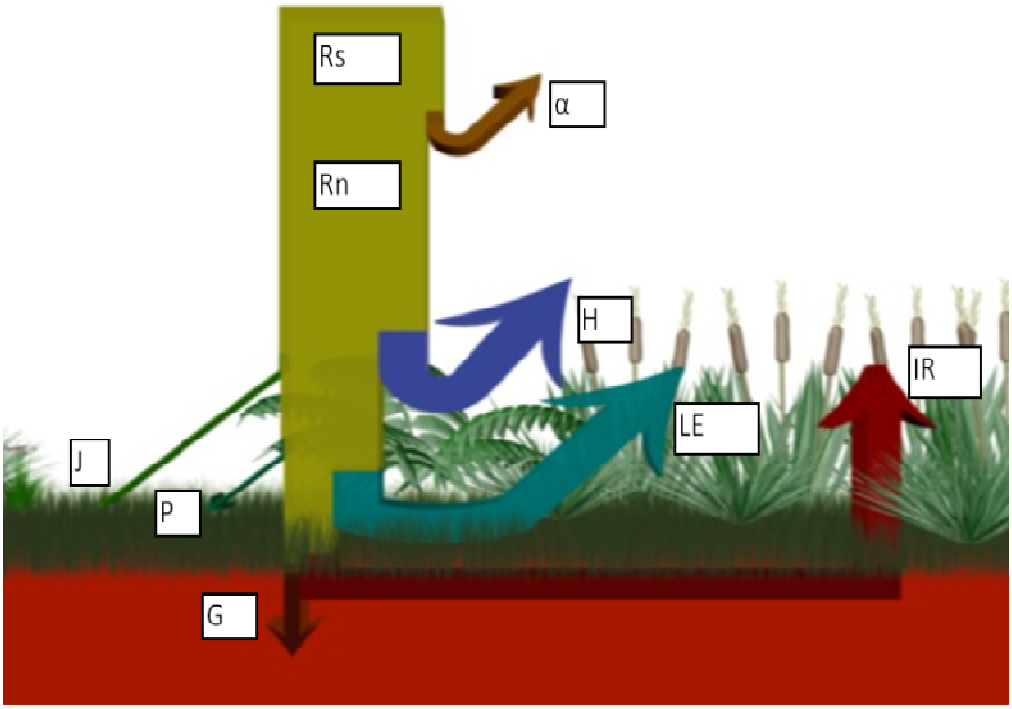
G tok tepla do půdy, W/m^2;

LE tok latentního tepla výparu, W/m^2;

H turbulentní tok tepla (zjevné teplo), W/m^2;

P energetická hodnota fotosyntézy, W/m^2;

J množství tepla na ohřev porostu povrchu, W/m^2.



Obr. 2 *Energetické toky na lokalitě.*

Vzhledem k velmi nízkému podílu fotosyntézy *P* a ohřevu povrchu *J* na spotřebě celkové čisté radiace (do 1 %), jsou tyto dva členy obvykle zanedbány a rovnice energetické bilance stanoviště se zjednodušuje do tvaru

$$R_{net} = H + LE + G + IR \qquad (3)$$

Toto je základní energetická bilance – osud energie dopadajícího slunečního záření na lokalitu v okolí kalibračního bodu – meteorologické stanice. Z těchto energetických toků některé dokážeme měřit přímo a některé zjišťujeme zprostředkovaně na základě změřených souvisejících fyzikálních veličin a následných výpočtů.

Externím projevem výše popsaných energetických toků je potom teplota povrchu T_{ground}. veličina, kterou lze monitorovat pomocí prostředků dálkového průzkumu Země (DPZ). Na základě teplotní mapy povrchu, znalosti povrchu a výsledků z kalibračních stanic potom lze s dostatečnou přesností odhadnout (vypočítat) energetické toky i mimo kalibrační body.

Stanovení krátkovlnné radiační bilance R_{net}

Přímo je měřeno pomocí pyranometrů celkové záření R_s (0,3 až 2,8 µm) dopadající ze Slunce na vodorovnou rovinu a odražené záření od zemského povrchu α. Rozdíl těchto energetických toků je definován jako celková radiační bilance R_{net}.

Stanovení tepelné výměny mezi zemským povrchem a oblohou *IR*

Pro stanovení tepelné bilance zemského povrchu vůči obloze *IR*, je použita kombinovaná metoda měření a následného výpočtu pomocí Stefan-Boltzmannova zákona, kdy se v prvním přiblížení předpokládá, že snímané objekty jsou absolutně černá tělesa, tedy jejich emisivita $\varepsilon = 1$ a je konstantní pro všechny vlnové délky.

Zářivý energetický tok v infračervené oblasti je tedy dán dvěma teplotami: teplotou povrchu a teplotou oblohy. Teplotu zemského povrchu lze měřit přímo, průběžně a pomocí prostředků DPZ i plošně. Pro zjištění teploty oblohy byly některé meteorologické stanice vybaveny NET radiometrem, který je schopen měřit jak krátkovlnnou (0,3 až 2,8 µm), tak infračervenou radiaci (4,5 až 42 µm).

Stanovení toku tepla do půdy *G*

Tok tepla do půdy lze měřit přímo půdními radiometry, nebo metodou výpočtu toku pomocí měření teplot a vlhkosti pro určení tepelné vodivosti v definované hloubce. V současnosti jsou v povrchové vrstvě do 100 mm měřeny teploty po10 mm a ve 200 a 250 mm a výpočtové hodnoty jsou konfrontovány s radiometrickými.

Stanovení toku latentního a tepla výparu turbulentního (zjevného) tepla *LE*

Evapotranspirace a její intenzita je určována různými metodami, které lze rozdělit na přímé a nepřímé. Mezi přímé metody patři využiti lyzimetrů a výparoměrů, mezi nepřímé pak řada mikrometeorologických metod, ze kterých se nejčastěji používají: energeticka bilance stanoviště (tzv. metoda Bowenova poměru), metoda Penman-Monteithova a metoda vířivé (eddy) kovariance.

POUŽÍVANÁ TECHNIKA

Pozemní kalibrační meteorologické stanice

Pozemní meteorologické stanice jsou vybaveny senzory, které umožňují popsat energetické toky v měřené lokalitě. V intervalu 10 minut jsou monitorovány a zapisovány následující veličiny: teplota a vlhkost vzduchu ve dvou výškových úrovních, dopadající a odražená

globální radiace slunečního záření v oblasti krátkovlnné (0,3 až 2,8 µm), půdní vlhkost, srážky, směr a rychlost větru ve výšce 2 m, 10 teplot půdy (do 100 mm měřeny teploty po 10 mm a ve 200 a 250 mm). Na některých lokalitách je také monitorován atmosférický tlak a dopadající a odražená radiace v IR oblasti (4,5 až 45 µm) spolu s teplotou čidla. Data jsou automaticky předávána 3x za den prostřednictvím GPRS sítě na server, kde jsou k dispozici všem řešitelům projektu.

Obr. 3 *Pozemní kalibrační stanice,celkový pohled a měření půdního teplotního profilu.*

Mobilní měřicí a kalibrační stožár

Mobilní měřicí stanice umožňuje provázat data „bodových“ měření z pozemních stanic s teplotní mapou celé lokality, získanou jejím zobrazením germaniovou optickou soustavou na maticový bolometrický nechlazený detektor termovizní kamery, pracující ve spektrální oblasti 7 až 14 µm. Velkou výhodou systému je kontinuální monitoring a tím postižení dynamiky jevů, probíhajících na měřené lokalitě. Jedná se o plně autonomní pracoviště, které k doposud měřeným datům přidává data další, jiným způsobem nezměřitelná. Příkladem jsou výškové rozložení teploty, relativní vlhkosti a rychlosti větru, jehož vliv na odpařování vody (z energetického hlediska jeden z klíčových jevů, který v přírodě probíhá) je velice důležitý. Senzory jsou doplněny o NET radiometr (teplota čidla, IR a VIZ radiace oblohy a porostu) a obsahuje také termovizní snímek sledované plochy, který je zaznamenáván ve stejném časovém intervalu - 10 min. Čidla jsou umístěna na držácích, které jsou upevněny k přírubám, vloženým mezi jednotlivé sekce stožáru. 1. příruba je umístěna ve výšce 0,5 m nad terénem, další příruby jsou ve výškách 8,1; 15,7; 23,3 a 30,9 m. Na každé sekci jsou měřeny teplota a relativní vlhkost v meteorologickém radiačním krytu a rychlost a směr větru. Na vrcholu stožáru je umístěn krakorec, který nese dosedací platformu pro nosič termovizní kamery a fotoaparátu, který může operátor během několika desítek sekund spustit nebo vytáhnout do pracovní polohy. Pro určení komplexní meteorologické a energetické situace je systém doplněn o stanici měřící standardní meteorologické podmínky ve výškách 0,3 a 2 m, s měřením směru a rychlosti větru, záznamem množství srážek, dopadající a odraženou radiací.

Pro výpočet energetického toku do půdy je měřeno 8 hodnot teplot v půdním profilu a vlhkost půdy.

Vzducholoď

Ve spolupráci ENKI, o.p.s a ČVUT s Airship.com byla vyvinuta vzducholoď délky 8 m o průměru 2,5 m plněná He, schopná letu po předem naprogramované dráze. Vzducholoď je vybavena inerciální měřicí jednotkou pro přímé měření úhlů náklonu a zrychlení vzhledem k souřadné soustavě gondoly ve všech směrech, precisním výškoměrem, krátkovlnnými pojítky s dosahem min. 10 km a GPS navigací. Pracovní rychlost s akumulátory a elektrickými motory je 5 m/s, operační výška do 1000 m a maximální výdrž ve vzduchu 30 min. Na gondole vzducholodi je umístěn gravitační závěs, který je vyvážen tak, aby směřoval vždy svisle. Na něm jsou upevněny IR kamera FLIR THERMACam PM 695 a fotoaparát, ovládané společným triggerem, odvozeným od dopředné rychlosti vzducholodi.

Obr. 4 *Vzducholoď a gravitační závěs s termovizní kamerou.*

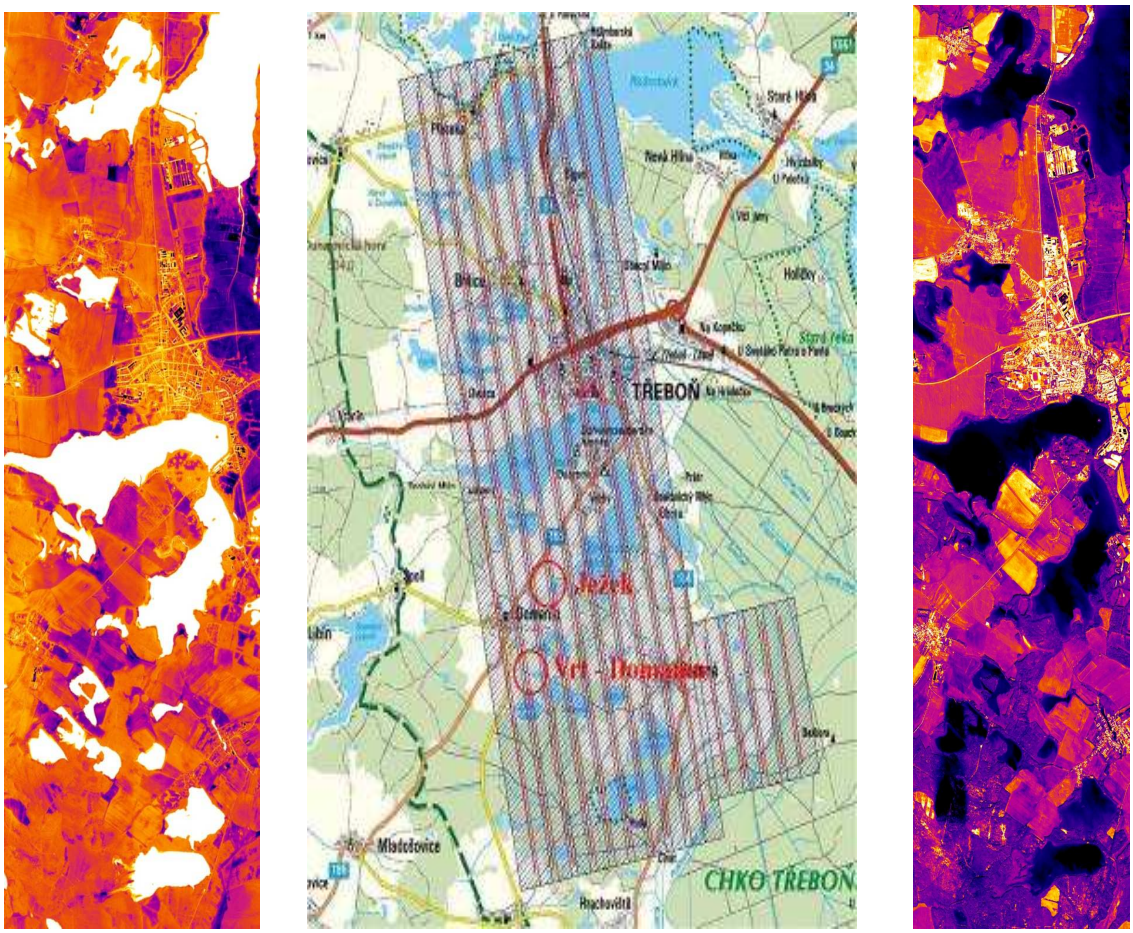
Letadla

Pro vypracování IR mapových podkladů větších ploch řádu 10 km2 byla ve spolupráci se společností ArgusGeo System s.r.o. vypracována metodika velkoplošného leteckého termovizního snímkování. Výsledky poskytují komplexní ucelený obraz o sledované lokalitě a s její pomocí jsou určována místa pro podrobnější pozorování. Byly využity zkušenosti pracovníků a technické vybavení společnosti ArgusGeo System s.r.o., která se specializuje na pořizování snímků ve viditelné a blízké IR oblasti, ze kterých následně vytváří ortofotomapy. Byla využito letadel: Cessna TU 206 F a Piper Chieftain.

Obr. 5 *Cessna TU 206 F a Piper Chieftain.*

VÝSLEDKY

Teplotní mapy Třeboňska



Obr. 6 *Ranní teplotní mapa, náletové osy a odpolední teplotní mapa.*

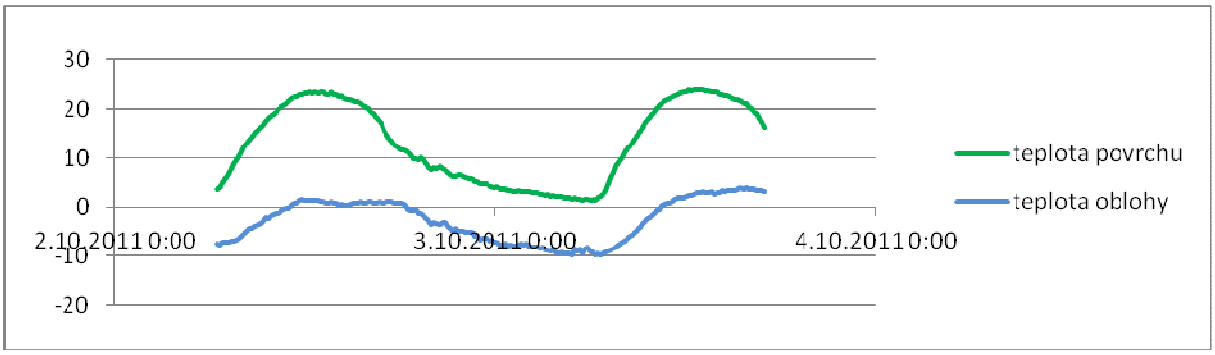
Výsledky měření ze stožáru

Obr. 7 *Měřicí stožár a připravená měřicí plocha.*

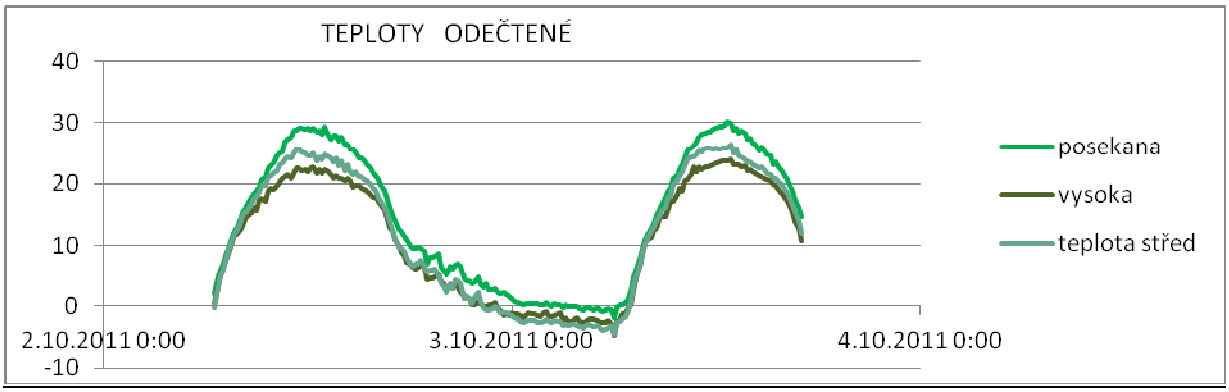
Pro experiment byla vybrána zatravněná oplocená plocha vodního zdroje obce Domanín u Třeboně. Pro účel experimentu byla plocha dlouhodobě připravována. Levá část nebyla udržována a sekána po celé vegetační období. Pravá část byla posekána a zmulčována cca 2 týdny před experimentem a osový pás pod krakorcem byl posekán těsně před experimentem.

Tím byly získány tři plochy na stejné lokalitě se shodnou vegetací, lišící se pouze výškou porostu. Pod krakorcem na ose byly umístěny dvě kalibrační tabule Al plechu o velikosti 1,25 x 1,25 m, jedna černá a druhá bílá s barvou o známé emisivitě $\varepsilon = 0{,}96$.

Příklady naměřených hodnot teploty (°C) a radiace (W/m^2) jsou uvedeny na následujících grafech.

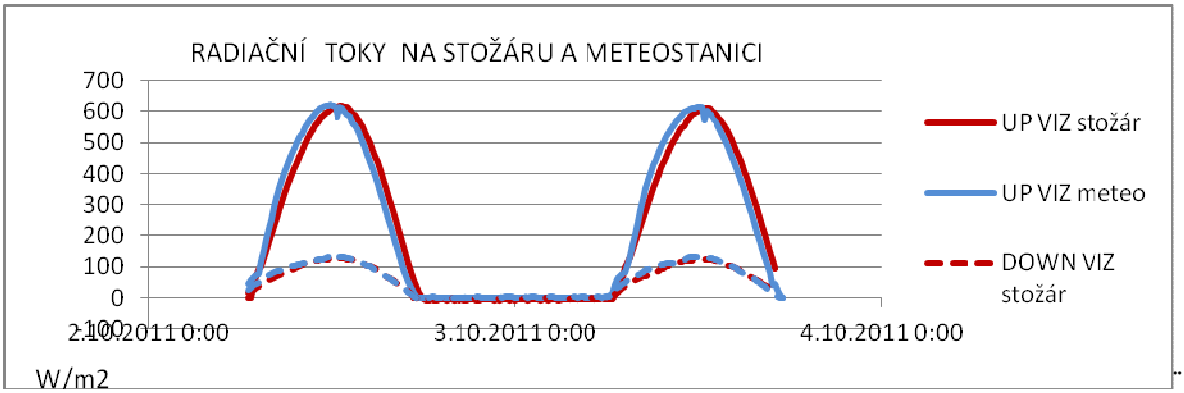


Obr. 8 *Vypočítaná teplota oblohy a porostu ze stožáru.*

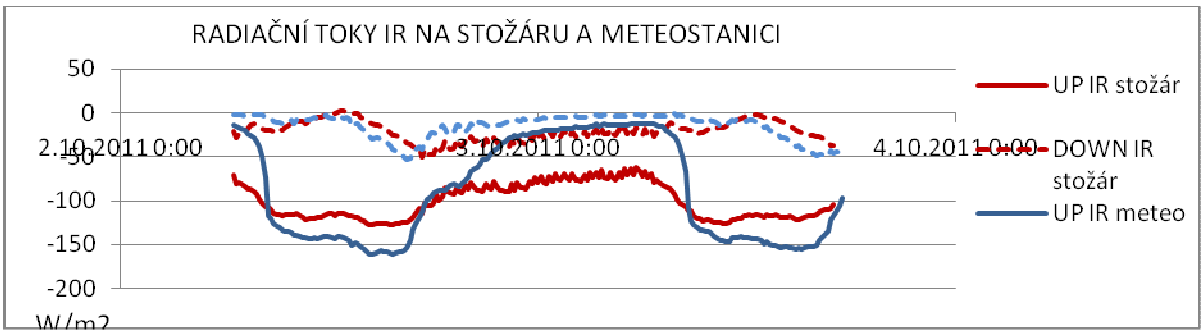


Obr. 9 *Radiační teploty travního porostu různé výšky, odečtené z termovizních snímků.*

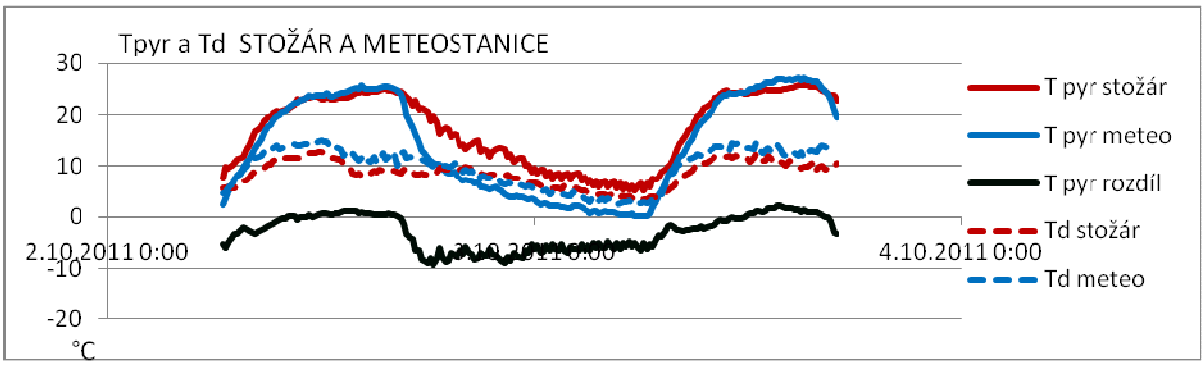
Pro kontrolu byly porovnány hodnoty naměřených radiací ze dvou NET radiometrů, které se nacházely v sousedství na stejné lokalitě, vzdálené od sebe cca 20 m, ale jeden byl ve výšce 2 m a nebyl vyhříván a druhý, vyhřívaný byl na stožáru ve výšce 30 m.



Obr. 10 *Krátkovlnná radiace na stožáru a meteostanici.*



Obr. 11 *Dlouhovlnná složka radiace na stožáru a meteostanici.*



Obr. 12 *Teploty těles radiometrů a odpovídající rosné body (čárkovaně).*

ZÁVĚR

Člověk svým hospodařením zásadně mění distribuci sluneční energie a oběh vody v krajině, a tím i místní klima a kvalitu odtékající vody. Toky energie a látek v krajině je proto nezbytné monitorovat, neboť pouze jejich znalost nám umožňuje hodnotit, do jaké míry je hospodaření v krajině udržitelné. Kriteriem udržitelnosti jsou vyrovnané teploty, vyrovnaný odtok vody a nízký obsah rozpuštěných látek v odtékající vodě.

Práce byly podpořeny z projektu NVP II MŽP, ev. č. 2B06023 „Vývoj metody stanovení toků energie a látek ve vybraných ekosystémech, návrh a ověření principů hodnocení hospodářských zásahů pro zajištění podmínek autoregulace a rozvoje biodiverzity“.

ZÁVISLOSTI DOPADAJÍCÍ ENERGIE SLUNEČNÍHO ZÁŘENÍ NA PLOCHU

Jaroslav Peterka

Technická univerzita v Liberci, Fakulta umění a architektury
jaroslav.peterka@tul.cz

ANOTACE

Příspěvek řeší různé prostorové i energetické úlohy působení slunečního svitu na obecné plochy v prostoru, které mohou být nahrazeny slunečními kolektory, fotovoltaickými panely, okny, plochými střechami, fasádami apod. Je vybráno a graficky i tabelárně zpracováno několik zajímavých úloh tak, aby se daly prakticky aplikovat na aktivní využívání sluneční energie pro solární termické soustavy. Každá úloha je doplněna závěry.

ÚVOD

Pomocí počítačových programů lze řešit řadu úloh o sluneční energii, které se doplňují reálnými znalostmi i zkušenostmi z praxe. Lze řešit časový průběh osvitu různých ploch fasád nebo kolektorů, pořadí výhodnosti různých pohyblivých poloh kolektorů, analyzovat jednotlivé polohy, optimalizovat výsledky a tím dále zkvalitnit činnost solárních soustav.

KOLEKTORY NA FASÁDĚ A ORIENTACE OBJEKTU

Návrh počtu slunečních kolektorů je podřízen hlavně počtu obyvatel, jejich hygienickému standardu a částečně i místním podmínkám pro umístění kolektorů. Kolektor se nedá dělit a tak je počet kolektorů vždy celé číslo. Zatímco v minulosti se počet kolektorů minimalizoval a dávala se přednost jižní nestíněné orientaci, dnes se méně optimální situace tvaru objektů nebo stínění objektů řeší zvýšením počtu kolektorů.

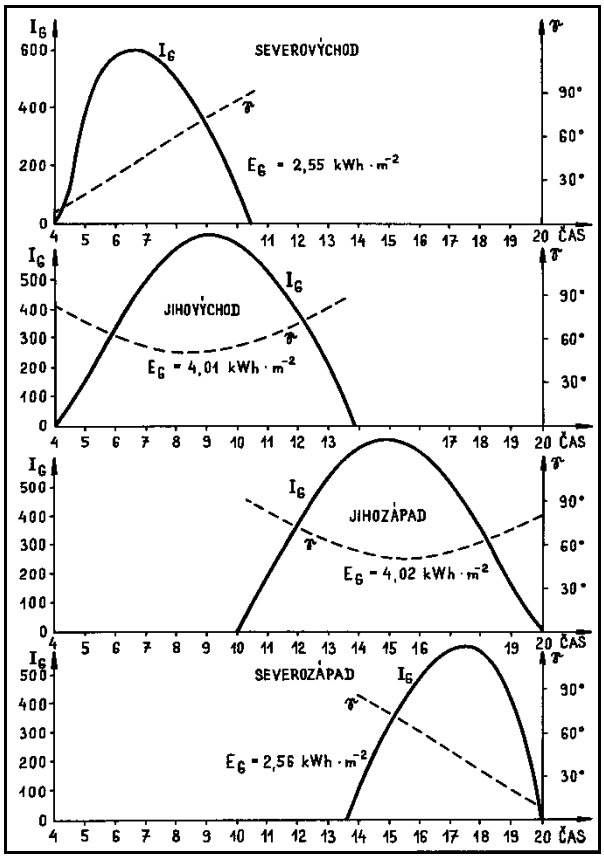
Existuje však časová závislost na sluneční energii, která je dána dispozicemi objektu resp. sklonem a orientací ploch vůči Slunci. Dokumentuje to např. stavba rodinného domu s plochou střechou ve tvaru krychle, když se ptáme, jak objekt natočit směrem ke Slunci. Sluneční kolektory nemohou být na ploché střeše z nějakého důvodu osazeny. Mohou být dvě extrémní varianty fasád: osa sever – jih a osa severovýchod – jihozápad event. i zrcadlové označení.

Dopadající záření na střechu i fasády u orientace SJ (viz obrázek 1), u orientace SV/JZ (viz obrázek 2). Výpočet je proveden pro Prahu, 20. červen, znečištění atmosféry $Z = 3$, bezoblačný den.

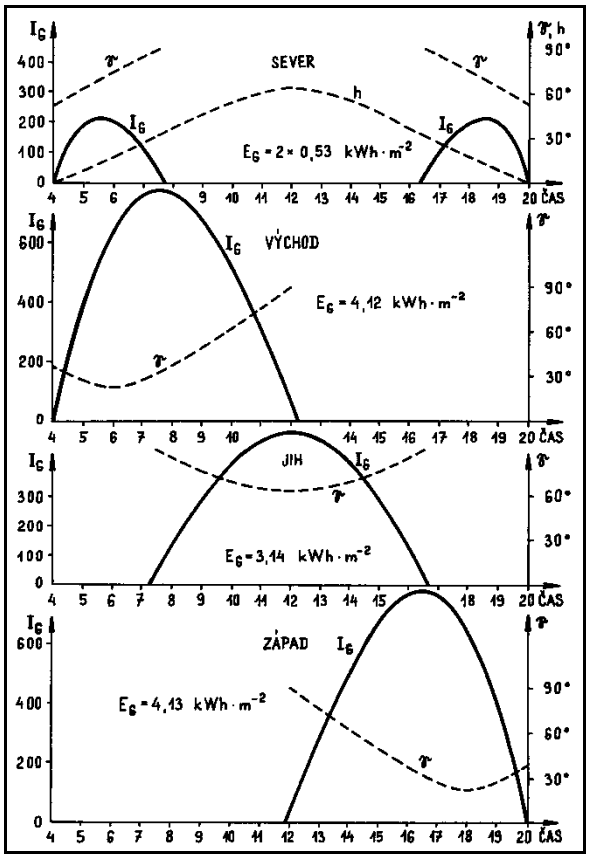
Z obrázků 1 a 2 vyplývá:

- od jarní po podzimní rovnodennost je 2x denně přímo osluněna severní fasáda, od podzimní po jarní rovnodennost přímo osluněna není;
- maximální dopad sluneční energie se pro všechny typy orientace (kromě severní) pohybuje od 2,5 do 4 kWh/m^2.den, což dokumentuje, že oba typy orientací objektu si z hlediska rovnoměrnosti dopadající sluneční energie v létě téměř neodporují;
- pokud by na fasádách byly umístěny sluneční kolektory (potlačení letních přebytků proti celoročnímu sklonu cca 45°), vyplývá z toho též časové těžiště doby přípravy teplé vody.

Pro trvale žijící obyvatele např. důchodci, matky s dětmi apod. je vhodná východní až JV fasáda, pro obyvatele po návratu z práce i jižní, JZ až západní poloha. Pro fotovoltaické panely na orientaci tolik nezáleží, veřejná síť odebere vyrobený proud vždy.



Obr. 1 *Oslunění fasád S, J, V, Z [W/m^2]*



Obr. 2 *Oslunění fasád SV, JV, JZ, SZ [W/m^2]*

Tento závěr není zcela přesný, protože

- účinnost kolektorů je při vyšší odpolední teplotě vzduchu také vyšší;
- skutečná doba přímého slunečního svitu odpoledne je proti dopolední době vyšší (dopolední oblačnost se odpoledne častěji rozpustí).

Každý návrh slunečních kolektorů je proto nutné posuzovat komplexně ze všech uvedených hledisek.

Teoretická měsíční bilance krychle o hraně 1 m orientované S–J je 634,8 kWh/rok, teoretická měsíční bilance krychle o hraně 1 m orientované SV–JZ je 655,8 kWh/rok. Rozdíl dopadlé sluneční energie 3 % je pro červen zanedbatelný, dominantní je jen posun časového těžiště dopadu. Při řešení stejného problému v prosinci by dominantní zisk měla jižní fasáda, poté JV a JZ fasáda a poslední by byly východní a západní fasáda.

DOPADAJÍCÍ ENERGIE NA POHYBLIVÉ KOLEKTORY

Dotazy na energetický zisk pohyblivých kolektorů jsou stále časté, počet poloh je omezen. Možné polohy jsou:

- poloha 1: pevná orientace, pevný sklon;
- poloha 2: otočná, orientace za Sluncem, pevný sklon;
- poloha 3: otočná, orientace i sklon za Sluncem (tzv. normálová poloha);

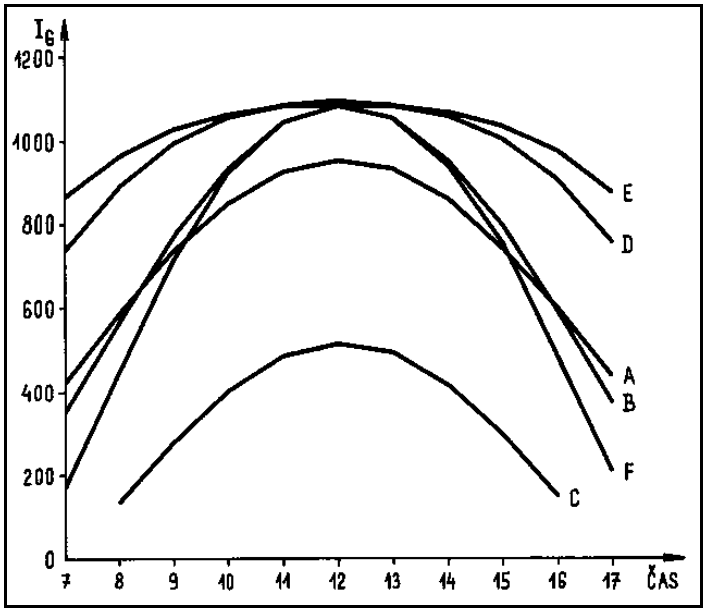
- poloha 4: pevná orientace, změna sklonu průběžně taková, aby dopadající energie byla v každý okamžik maximální.

Řešení je znázorněno na obrázku 3 a výsledky bilance jsou uvedeny v tabulce 1. Výpočet je proveden pro Prahu, 20. červen, znečištění atmosféry Z = 3, bezoblačný den. Křivky jsou souměrné podle času 12:03,5 h. Pro lepší představu jsou ještě zakresleny křivky pro pevnou jižní orientaci a sklony 0°, 30° (letní sklon) a 90°.

Tab. 1 *Výsledky výpočtu pro různé polohy*

Popis polohy	**Teoretická denní bilance [kWh/m^2]**
Křivka A, poloha 1, α = 0°	8,75
Křivka B, poloha 1, α = 30°	8,86
Křivka C, poloha 1, α = 90°	3,17
Křivka D, poloha 2, α = 30°	12,38
Křivka E, poloha 3	13,45
Křivka F, poloha 4	7,80

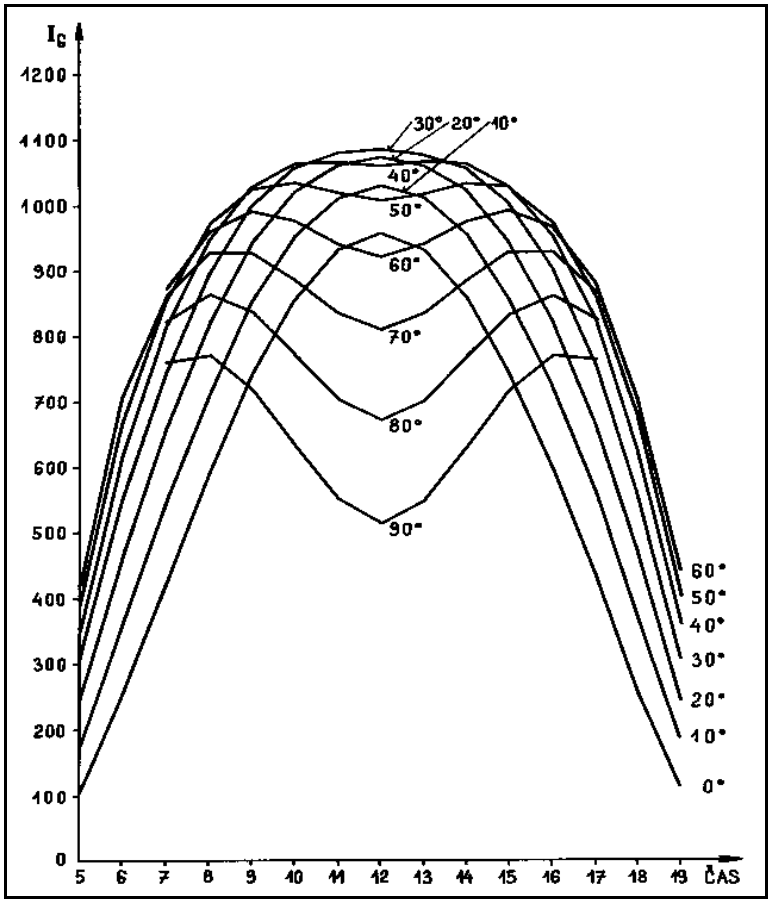
Maximální zisk je při poloze celodenně orientované za Sluncem a minimální zisk je u jižní fasády. Letní sklon 30° leží téměř v polovině mezi oběma extrémy. Pro letní využití sluneční energie se v praxi využívá nejčastěji křivka B. Pohyblivá orientace má své problémy, proto v naprosté většině převládají orientace a sklony pevné. Stále platí slova prof. B. O. Seraphina, která přednesl na mezinárodní konferenci Aplikovaná optika pro sluneční energii, která proběhla v Kroměříži pod záštitou UNESCO v roce 1984: *„Budoucnost mají pevné ploché zasklené sluneční kolektory se spektrálně selektivní vrstvou“*. Dnes bychom k tomu mohli dodat *„a za určitých podmínek i vakuové trubkové kolektory“*.



Obr. 3 *Dopadající sluneční energie na pohyblivé plochy [W/m^2]*

DOPADAJÍCÍ ENERGIE PRO POLOHU 2

Průběh dopadajícího slunečního záření pro podmínky obrázku 3 (předcházející kapitola) pro polohu 2 (křivka E) je pro různé sklony znázorněn na obrázek 4. Výpočet je zpracován pro Prahu, 20. červen, znečištění atmosféry Z = 3, bezoblačný den. Při sklonech plochy 0 až 30° mají křivky konkávní průběh – jedno maximum. Od sklonu 40° výše má střed křivky konvexní průběh – dvě lokální maxima a jedno minimum. Nejvyrovnanější dopad je u sklonu mezi 40 až 50°.



Obr. 4 *Průběh okamžitých hodnot dopadajícího slunečního záření pro polohu 2 s různými sklony [W/m^2]*

Reálný význam je např. pro kolektory s pevným sklonem na plovácích na vodní hladině, které se dají během dne natáčet za Sluncem (např. švédský pokus „otočná plovoucí střecha“ na hladině na ohřívané vodní nádrži), viz tabulka 2. Výpočet je zpracován pro Prahu, 20. červen, znečištění atmosféry Z = 3, bezoblačný den.

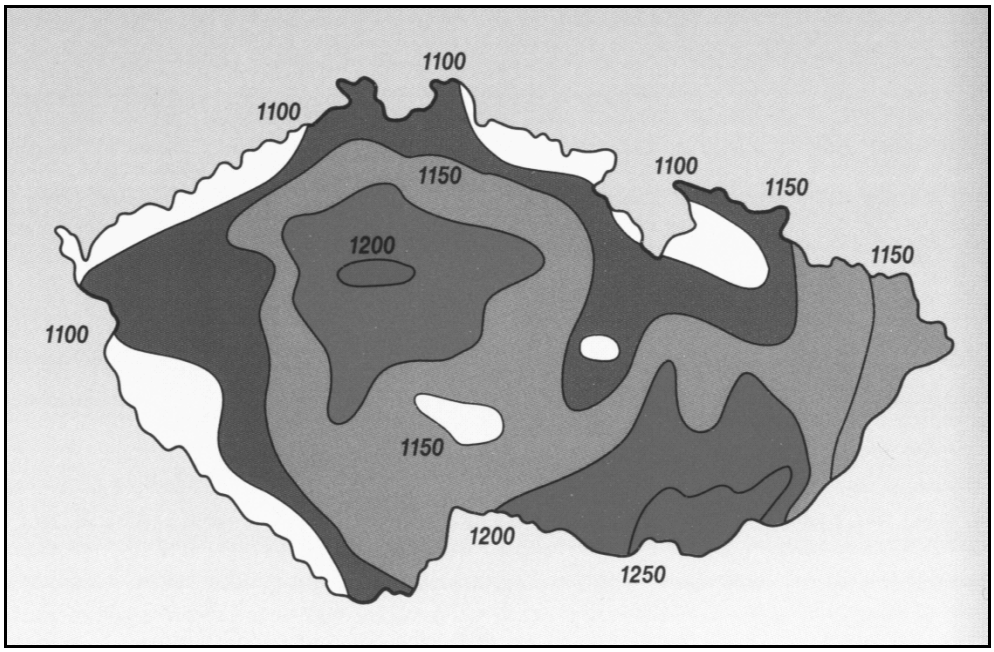
Tab. 2 *Optimální pevný letní sklon pro otočnou polohu za Sluncem je cca 50° [kWh/m^{2}měs]*

Měsíc	**Sklon [^{o}]**									
	0	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**60**	**70**	**80**	**90**
VI	160	188	211	226	235	**237**	232	220	200	175
VIII	135	163	185	202	212	**217**	214	206	190	170

Pro polohu 1, pevnou orientaci, je optimální letní sklon kolem 30°. Optimální sklon lze nastavovat každý měsíc.

REDUKCE CELOROČNÍ DOPADAJÍCÍ ENERGIE PRO POLOHU 1

Solární mapa dopadající celoroční sluneční energie je určena pro horizontální plochu, viz obrázek 5. S její pomocí je možné určit velikost roční dopadající sluneční energie i pro různé orientované i skloněné kolektory, pomocí tzv. redukčních koeficientů, viz tabulka 3. Výpočet je zpracován nikoliv pro celoroční dopad, ale ukázkově pro Prahu, měsíc červen.



Obr. 5 *Mapa ročního dopadajícího slunečního záření na území ČR [kWh/m^2.rok]*

Tab. 3 *Redukční koeficienty v červnu dopadající sluneční energie na různě orientované a skloněné plochy kolektorů vůči horizontální ploše*

Orientace	**Sklon [^{o}]**						
[^{o}]	**0**	**15**	**30**	**45**	**60**	**75**	**90**
180	**1**	1,16	**max 1,23**	1,22	1,13	0,96	0,74
150 210	**1**	1,13	1,19	1,17	1,08	0,93	0,72
120 240	**1**	1,08	1,09	1,05	0,96	0,82	0,65
90 270	**1**	1,01	0,96	0,88	0,77	0,65	0,51
60 300	**1**	0,94	0,81	0,67	0,54	0,42	0,32
30 330	**1**	0,9	0,71	0,46	0,29	0,19	0,13
0 360	**1**	0,88	0,7	0,47	0,12	0,05	**min 0,03**

Pozn.: (1100, 1150, 1200, 1250 kWh/m^2.rok x 12 měsíců x 10 sklonů = 480 výsledků v PC)

Skutečné hodnoty pro dopad na konkrétní plochu se získají vynásobením dopadu na horizontální plochu příslušným koeficientem. Jsou však zapotřebí tabulky koeficientů pro každý měsíc v roce (nebo jediná celoroční), které by měly být k dispozici pro různé zeměpisné oblasti.

BILANČNÍ VLIV DOPADAJÍCÍ ENERGIE NA NEPŘESNOU PLOCHU

Počítačem určený optimální sklon kolektorů je v praxi často obtížné dodržet (sklon s přesností až 0,5°). V tabulce 4 je určena dopadající energie čtyři stupně na každou stranu od „optimální polohy“. Výpočet je zpracován pro Prahu, květen, znečištění atmosféry $Z = 3$.

Tab. 4 *Měsíční bilance dopadající sluneční energie 4° na každou stranu od „optimální“ polohy [kWh/m^2.měs]*

Sklon	**Orientace [^{o}]**								
[^{o}]	**176**	**177**	**178**	**179**	**180**	**181**	**182**	**183**	**184**
34	266				266				266
33		267						267	
32			267		267		267		
31				268		268			
30	269		269		**269**		269		269
29				269		269			
28			270		270		270		
27		270						270	
26	270				270				270

Nepřesnost sklonu má větší vliv než nepřesnost orientace, není však zásadní. Větší efekt přinese pečlivější návrh a realizace celé solární soustavy.

VLIV STEJNÉ ZEMĚPISNÉ ŠÍŘKY PRO POLOHU 1

Jedná se o návrh např. typizované solární soustavy, kterou by bylo možné použít na stejné zeměpisné šířce (rovnoběžce) v celé bývalé republice. V tabulce 5 je výpočet měsíční bilance proveden pro tři města na stejné zeměpisné šířce, červen, horizontální rovina, zeměpisná šířka 49°, znečištění atmosféry $Z = 3$.

Tab. 5 *Měsíční bilance dopadající sluneční energie pro místa na stejné rovnoběžce*

Místo	**Zeměpisná délka [^{o}]**	**E_G [kWh/m^2.měs]**	**Prům. začátek oslunění [h]**	**Prům. konec oslunění [h]**	**Prům. denní oslunění [h]**
Prachatice	14	263	3:56	20:14	16:18
Třeboň	15	263	3:52	20:10	16:18
Prešov	21,2	263	3:27	19:45	16:18

Výpočtem se potvrzuje, že energetické působení na stejné zeměpisné šířce je stejné (záleží ovšem na místní poměrné oblačnosti a znečištění atmosféry). Mění se pouze čas v časovém pásmu, daný rotací Země.

VLIV STEJNÉ ZEMĚPISNÉ DÉLKY PRO POLOHU 1

Stejná úloha jako v předcházejícím kapitole řeší rozdílné energetické působení slunečního záření při návrhu solární soustavy na stejné zeměpisné délce (poledníku). Výpočet platí např. pro města od Vídně po Gdaňsk, viz tabulce 6. Výpočet pro 1. květen, 10:00 hod, orientace 135°, sklon 45°, znečištění atmosféry $Z = 3$.

Změna intenzity přímého slunečního záření je výrazná, směrem k jihu roste (Vídeň proti Gdaňsku např. +3 %, zatímco složka difusního záření zeměpisnou délkou tolik ovlivněna není. Přesto ani tato úloha realizaci orientace a sklonu kolektorů „na poledníku“ resp. od „jihu k severu“ ve střední Evropě reálně téměř neovlivňuje. Bilančně více záleží na skutečném počtu hodin přímého slunečního svitu, místní poměrné oblačnosti, znečištění atmosféry a kvalitě a provedení solární soustavy.

Tab. 6 *Okamžitý vliv dopadající sluneční energie pro místa na stejném poledníku*

Zeměpisná šířka [°]	I_P **[W/m²]**	I_D	**Azimut Slunce [°]**	**Výška Slunce [°]**	**γ [°]**
54	915	148	180,4	47,4	0
53	920	148	180,4	48,4	0
52	924	148	180,5	49,4	0
51	929	148	180,5	50,4	0
50	933	147	180,5	51,4	0
49	937	147	180,5	52,4	0
48	941	146	180,5	53,4	0

SKUTEČNÁ DOBA OSLUNĚNÍ V POROVNÁNÍ S TEORETICKOU DOBOU SLUNEČNÍHO SVITU

Nejdéle je vždy přímo osluněna horizontální plocha, po celou dobu od východu po západ Slunce. V tabulce 7 jsou určeny poměrné koeficienty pro různé orientace a sklony kolektorů. Vše platí i pro fasády objektů.

Tab. 7 *Redukční koeficienty oslunění různě osazených kolektorů k horizontální ploše*

Orientace [°]	**Sklon [°]**						
	0	**15**	**30**	**45**	**60**	**75**	**90**
Sever 0	1	1	1	1	1	0,57	0,43
30	1	1	1	1	0,65	0,49	0,40
60	1	0,93	0,82	0,69	0,59	0,50	0,44
Východ 90	1	0,89	0,79	0,70	0,62	0,56	0,50
120	1	0,89	0,80	0,74	0,68	0,62	0,56
150	1	0,89	0,82	0,77	0,72	0,66	0,60
Jih 180	1	0,88	0,81	0,75	0,7	0,64	0,57

Výpočet je proveden pro Prahu, červen, koeficient 1,0 odpovídá hodnotě 488 hodin 53 minut, tj. 67 % (2/3) hodin v měsíci. Pro každý měsíc je nutná samostatná tabulka. V současnosti tyto hodnoty určí PC. Pomocí této úlohy lze řešit i dobu přímého oslunění např. vertikálních i střešních oken navrhovaného domu apod.

ZÁVĚR

Řešené závislosti jsou pouze malou ukázkou možností počítačového řešení reálného využívání sluneční energie. Mnohdy poupravují odhady nebo zkušenosti, někde mohou být dokladem o správnosti různých názorů. V každém případě potvrzují, že nastoupená cesta aktivního i pasivního využívání sluneční energie má trvalý reálný fyzikálně a energeticky platný základ, na kterém lze dále stavět a řešit nové problémy a vytyčovat další směry vývoje.

LITERATURA

[1] PETERKA J., Řešení závislostí dopadající energie slunečního záření na plochu. Disertační práce, ČVUT Praha, 1982.

SEZNAM OZNAČENÍ

I_P	dopadající přímé sluneční záření	[W/m^2]
I_D	dopadající difusní sluneční záření	[W/m^2]
I_G	dopadající globální sluneční záření	[W/m^2]
E_G	dopadlá globální sluneční energie	[kWh/m^2.den], [kWh/m^2.měs], [kWh/m^2.rok]
γ	úhel normály plochy od Slunce	[^{o}]

PŘEDNOSTI A ÚSKALÍ HODNOCENÍ SOLÁRNÍCH SOUSTAV PODLE ČSN EN 15316-4-3

Tomáš Matuška

Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT v Praze
tomas.matuska@fs.cvut.cz

ANOTACE

Příspěvek se zabývá hodnocením solárních soustav podle normy ČSN EN 15316-4-3. Vysvětleno je pozadí a princip výpočtové metody (*f*-chart metoda) a je diskutován vlastní výpočet a používané vstupní údaje. Diskuse se soustředí především na skutečnosti, které v normě nejsou jasné, nicméně jsou nezbytné pro hlubší pochopení souvislostí výpočtu a správné zacházení s údaji v normě uvedenými.

ÚVOD

Hodnocení solárních tepelných soustav, jejichž přínosy jsou obecně závislé na řadě okrajových podmínek, od vlastní potřeby tepla v konkrétní aplikaci a využitelnosti produkované energie pro její krytí, přes parametry použitých solárních kolektorů, tepelné ztráty zásobníků a rozvodů potrubí kolektorového okruhu, nastavení regulačních parametrů až po klimatické údaje, sklon a orientaci solárních kolektorů. Spolehlivý nástroj pro určení zisků solárních soustav představují simulační modely s možností zadání většiny ovlivňujících parametrů. Modely simulují chování solární soustavy s krátkým časovým krokem často se zohledněním dynamických provozních stavů. Různé simulační nástroje (Polysun, T-sol, apod.) jsou v současné době dostupné i v českých verzích, avšak jejich správné použití je podmíněno znalostí nejen solárních soustav a jejich prvků (pro správné zadání detailních parametrů), ale také určité zkušenosti se simulačními výpočty [1].

Běžná projekční i auditorská praxe se s ohledem na složitost, časovou náročnost zvládnutí simulačních programů a také jejich cenu uchyluje ke zjednodušeným metodám výpočtu. Příkladem je například měsíční zjednodušená bilanční metoda [2], známá s programu Zelená úsporám, která nabízí „komfort“ zadání parametrů pouze solárního kolektoru (křivka účinnosti kolektoru a plocha apertury) a zbylé údaje jsou uvažovány jen paušálními hodnotami, konstantními v průběhu roku. To má samozřejmě vliv na věrohodnost výpočtu a je nutné mít dostatečný nadhled nad výsledky. Je třeba se především vyhnout hodnocení soustav významně předimenzovaných, poddimenzovaných či jinak „nestandardních“.

Od července 2007 je v souboru evropských norem pro hodnocení energetické náročnosti budov zahrnuta EN 15316-4-3 [3] určená pro hodnocení solárních tepelných soustav měsíční metodou. Pro širší použití v ČR stála norma od počátku zavedení v pozadí z několika důvodů. Tím prvním důvodem je předpoklad znalostí projektantů v oblasti teorie solárních kolektorů pro použití normy pro výpočet přínosů, ať již jde o vyjadřování křivky účinnosti kolektoru, správné chápání charakteristiky modifikátoru úhlu dopadu či význam neobvyklého slučování tepelné ztráty kolektoru a rozvodu do jediného parametru. Druhým důvodem je náročnost na použití řady vstupních údajů pro výpočet, které často projektant nemá od výrobce k dispozici jako jsou střední roční hodnota modifikátoru úhlu dopadu kolektoru či měrný tepelný výkon solárního výměníku. V neposlední řadě jsou zde i nestandardní a těžko uchopitelné zadávané vstupní údaje, číselně vybočující z běžně uvažovaných mezí, např. používání referenční teploty soustavy v hodnotách nad 100 °C či používání průměrných hodnot slunečního ozáření za 24 hodin (včetně noci). Na druhé straně, pokud má projektant potřebné údaje k dispozici,

přináší metoda výpočtu celou řadu výhod – předně hodnocení konkrétní soustavy s konkrétními prvky s definovanými vlastnostmi. Bohužel ke správnému pochopení výpočetního postupu samotný text normy příliš nepomáhá a citovaný zdroj, ze kterého výpočetní postup vychází je příliš teoretický. Následující text se proto snaží vyjasnit a diskutovat některá úskalí metody výpočtu a zároveň ukázat přednosti oproti zjednodušené bilanční metodě. Značení veličin v textu nevychází z citovaných zdrojů především pro přehlednost a pochopení souvislostí.

METODA F-CHART

Výpočetní postup pro hodnocení solárních soustav na základě vlastností prvků soustavy vychází v EN 15316-4-3 z metody *f*-chart [4], která byla vyvinuta pro hodnocení ročních tepelných zisků kapalinových a vzduchových solárních soustav pro vytápění a přípravu teplé vody a pro čistě přípravu teplé vody s minimální provozní teplotou 20 °C. Metoda poskytuje odhad solárního pokrytí potřeby tepla v dané soustavě na základě vstupních parametrů jako je plocha kolektorů A_k, typ kolektorů (parametry η_0, a_1, a_2), objem zásobníku V_{st}, potřeba tepla $Q_{p,c}$ a měrný tepelný výkon $(UA)_{hx}$ výměníku v primárním okruhu. Metoda *f*-chart je korelačním přístupem na základě výsledků stovek simulačních výpočtů tepelného chování solárních soustav. Okrajové podmínky simulací byly voleny různě v rámci tehdy prakticky využitelných návrhových hodnot [4]:

0,6	≤	$(\tau\alpha)_{e,n}$	≤	0,9	(optická účinnost kolektoru pro kolmý dopad)
5	≤	$F'_R \cdot A_k$	≤	120 m^2	(efektivní plocha kolektoru)
2,1	≤	U	≤	8,3 W/(m^2·K)	(součinitel prostupu tepla kolektoru)
30	≤	β	≤	90°	(sklon kolektorů)
83	≤	$(UA)_{hx}$	≤	667 W/K	(měrný výkon solárního výměníku)

Korelační vztah pro stanovení solárního pokrytí potřeby tepla pro přípravu teplé vody nebo vytápění vyjádřený rovnicí

$$f = 1{,}029 \cdot Y - 0{,}065 \cdot X - 0{,}245 \cdot Y^2 + 0{,}0018 \cdot X^2 + 0{,}0215 \cdot Y^3 \qquad (1)$$

je funkcí dvou bezrozměrných parametrů:

ztrátového parametru *X*, t.j. poměru tepelných ztrát kolektor-primární okruh k potřebě tepla v aplikaci, definovaného jako

$$X = \frac{A_k \cdot F'_R \cdot U \cdot (t_{ref} - \bar{t}_e) \cdot \Delta\tau}{Q_{p,c}} \cdot \left(\frac{V_{ref}}{V_{st}} \right)^{0,25} \qquad (2)$$

kde

A_k je vztažná plocha solárních kolektorů, v m^2;

F'_R efektivní tepelný přenosový součinitel solární kolektor-výměník;

U součinitel prostupu tepla solárního kolektoru, ve W/(m^2·K);

t_{ref} empiricky získaná hodnota teploty, ve °C;

u solárních soustav pro přípravu teplé vody: $t_{ref} = 11{,}6 + 1{,}18 \cdot t_{TV} + 3{,}86 \cdot t_{SV} - 1{,}32 \cdot \bar{t}_e$;

kde t_{TV} je požadovaná teplota teplé vody; t_{SV} je teplota studené vody;

u solárních kombinovaných soustav (teplá voda a vytápění): t_{ref} = 100 °C;

$\bar{t}_e$ průměrná měsíční venkovní teplota, ve °C;

$\Delta\tau$ počet sekund v měsíci, v s;

$Q_{p,c}$ celková měsíční potřeba tepla pro přípravu teplé vody nebo vytápění, v J;

V_{st} skutečný objem solárního zásobníku, v l;

V_{ref} referenční objem solárního zásobníku 75 l/m^2 plochy kolektoru, v l.

a **solárního parametru *Y*** jako poměru pohlceného slunečního záření kolektory k potřebě tepla v aplikaci, definovaného jako

$$Y = \frac{A_k \cdot F'_R \cdot (\overline{\tau\alpha}) \cdot \overline{H}_T \cdot n}{Q_{p,c}} \qquad (3)$$

kde

$(\overline{\tau\alpha})$ je průměrný měsíční součin pohltivosti absorbéru a propustnosti zasklení;

$\overline{H}_T$ průměrná měsíční dávka slunečního ozáření v rovině solárních kolektorů, v J/m^2;

n počet dní v měsíci.

Rovnice (2) a (3) mohou být dále rozepsány a upraveny na tvar

$$X = F_R \cdot U \times \frac{F'_R}{F_R} \times (t_{ref} - \bar{t}_e) \times \Delta\tau \times \frac{A_k}{Q_{p,c}} \times \left(\frac{V_{ref}}{V_{st}}\right)^{0,25} \qquad (4)$$

$$Y = F_R \cdot (\tau\alpha)_{e,n} \times \frac{F'_R}{F_R} \times \frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_{e,n}} \times \overline{H}_T \cdot n \times \frac{A_k}{Q_{p,c}} \qquad (5)$$

kde

$F_R \cdot U$ je redukovaný součinitel prostupu tepla kolektoru;
obecně se stanoví jako $F_R \cdot U = a_1 + a_2 \cdot (t_{k1} - t_e)$;

$F_R \cdot (\tau\alpha)_{e,n}$ účinnost solárního kolektoru při nulových tepelných ztrátách η_0, vztažená k teplotě na vstupu do kolektoru;

$\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_{e,n}}$ průměrný měsíční modifikátor úhlu dopadu;

F'_R / F_R činitel vyjadřující změnu produkce tepla solárním kolektorem vlivem zvýšených provozních teplot způsobených solárním výměníkem tepla, teoreticky definovaný jako

$$\frac{F'_R}{F_R} = \left[1 + \left(\frac{A_k \cdot F_R \cdot U}{(\dot{m} \cdot c)_c}\right) \cdot \left(\frac{(\dot{m} \cdot c)_c}{\varepsilon (\dot{m} \cdot c)_{min}} - 1\right)\right]^{-1} \qquad (6)$$

kde

$\dot{m} \cdot c$ je tepelná kapacita proudu kapaliny, ve W/K; index *c* značí kapalinu v kolektorovém okruhu, index *min* značí menší hodnotu z průtoků na obou stranách výměníku;

ε tepelná účinnost výměníku solárního okruhu.

Výpočet solárního pokrytí se provádí pro jednotlivé měsíce s použitím příslušných klimatických údajů. Pokud hodnoty solárního pokrytí v jednotlivých měsících překročí hodnotu 1 vezmou se rovny 1, podobně pokud podkročí hodnotu 0 (záporné hodnoty), uvažuje se pokrytí rovné 0.

POSTUP PODLE EN 15316-4-3

Norma EN 15316-4-3 obsahuje dvě výpočtové metody pro hodnocení solárních soustav. Metoda A používá údaje o soustavě jako celku, vycházející ze zkoušky podle EN 12976 [5] (průmyslové vyráběné kompaktní soustavy) nebo počítačových simulací. Metoda B, která je dále popsána, se používá pro solární soustavy stavěné na zakázku a používá údaje o prvcích (vlastnosti a parametry zjištěné zkouškami), ze kterých jsou sestaveny. Pro použití v metodě B byla *f*-chart metoda zjednodušena a řada parametrů byla významově zjednodušena. Na druhé straně byl výpočtový postupu rozšířen o tepelné ztráty potrubí primárního okruhu a odlišným způsobem byl stanoven vliv solárního výměníku tepla na produkci tepla kolektorem. V případě neznalosti hodnot některých parametrů pro výpočet norma udává paušální „penaltové“ hodnoty (horší z hlediska účinnosti). Parametry solárního kolektoru jsou uváděny v souladu s evropskými normami, křivka účinnosti solárního kolektoru je vztažena k střední teplotě teplonosné kapaliny a k ploše apertury kolektoru.

Kromě tepelných zisků dodaných solární soustavou $Q_{ss,u}$ stanovuje normový výpočet i další údaje potřebné v souvislosti s hodnocením energetické náročnosti budov:

- tepelné ztráty solárního zásobníku;
- spotřebu pomocné elektrické energie čerpadel a regulace v kolektorovém okruhu;
- využitelnou a využitou část pomocné elektrické energie;
- využitelné a využité tepelné ztráty solárního zásobníku.

Na rozdíl od *f*-chart metody se při výpočtu kombinované soustavy pro přípravu teplé vody a vytápění rozděluje pro účely výpočtu plocha kolektoru i objem zásobníku podle potřeby tepla pro jednotlivé účely v daném měsíci a pokrytí těchto potřeb solárními zisky se vyhodnocuje odděleně.

Níže jsou přehledně ve stejné syntaxi zápisu vztahů (4) a (5) uvedeny vztahy pro výpočet bezrozměrných parametrů *X* a *Y* podle ČSN EN 15316-4-3

$$X = U_{\text{loop}} \times \eta_{\text{loop}} \times \left(t_{\text{ref}} - \bar{t}_{\text{e}}\right) \times \Delta\tau \times \frac{A_{\text{k}}}{1000 \cdot Q_{\text{p,c}}} \times \left(\frac{V_{\text{ref}}}{V_{\text{st}}}\right)^{0,25} \qquad (7)$$

kde

U_{loop} je celkový součinitel prostupu tepla (tepelné ztráty) kolektorového okruhu (solárního kolektoru a potrubního rozvodu), ve W/(m^2·K); stanoví se podle vztahu

$$U_{\text{loop}} = a_1 + a_2 \cdot 40 + \frac{(U \cdot L)_{\text{loop,p}}}{A_{\text{k}}} \qquad (8)$$

kde

$(U \cdot L)_{\text{loop,p}}$ je měrná tepelná ztráta všech potrubí v kolektorovém okruhu, ve W/K (v normě je nevhodně značena $U_{\text{loop,p}}$);

a_1 lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru, ve W/(m^2·K);

a_2 kvadratický souč. tepelné ztráty kolektoru, ve W/(m^2·K^2);

η_{loop} účinnostní součinitel kolektorového okruhu zohledňující vliv výměníku tepla; typicky je $\eta_{\text{loop}} = 0{,}9$, jinak se stanoví jako

$$\eta_{\text{loop}} = 1 - \frac{\eta_0 \cdot A_{\text{k}} \cdot a_1}{(UA)_{\text{hx}}} \qquad (9)$$

kde

$(UA)_{\text{hx}}$ je měrný tepelný výkon solárního výměníku tepla, ve W/K (v normě je zavádějícím způsobem značen $(U_{\text{st}})_{\text{hx}}$).

Poznámka: Nevhodné či zavádějící značení měrných tepelných ztrát v normě jako součinitele prostupu tepla může působit obtíže při pochopení samotných vztahů a číselného zadání parametru.

$$Y = \eta_0 \times \eta_{\text{loop}} \times IAM \times \overline{G}_{\text{T}} \cdot \Delta\tau \times \frac{A_{\text{k}}}{Q_{\text{p,c}}} \qquad (10)$$

kde

IAM je průměrný modifikátor úhlu dopadu, zde modifikátor úhlu dopadu stanovený pro úhel 50°;

$\overline{G}_{\text{T}}$ průměrné sluneční ozáření v rovině kolektoru během uvažovaného časového úseku (měsíc), ve W/m^2.

V obou vztazích je potřeba tepla na přípravu teplé vody a/nebo vytápění $Q_{\text{p,c}}$ stanovena v kWh/měs a $\Delta\tau$ je počet hodin v měsíci. Vlastní využité tepelné zisky solární soustavy v jednotlivých měsících se stanoví jako

$$Q_{\text{ss,u}} = f \cdot Q_{\text{p,c}} \qquad (11)$$

kde

f je solární pokrytí potřeby tepla v daném měsíci stanovené z korelačního vztahu (1).

ÚSKALÍ METODY

Použití výpočtového postupu striktně se držícího znění normy bez pochopení souvislostí může mít dopad na nevhodné použití vstupních údajů a kvalitu výsledků výpočtu.

Rozsah okrajových podmínek metody

Jak již bylo uvedeno, metoda *f*-chart byla vyvinuta v 70. letech minulého století jako polynomická korelace na základě výsledků velkého počtu simulačních výpočtů v určitém

rozsahu tehdejších návrhových parametrů solárních soustav. Zatím nezodpovězenou otázkou je, do jaké míry se změní platnost korelační metody pro hodnoty mimo rozsah okrajových podmínek simulací, např. při použití dnes běžně dostupných trubkových vakuových kolektorů s nízkou tepelnou ztrátou pod 2,1 W/m^{2}K nebo pro velkoplošné solární soustavy s plochou kolektorů nad cca 130 m^2.

Křivka účinnosti

Převzetím metody z amerického prostředí do evropského vzniká disproporce daná odlišným vyjádřením křivky účinnosti. Zatímco v severní Americe se účinnost tradičně vyjadřuje v závislosti na teplotě kapaliny na vstupu do kolektoru t_{k1}, v Evropě je vyjádření vztažené ke střední teplotě kapaliny t_m

USA: $$\eta = F_R A_k \left[\tau\alpha - U \frac{t_{k1} - t_e}{G} \right] \quad (12)$$

Evropa: $$\eta = F' A_k \left[\tau\alpha - U \frac{t_m - t_e}{G} \right] \quad (13)$$

kde

t_{k1} je teplota na vstupu do kolektoru, ve °C;

t_m střední teplota kapaliny v kolektorech, ve °C;

F_R tepelný přenosový součinitel solárního kolektoru;

F' účinnostní činitel solárního kolektoru.

Referenční teplota

Projektantovi znalému provozu solárních soustav může vzbudit pochybnosti výpočet referenční teploty solární soustavy v jednotlivých měsících roku. Vypočtené teploty pohybující se okolo 140 °C pro soustavu solární přípravy teplé vody a 100 °C pro solární vytápění nemají s běžně dosahovanými teplotami v solární soustavě nic společného. Lze spíše konstatovat, že se jedná o empiricky zjištěné hodnoty teplot pro zajištění správného výsledku korelačního výpočtu porovnáním se simulací, jako takové je chápat a nepokoušet se zadávat jiné vlastní, zdánlivě „reálnější“ hodnoty.

Sluneční ozáření

Průměrné sluneční ozáření (ve W/m^2) vstupující do výpočtu solárního parametru Y je průměrná hodnota za 24 hodin, resp. za celý výpočtový úsek, tj. měsíc. Vzhledem k tomu, že do časového úseku se započítává i noc, vychází číselné hodnoty velmi nízké, řádově okolo 200 W/m^2. Takové hodnoty slunečního ozáření připomínají zimní zatažený den. Je nutné se jednoduše oprostit od fyzikálního významu, který veličina s označením průměrné sluneční ozáření běžně má (průměrná hodnota během doby slunečního svitu).

Modifikátor úhlu dopadu

Křivka modifikátoru úhlu dopadu se účinně používá v simulačních metodách s krokem jedné hodiny a kratším, neboť vyjadřuje aktuální změnu optické účinnosti kolektoru s měnícím se úhlem dopadu slunečního záření. Uplatnění modifikátoru úhlu dopadu v měsíční metodě spočívá v použití integrální hodnoty pro určitý rozsah úhlů dopadu slunečního záření určený sklonem kolektoru. Výpočetní postup používá s výhodou paušální hodnotu modifikátoru pro úhel dopadu 50°, neboť tato hodnota bývá součástí protokolu o zkoušce solárního kolektoru. Hodnota modifikátoru IAM_{50} je vhodná pro tvar křivky modifikátoru plochých kolektorů,

který je v podstatě pro všechny typy plochých kolektorů shodný. Nicméně v případě trubkových vakuových kolektorů s válcovým absorbérem jsou křivky modifikátoru úhlu dopadu pro různé typy kolektorů tvarem velmi odlišné. Jsou navíc stanovovány nezávisle ve dvou rovinách (podélné a příčné) a norma nestanovuje jakým způsobem dospět ke stanovení integrální hodnoty. Běžná hodnota modifikátoru uváděná u trubkových kolektorů s válcovým absorbérem v normě (IAM = 1,0) je zavádějící, mezi jednotlivými typy se integrální hodnota může lišit v rozmezí od 0,9 do 1,2 (velká variabilita kvality trubkových kolektorů na trhu). Pro relevantní výpočet by bylo nutné získat buď optickou charakteristiku konkrétního kolektoru od výrobce (protokol o zkoušce) nebo přímo integrální hodnotu. Obecným problémem pak je zejména v ČR, že řada firem (včetně těch s vysokým podílem na trhu) ve svých podkladech charakteristiky ani integrální hodnoty modifikátoru úhlu dopadu neuvádí, případně technická podpora tento termín ani nezná.

Zavádějící je také v normě uvedená hodnota modifikátoru pro nezasklené kolektory IAM = 1,0 odpovídající pouze absorbérům tvořeným černými trubkami. V případě plošných absorbérů bude hodnota menší než 0,95 (podobně jako u plochých kolektorů).

PŘEDNOSTI METODY

Hlavní předností uvedeného výpočtového postupu, přestože se jedná o zjednodušenou měsíční metodu, je hodnocení solární soustavy se zohledněním parametrů a vlastností konkrétních prvků soustavy (kolektor, zásobník, výměník, potrubí), které posuzovatel může získat z projektové dokumentace, případně od výrobce.

Velikost solárního zásobníku

Z praxe i teoretických výpočtů [5] je známé, že optimální velikost krátkodobého solárního zásobníku se pohybuje mezi 50 až 70 l/m^2 plochy solárních kolektorů v podstatě bez výraznějšího ohledu na druh či typ použitých kolektorů. Zatímco při zvyšování objemu zásobníku pro danou plochu kolektorů nad 70 l/m^2 se solární pokrytí již výrazně nemění, podkročení poměrné hodnoty 40 l/m^2 vede k výraznému poklesu pokrytí. Výpočtová metoda zohledňuje návrh velikosti zásobníku příslušnou funkcí s referenční hodnotou 75 l/m^2, která zavádí výše popsaný trend.

Výkon solárního výměníku

Metoda umožňuje zohlednit při hodnocení solární soustavy i vliv velikosti výměníku, vyjádřené jeho měrným výkonem $(UA)_{hx}$. V případě deskových výměníků u velkých solárních soustav projektant převezme tyto údaje z návrhového výpočtu výměníku v některém z výpočtových softwarů výrobců výměníků. Při hodnocení malých solárních soustav s vnitřními trubkovými výměníky vestavěnými v solárních zásobnících nejsou hodnoty měrných výkonů výměníků od výrobců zásobníků zpravidla k dispozici. Hodnotu $(UA)_{hx}$ lze pak přibližně stanovit z teplosměnné plochy výměníku A (výrobce uvádí) a součinitele prostupu tepla U pohybujícího se průměrně okolo hodnoty 200 W/(m^2·K).

Tepelné ztráty potrubí

Tepelné ztráty potrubí, zvláště u maloplošných solárních soustav, významně ovlivňují efektivitu a dosahované přínosy. Metoda umožňuje zahrnout do hodnocení vliv ztrát primárního okruhu buď paušálním způsobem (v závislosti na ploše kolektorů) nebo detailním výpočtem na základě znalosti průměru a délky potrubí, tloušťky a materiálu izolace. Tyto údaje jsou snadno získatelné z projektu solární soustavy a posuzovatel by je měl mít k dispozici.

ZÁVĚR

Zavedení evropské normy pro hodnocení solárních soustav přináší na jedné straně osvědčený nástroj, který zahrnuje do stanovení energetických přínosů vliv konkrétně použitých prvků soustavy (objem zásobníku, výkon solárního výměníku, tepelné ztráty potrubí). Na druhé straně, pro posuzovatele, který není znalý teoretických základů výpočtové metody a solárních kolektorů a soustav obecně, může přinášet řadu nedorozumění při jejím použití.

LITERATURA

[1] MATUŠKA T. Simulační nástroje pro hodnocení solárních soustav. *Portál tzb-info*, rubrika Solární kolektory. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory>.

[2] TNI 730302 *Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup*. ÚNMZ 2009.

[3] ČSN EN 15316-4-3 *Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy – Část 4-3: Výroba tepla na vytápění, tepelné sluneční soustavy*, ČNI, 2008.

[3] ČSN EN 15316-4-3 *Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetických potřeb a účinností soustavy – Část 4-3: Výroba tepla na vytápění, tepelné sluneční soustavy*, ČNI, 2008.

[4] DUFFIE J. A., BECKMAN W. A. *Solar enginnering of thermal processes*. 3. vydání. Wiley 2006, ISBN 13-978-0-471-69867-8.

[5] MATUŠKA T. Navrhování solárních zásobníků. *Alternativní energie*, roč. 2012, č. 1, ISSN 1212-1673.

NAVRHOVANIE SOLÁRNYCH TERMICKÝCH SYSTÉMOV PRE BYTOVÉ DOMY

Alfréd Gottas

THERMO/SOLAR Žiar s.r.o.
gottas@thermosolar.sk

ANOTÁCIA

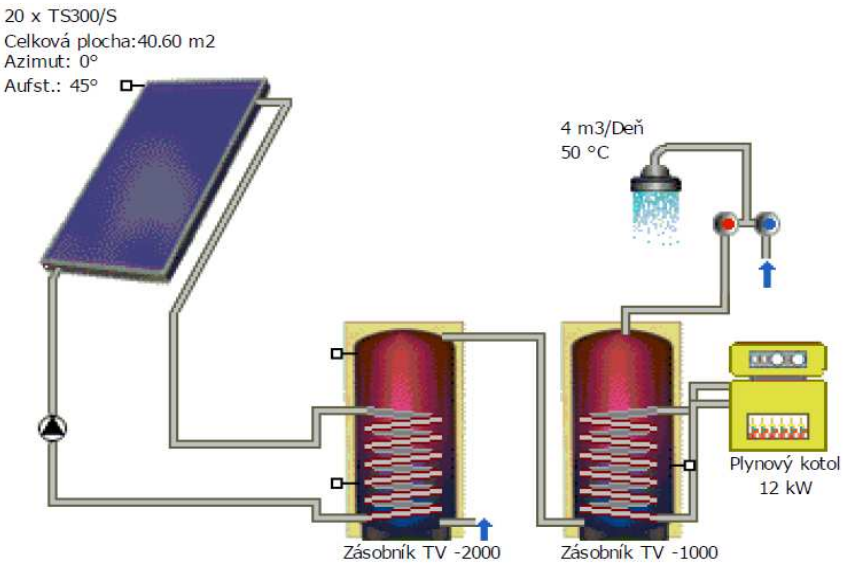
Príspevok pojednáva o rôznych spôsoboch návrhu solárnych systémov pre bytové domy z hľadiska pokrytia potrieb tepla a nákladov na realizáciu týchto systémov. Poskytuje prehľad rôznych riešení, od tých, ktoré preferujú najlepšiu možnú ekonomiku a tým aj návratnosť až po riešenia s vysokou úsporou nákladov, avšak radikálne vyššími investičnými nákladmi. Na príklade reálnych systémov je poukázané na technické, ale aj ekonomické obmedzenia takýchto systémov.

ÚVOD

V praxi sa niekedy stretávame s nerealistickými očakávaniami investorov alebo projektantov, čo sa týka úspor energie na ohrev TÚV pomocou solárnych termických systémov. Cieľom nasledujúceho textu je objasniť niektoré technické a ekonomické aspekty využívania väčších systémov a naznačiť reálne dosiahnuteľné úspory energie.

NÁVRH VEĽKOSTI SOLÁRNEHO SYSTÉMU V BYTOVOM DOME VZHĽADOM NA SPOTREBU TÚV

Na určenie počtu kolektorov a objemu solárneho bojlera potrebujeme poznať predovšetkým dennú spotrebu TÚV – v dimenzácii použijeme 4000 litrov (100 obyvateľov, 40 litrov na obyvateľa za deň). Pre zjednodušenie budeme brať do úvahy len ohrev studenej vody (v priemere 10 °C) na požadovanú teplotu (50 °C) v solárnom bojleri a zanedbáme energiu, potrebnú na vykrytie strát tepla v rozvodoch TÚV a v cirkulačnom potrubí (tieto straty, ktoré môžu v niektorých bytových domoch dosahovať až 60 % celkovej spotreby energie na TÚV, je možné následne zohľadniť). Uvažovaný systém je umiestnený v Prievidzi, Slovensko, dopadajúce žiarenie 1121 kWh/m^2.rok [3].



Obr. 1 *Principiálna schéma zapojenia solárneho systému na TÚV v bytovom dome [1]*

Pri inštalácii 20 kolektorov TS300 (absorbčná plocha jedného kolektora je 1,78 m^2) a solárneho bojlera s objemom 2000 litrov je dosiahnutá úspora energie za rok asi 37 %, oproti stavu pred inštaláciou kolektorov.

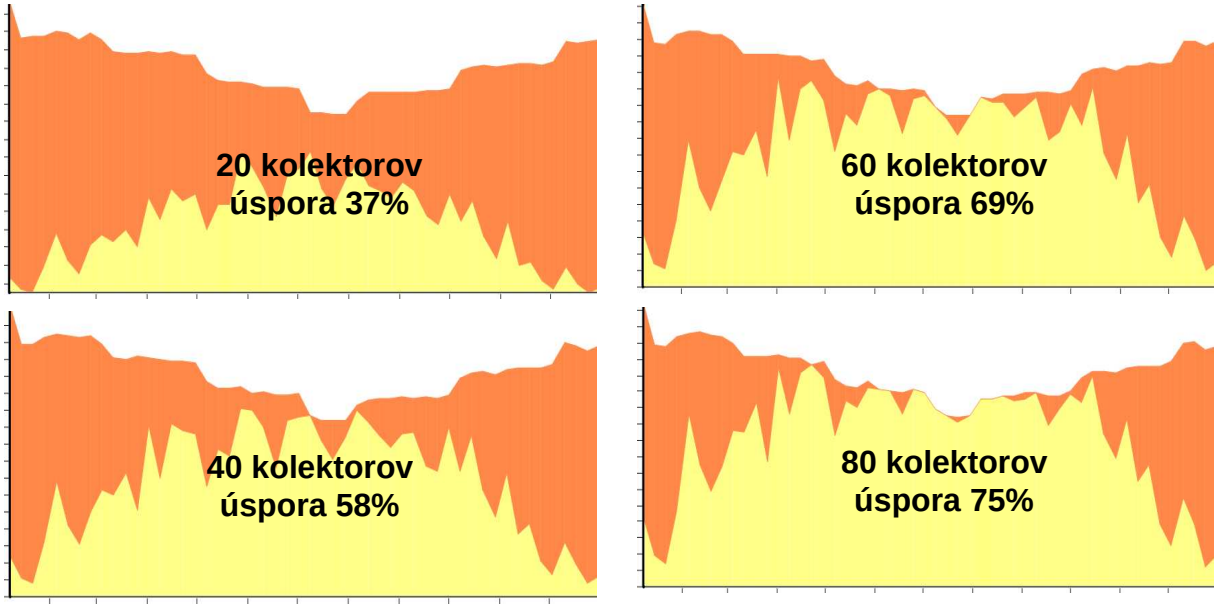
Na porovnanie budeme postupne zvyšovať počet kolektorov a objem solárneho bojlera a pomocou programu T*SOL Expert 4.5 budeme sledovať, ako sa mení energetická úspora.

Tab. 1 *Porovnanie veľkosti kolektorového poľa a merného výkonu kolektorov [1]*

Počet kolektorov TS 300	Objem solárneho bojlera (litre)	Energia zo solárneho systému	Ročná úspora z energie na ohrev TÚV z 10 °C na 50 °C (bez strát v rozvodoch a cirkulácii)	Merný energetický zisk z kolektorov
20	2000	25 MWh	37 %	700 kWh/m^2.rok
40	4000	40 MWh	58 %	560 kWh/m^2.rok
60	6000	47 MWh	69 %	440 kWh/m^2.rok
80	8000	52 MWh	75 %	360 kWh/m^2.rok

Ako vidíme, zvyšovaním počtu kolektorov nám nestúpa priamo úmerne aj množstvo získanej slnečnej energie, resp. úspora „platenej“ energie z teplovodného rozvodu, plynu, tuhého paliva, elektriny a podobne. Dôvodom je to, že pre fungovanie solárnych termických systémov existujú (okrem iného) tieto dva limitujúce faktory:

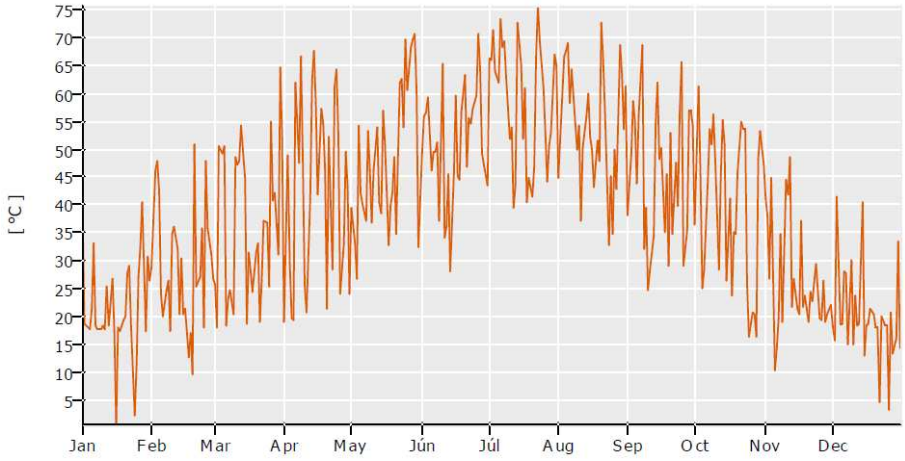
- ohraničený maximálny denný energetický zisk zo solárneho systému kvôli ohraničenej dennej spotrebe TÚV
- obmedzenie účinnosti solárneho termického kolektora vyplývajúce z fyzikálneho princípu jeho fungovania



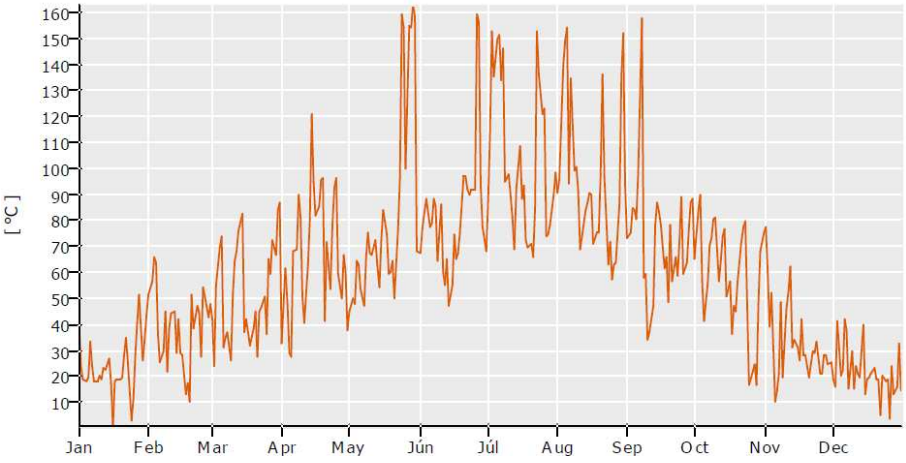
Obr. 2 *Priebehy ročnej úspory z energie na ohrev TÚV [1]*

OHRANIČENÝ MAXIMÁLNY DENNÝ ENERGETICKÝ ZISK ZO SOLÁRNEHO SYSTÉMU KVÔLI OHRANIČENEJ DENNEJ SPOTREBE TÚV

Zvýšením počtu kolektorov z 20 na 40, 60 alebo 80 sme síce schopní získať zo slnka viac energie, ale otázkou je, či dokážeme túto energiu v daný alebo nasledujúci deň využiť, prípadne či ju dokážeme akumulovať na neskoršie použitie. Pri nezmenenej dennej spotrebe TÚV (4000 litrov/deň) a pri 60, resp. 80 kusoch kolektorov nastane v najteplejších (letných) obdobiach roka situácia, keď kolektory od rána do napríklad 14-tej hodiny popoludní bez problémov ohrejú celú dennú spotrebu TÚV v bojleri na požadovanú teplotu a zvyšok času do západu slnka budú jednoducho nevyužité. Takýto stav slabého využitia kolektorov, ktorý je spôsobený tým, že sme inštalovali relatívne veľké množstvo kolektorov vzhľadom na dennú spotrebu vody, nám samozrejme zníži ročný energetický zisk z 1 m^2 inštalovanej kolektorovej plochy. Akumulácia tepla na 2 a viac dní, alebo dokonca na dlhšie obdobie, sa v súčasnosti v bežnej praxi pri väčších solárnych termických systémoch nepoužíva (fyzikálne, technické, priestorové, investičné a iné obmedzenia). Maximálny „rozumný“ počet kolektorov je taký, ktorý pri danej spotrebe TÚV nemá veľké letné prebytky nevyužitého tepla. Letné prehrievanie nespôsobuje pri kvalitných kolektoroch a ďalších komponentoch žiadne technické problémy a má len malý vplyv na životnosť teplonosnej kvapaliny v solárnom okruhu, výrazne však vplýva na merný ročný energetický zisk inštalovaných kolektorov (kWh z 1 m^2) a teda aj na návratnosť.



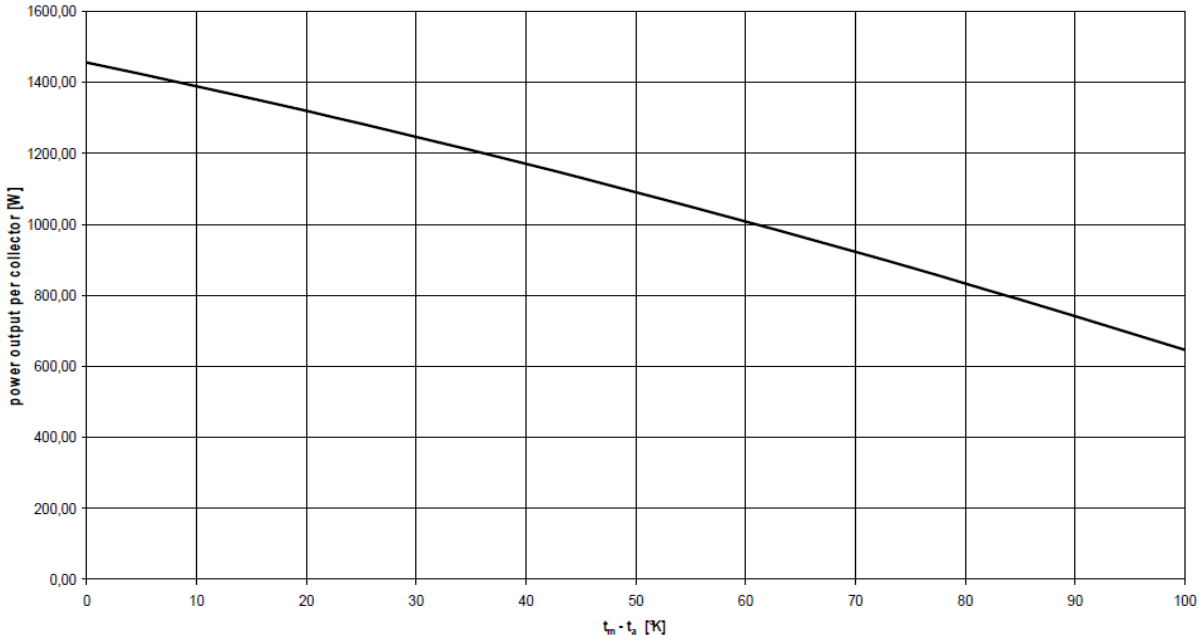
Obr. 3 *Maximálne teploty kolektorov v systéme s 20 kolektormi [1]*



Obr. 4 *Maximálne teploty kolektorov v systéme s 80 kolektormi [1]*

OBMEDZENIE ÚČINNOSTI SLNEČNÉHO TERMICKÉHO KOLEKTORA VYPLÝVAJÚCE Z FYZIKÁLNEHO PRINCÍPU JEHO FUNGOVANIA

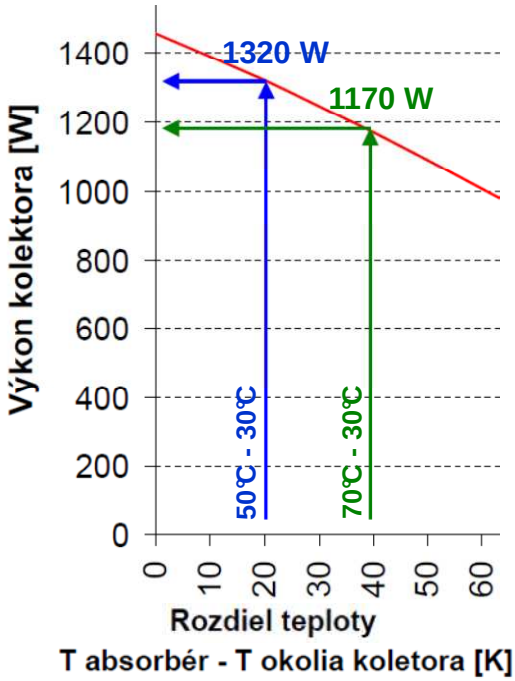
V predchádzajúcom texte sme varianty so 60 a 80 kolektormi vylúčili kvôli nevyužitým letným prebytkom tepla. To pri variantoch s nižším počtom kolektorov nenastáva, avšak ako sme videli vyššie v texte, zdvojnásobenie počtu kolektorov z 20 na 40 neprinieslo dvojnásobnú úsporu energie. Dôvodom je to, že čím je na výstupe z kolektora nižšia teplota kvapaliny, tým účinnejšie kolektor premieňa dopadnuté slnečné žiarenie na využiteľné teplo. Teda lepšie chladený kolektor „vyprodukuje“ pri rovnakých podmienkach viac energie. Je to spôsobené tým, že straty tepla z kolektora do okolia sa zväčšujú so stúpajúcou požadovanou teplotou na výstupe kolektora – chladnejší kolektor premení väčšiu časť zachyteného slnečného žiarenia na využiteľné teplo vo forme zohriatej teplonosnej kvapaliny ako teplejší kolektor.



Obr. 4 *Výkon kolektora TS300 (absorbčná plocha 1,78 m^2) pri solárnom žiarení 1000 W/ m^2 v závislosti od rozdielu teploty absorbéra a okolitého vzduchu [2]*

Dvadsať inštalovaných kolektorov by bolo vďaka 4000litrovej dennej spotrebe obyvateľov schladených (cez výmenník a bojler) natoľko, že aj počas najhorúcejších slnečných dní by solárny systém zabezpečoval len predohrev studenej vody na teplotu maximálne 30 °C. Doohrev na požadovaných 50 °C by musel celoročne zabezpečiť iný zdroj tepla (napr. kotol). Pri tomto režime „celoročného predohrevu“ (poddimenzovaný počet kolektorov vzhľadom na dennú spotrebu TÚV) dokážeme z 1 m^2 kolektorovej plochy v našom prípade ročne vyťažiť až 700 kWh energie (viz tabulka 1).

Ak zvýšime počet kolektorov na 40, získame celkovo zo slnka viac energie, ale kolektory budú pri nezmenenej dennej spotrebe TÚV (4000 litrov/deň) menej ochladzované ako v predchádzajúcom prípade a z 1 m^2 inštalovanej plochy získame ročne len asi 560 kWh tepla (viz tabulka 1). Vďaka vyššiemu počtu kolektorov však dokážeme počas najteplejších letných dní ohriať vodu kolektormi až na požadovaných 50 °C a časť roka nemusíme využívať iný zdroj tepla.



Obr. 5 *Okamžitý výkon kolektora TS300 v závislosti od rozdielu teploty absorbéra a okolitého vzduchu*

PODDIMENZOVANÉ SOLÁRNE SYSTÉMY S VEĽKÝM POČTOM KOLEKTOROV

Veľké systémy na TÚV s desiatkami alebo stovkami kolektorov sa nezriedka navrhujú ako „poddimenzované“ a pokrývajú menej ako 15 % z celkovej potreby energie. V takýchto prípadoch kolektory pracujú veľmi účinne (priemerný ročný energetický zisk z 1 m^2 kolektorovej plochy môže dosiahnuť viac ako 800 kWh/(m^2.rok), čo zlepšuje návratnosť takýchto veľkých investícií. Okrem toho, pri objektoch s veľkou celkovou spotrebou TÚV, ako veľké nemocnice, hotelové komplexy a podobne, je často limitujúcim faktorom miesto na inštaláciu kolektorov.

VPLYV ROČNÉHO PRIEBEHU SPOTREBY NA NÁVRH VEĽKOSTI SYSTÉMU A ENERGETICKÉ POKRYTIE

Sezónna nerovnomernosť spotreby TÚV môže energetické parametre výrazne zlepšiť (napríklad rekreačné zariadenia s najväčším využitím počas letnej sezóny) alebo ich môže zhoršiť (napríklad školy, školské jedálne, internáty s nízkou spotrebou TÚV počas letných prázdnin).

ZÁVER

„Rozumne“ dimenzovaný väčší solárny systém, pri ktorom počas najteplejšieho obdobia roka dokážeme využiť celý výkon inštalovaných kolektorov, pokrýva v prípade rovnomernej ročnej spotreby TÚV (napr. v bytových domoch) max. 50-60 % energie za rok. Prekročenie tejto hodnoty znamená neefektívnu investíciu do zbytočne veľkého systému.

LITERATURA

[1] T*SOL Expert 4.5, Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH Berlin, DE
[2] Skúšobný protokol 2.04.00519.1.0-3-LT, Arsenal Research GmbH Wien, AT
[3] Meteonorm v.6.1., databanka klimatických údajov, Meteotest Bern, CH

VLIV STAGNAČNÍCH STAVŮ NA SOLÁRNÍ SOUSTAVY

Petr Kramoliš[1], Mojmír Vrtek[2], Stanislav Plaček[2]

[1]Projektant solárních zařízení, Projekce OZE
[2] Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
kramolis@mybox.cz, mojmir.vrtek@vsb.cz, stanislav.placek@vsb.cz

ANOTACE
Příspěvek se zabývá popisem a modelováním stagnačních stavů v solárních kolektorech, kdy již nelze využít možný tepelný výkon kolektorů z důvodu přebytku produkovaného tepla. V těchto případech je jednou z možností zastavit průtok teplonosné látky a kolektory ponechat v klidovém stavu, kdy dojde k energetické rovnováze mezi tepelnými zisky kolektorů a jejich tepelnými ztrátami, případně i tepelnými ztrátami potrubní části soustavy navazující bezprostředně na kolektorové pole. Ve většině případů systémů s kvalitními solárními kolektory pak dochází v tomto stavu k vypařování teplonosné látky. Používané nemrznoucí směsi na bázi vodního roztoku propylenglykolu patří mezi tzv. zeotropní směsi, u kterých je teplotní průběh vypařování odlišný od vypařovacího děje čisté vody či jiných čistých látek. V příspěvku jsou popsány jak jednotlivé fáze této stagnace, tak je proveden rozbor chování soustav s různým poměrem objemu kolektorů a objemu expanzní nádoby.

ÚVOD
Se zvětšujícími se solárními soustavami, ať již v sítích místních CZT nebo v průmyslu, dochází k nárůstu kolektorové plochy. Při snížení či zastavení odběru tepla ze soustavy, eventuálně výpadku elektrické energie, nastává přehřívání solárních kolektorů na vysoké teploty, které snižují životnost zařízení i teplonosné kapaliny. Tento problém je nutno řešit vždy individuálně s ohledem na hydraulické zapojení nejen absorpční plochy, ale zvláště vzhledem k zapojení celého kolektorového pole a soustavy. Zvláště důležitou roli zde hraje schopnost vyprazdňování kolektorů a velikost expanzní nádoby [4]. Výsledky pomohou řešit v praktické rovině problémy spojené se stagnačními stavy.

PROCES STAGNACE
Proces stagnace probíhá v 5 fázích [2], [5], které jsou dále popsány:

Fáze 1 – Roztažení kapaliny
Poté co se kapalina při zvýšení teploty zvětší svůj objem, začíná se odpařovat.

Fáze 2 – Vytlačení kapaliny z kolektoru prvním vytvořením páry
Zpočátku vznikající pára vytlačí velkou část horkého kapalného obsahu kolektoru do soustavy, a tím do expanzní nádoby pronikne také další kapalina, takže se tlak systému podstatně zvýší.

Fáze 3 – Vyprázdnění kolektoru – fáze s nasycenou párou
Pokud je později tímto způsobem kolektor prostupný pro páru, není již zbytková kapalina, která se ještě vyskytuje v kolektoru, vytlačována, ale musí se odpařit (sytá pára). Tato pára nyní může, podle jí přenášené energie, proniknout více nebo méně hluboko do soustavy a vtlačit další kapalinu do expanzní nádoby, tlak soustavy tak dále stoupá a dosahuje maximální hodnoty. Ve všech oblastech soustavy, kterých pára dosáhne, je dosaženo teplot, které odpovídají teplotě syté páry příslušného tlaku (přibližně 130 až 150 °C). V nepříznivých

případech tak může pára proniknout až k teplotně citlivým komponentám soustavy a poškodit je.

Fáze 4 – Vyprázdnění kolektoru – fáze s nasycenou párou a přehřátou párou

S přibývajícím odpařováním zbytkové kapaliny vysychá kolektor, je produkováno méně páry a dále se vyprazdňuje. Expanzní nádoba vtlačuje kapalinu zpět do soustavy a tlak klesá. Během toho, co je pára uvnitř suchého kolektoru přehřátá, a absorbér může dosahovat podle záření teplot až nad 200°C, klesají teploty nasycené páry mimo kolektor. Kapalina dosahuje úrovně spodního přívodu kolektoru. Tento stav může trvat několik hodin.

Fáze 5 – Opětovné naplnění kolektoru

Teprve když se solární ozáření a tím i teploty v kolektoru dostatečně sníží, je také kolektor znovu naplněn kapalinou.

Ukazatelem vyprazdňovací schopnosti kolektorů eventuálně polí je max. parní výkon v době stagnace. Nejvyšší je na konci fáze 3. U plochých kolektorů s dobrou schopností se vyprazdňovat dosahuje parní výkon 35 až 60 W/m^2 kolektorové plochy, u nepříznivých schopností 50 až 110 W/m^2. Při nižším tlaku v kolektorech výkon stoupá, při vyšším tlaku klesá (tlak určuje vypařovací teplotu, a tím i solární zisk kolektoru při stagnaci). Při vysokých hodnotách tvorby páry může pára pronikat až do strojovny, pokud nejsou použity chladiče (vzduchové, odpařovací). Vakuové trubkové kolektory mohou dosahovat max. výkonu při tvorbě syté páry 180 až 200 W/m^2 kolektorové plochy.

Z tohoto popisu průběhu stavu stagnace je zřejmé, že množství zbytkové kapaliny, která zůstává v kolektoru na konci fáze 2, podstatně rozhoduje o jeho chování ve stavu stagnace. Kolektory, popř. soustavy s dobrou schopností při vyprazdňování zařízení, vykazují velmi malé množství zbytkové kapaliny, a tím i nepatrné dosahy páry. U těchto soustav probíhá proces stagnace bez problémů, popř. nepozorován uživatelem. Naproti tomu mohou nepříznivé schopnosti zařízení při vyprazdňování vést k vysokým dosahům páry s přehřátím komponent systému.

Na vyprazdňovací schopnost kolektorů při stagnaci má zásadní vliv vnitřní propojení trubiček absorbéru, které mají mít alespoň jednu přípojku ve spodní části.

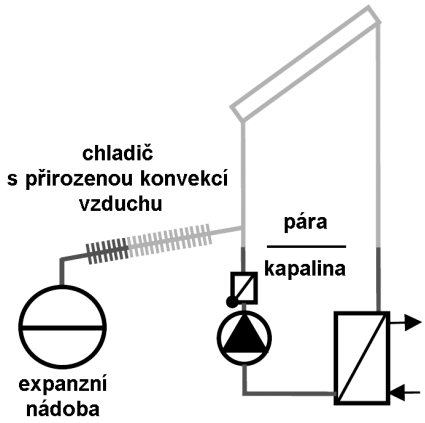
Dále je nutné pamatovat na celkové zapojení kolektorového pole. I kolektory s dobrou vyprazdňovací schopností, jsou-li nepříznivě zapojeny v kolektorovém poli (nepříznivá hydraulika soustavy), vykazují nepříznivé vlastnosti. Hlavní příčinou je nevhodné propojení kolektorů, které pak při stagnaci zůstávají zaplněny tekutinou. Základní principy pro jednotlivé kolektory musí být dodržovány **také** u kolektorových polí.

Vyprazdňování ovlivňuje taktéž umístění zpětné klapky u oběhového čerpadla [3]. Brání-li klapka na výtlaku průniku tekutiny do expanzní nádoby, zůstává pak volné pouze výstupní potrubí z kolektoru. Tím se ovšem potrubní síť zmenší na polovinu, a proto pára snadno dosáhne až do strojovny. Kolektor zůstává při stagnaci zaplněn kapalinou a vytváří tak z kolektoru parní kotel, dokud se kapalina nestlačí a nezahustí natolik, až var ustane. Přehřívání tekutiny však pokračuje dál se všemi důsledky [4]. Expanzní nádoba by měla být zapojena vůči zpětné klapce tak, aby teplonosná tekutina mohla do ní přitékat přívodním i zpětným potrubím solární soustavy.

Zapojení kolektoru má být takové, aby v době stagnace byly obě potrubí, průchodné směrem z kolektoru ke strojovně. To umožní odtok kapaliny a sníží tvorbu par na minimum.

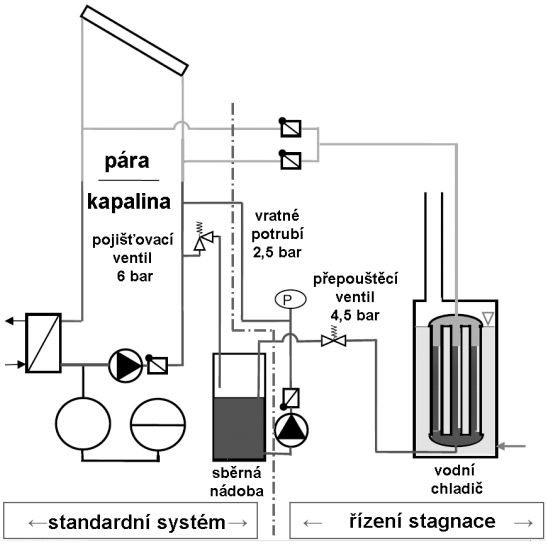
Nemůžeme-li změnit vlastnosti kolektorů ani zapojení kolektorového pole (vliv stavebního řešení), musíme využít pasivních nebo aktivních chladičů, které odvedou přebytečné solární

teplo. Pasivní chladiče (viz obrázek 1) se umísťují před expanzní nádobu jejich účelem je nepropustit horkou páru do expanzní nádoby [2]. Tvoří je žebrované trubky podobné jako u vzduchotechnických ohřívačů, pouze žebra jsou větší vzhledem k menší rychlosti proudícího vzduchu. Pro menší solární pole, do cca 60 m^2, je použití chladičů bez pomocné energie výhodné. Aktivní chladiče spoléhají na pomocnou energii pro ventilátor nebo čerpadlo. Tato řešení vyžadují náhradní zdroj a nejsou předmětem tohoto příspěvku.



Obr. 1 *Zapojení pasivního chladiče do solárního systému [7]*

Velmi zajímavé a účinné řešení je pomocí vodního odpařovacího chladiče (viz obrázek 2). Jedná se o beztlakovou nádobu, do které je ponořen trubkový vertikální parní chladič [7]. Páry vznikající v kolektorovém poli, jež nestačí zkondenzovat v potrubí, jsou ještě před strojovnou odvedeny do chladiče, kde kondenzují. Předané teplo ohřeje vodní obsah beztlaké nádoby, eventuálně odpaří jeho část. Vodní pára volně odchází do venkovního prostředí, zkondenzovaná pára směsi vody a propylenglykolu (dále jen PG) se vrací do sběrné nádoby, odkud je později čerpadlem vrácena do solární soustavy. Odpařená voda se automaticky doplní z vodovodního řádu pomocí přímočinného ventilu. Podstatné na tom řešení je to, že nepotřebuje žádnou externí energii, přičemž vodní obsah vystačí na několik period stagnace.



Obr. 2 *Řízení stagnačních stavů s použitím odpařovacího vodního chladiče [7]*

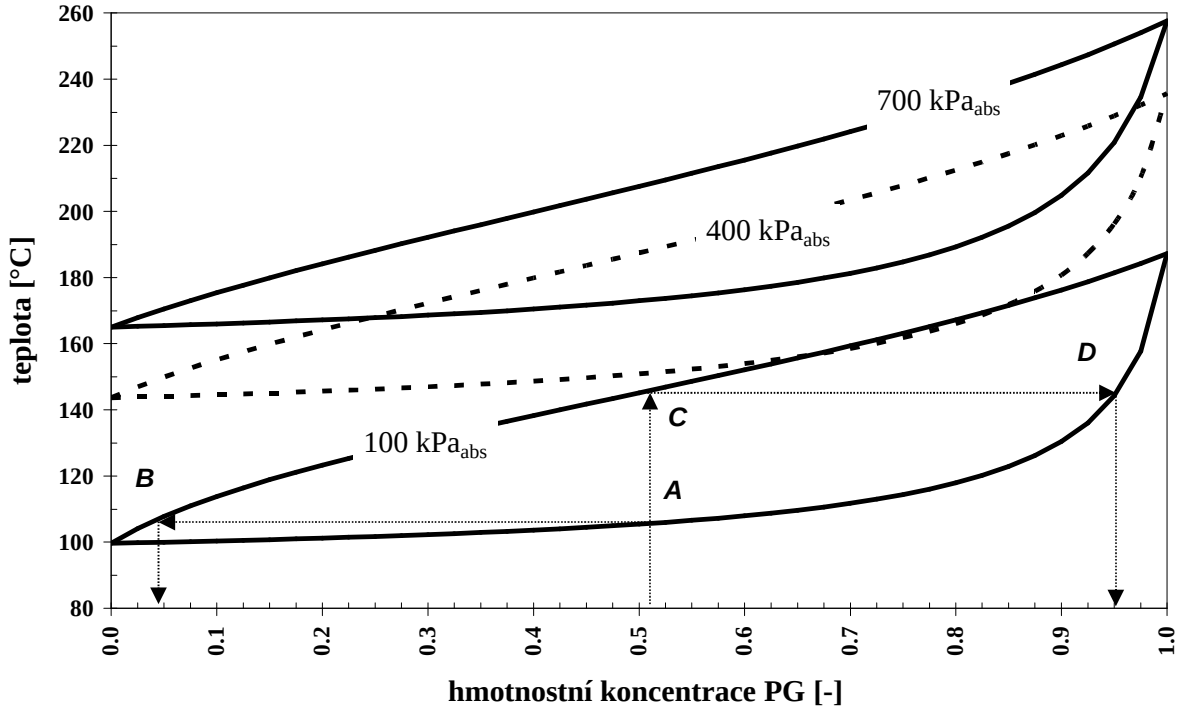
Měřením na zkušebních funkčních soustavách bylo ověřeno, že tvorba páry dosahuje tepelný výkon cca 30 až 90 W/m^2 kolektorové plochy, max. až 120 W/m^2. Tyto hodnoty způsobují, že pára dosáhne daleko od kolektorů, mnohdy až do strojovny. Orientačně je možno dosah určit

podle dimenzí potrubí a předpokládaných teplot syté páry směsi vody a PG. Při běžných rozměrech trubek, izolace a teplotě par cca 150 až 160 °C jsou měrné tepelné ztráty potrubí cca 27 až 38 W/bm [6]. Kolektorové pole 100 m^2 může mít vývin páry cca 8 až 9 kW. Pro kondenzaci v potrubí potřebujeme cca 250 až 300 bm. V případě velmi dobré vyprazdňovací schopnosti kolektoru to může být cca 100 až 120 bm.

VLASTNOSTI SMĚSI VODA – PROPYLENGLYKOL BĚHEM VYPAŘOVÁNÍ

Směs vody a PG tvoří v běžných provozních podmínkách tzv. zeotropní směs. Tuto směs lze v krátkosti charakterizovat tak, že v průběhu vypařovacího izobarického procesu dochází ke zvyšování výparné teploty, to znamená, že pokud se v průběhu vypařování růst teploty zastaví, zastaví se i samotná tvorba páry.

Chování směsi během vypařování je možno znázornit v binárním diagramu teplota-koncentrace na obrázku 3.



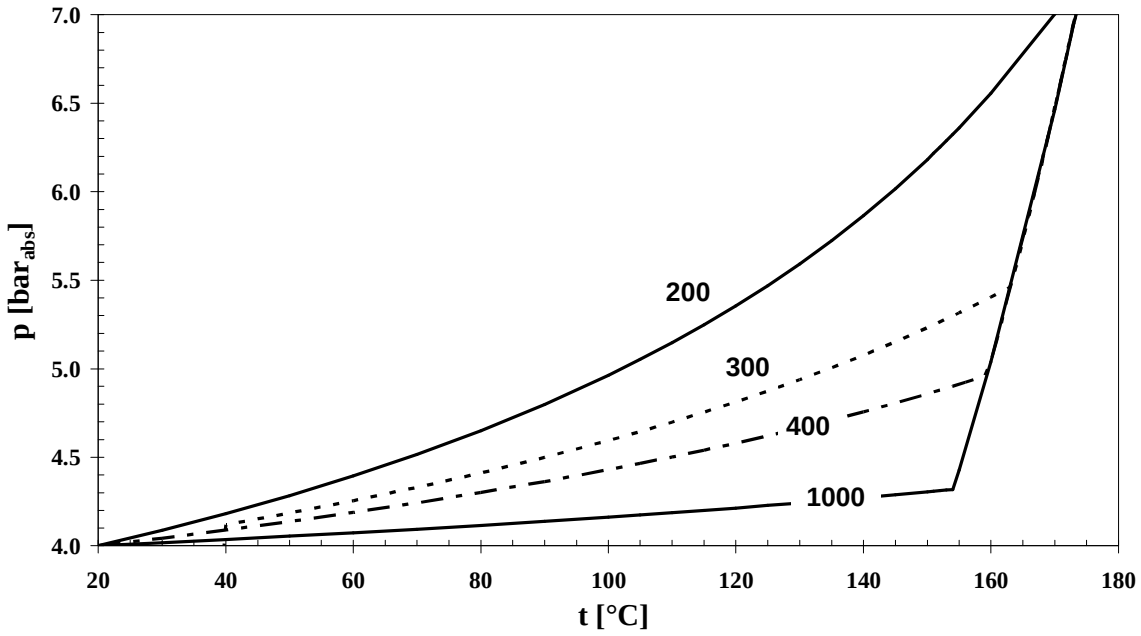
Obr. 3 *Binární diagramy vypařování směsi voda – PG pro různé tlaky*

Jako příklad bude vysvětleno vypařování směsi o hmotnostní koncentraci propylenglykolu 51 % při konstatním absolutním tlaku 100 kPa – viz spodní část obrázku 3. Dosáhne-li kapalina teploty odpovídající bodu A (stav vroucí kapaliny - cca 106 °C) začnou se z kapaliny vypuzovat páry směsi, které budou mít koncentraci odpovídající bodu B (cca 4 %). Jestliže kapalinu opustí páry bohatší na vodu, bude se kapalina s rostoucí teplotou postupně zahušťovat (po křivce A-D), přičemž se z ní budou odpařovat páry stále bohatší na PG a tudíž se oproti výchozí koncentraci (4 %) budou také zahušťovat (po křivce B-C). Těsně před dosažením teploty bodu C (cca 145 °C) budou mít páry téměř složení odpovídající výchozí koncentraci 51 %, ale poslední „kapky“ kapaliny budou mít koncentraci bodu D. Při teplotě bodu C bude směs ve stavu syté páry již s původní koncentrací 51 %, nad touto teplotou pak bude ve stavu přehřáté páry. Oblast mezi teplotami bodu A a C je oblast mokré páry. Rozdílu teplot mezi začátkem a koncem vypařování (A-C) se někdy říká teplotní skluz. Na obrázku jsou pak naznačeny křivky odpovídající vypařovacím tlakům 400 a 700 kPa.

SIMULACE STAVU SMĚSI VODA – PG BĚHEM VYPAŘOVÁNÍ V KOLEKTORU

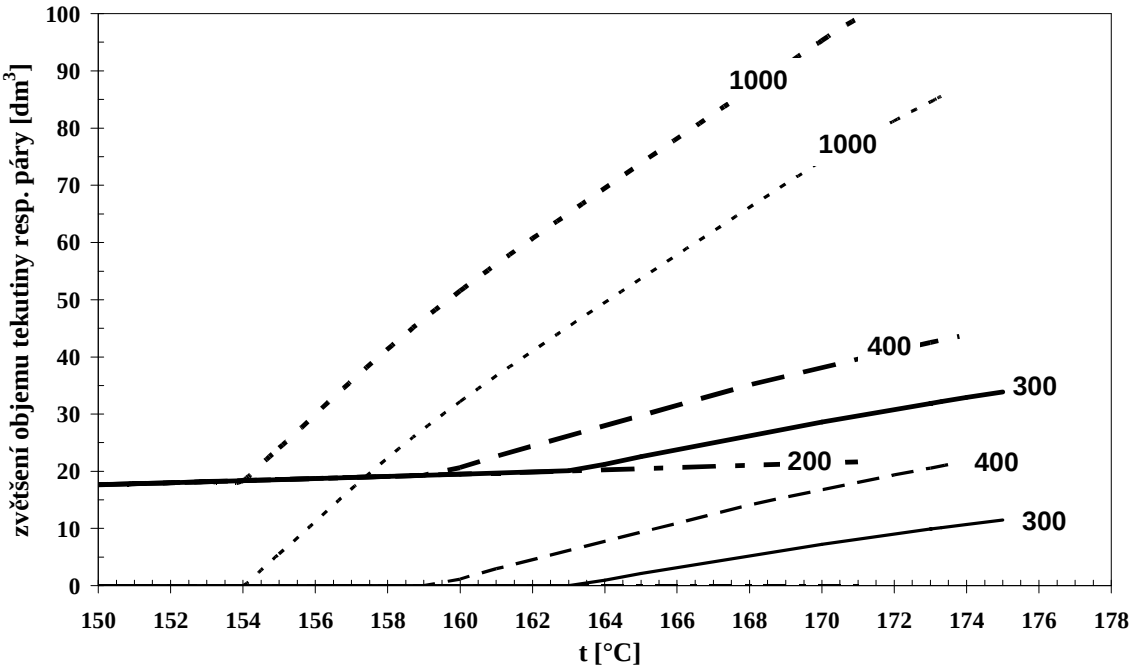
Za výchozí stav je v simulaci stagnace pokládán solární systém, který má kolektorové pole o činném objemu 100 litrů s absolutním tlakem 400 kPa při ustálené teplotě 20 °C, naplněný 51% směsí vody a PG. Simulace je zpracována pro několik velikostí expanzní nádoby, a to 200, 300, 400 litrů a jako extrém byla přidána nádoba s objemem 1000 litrů. Uvažuje se, že expanzní nádoba je naplněna dusíkem a předpokládá se v ní konstantní teplota 20 °C. Dále se předpokládá, že kapalina v potrubí mezi kolektorovým polem se chová pouze jako píst a lze tudíž předpokládat, že součet objemu kolektorového pole a objemu expanzní nádoby je při všech stavech konstantní. Při simulaci byl využit Wilsonův model pro chování binárních soustav.

Simulace vychází z postupného zvyšování stagnační teploty kolektorového pole, přičemž kapalina v kolektorech (s původním objemem 100 litrů) se rozpíná na úkor objemu dusíku v expanzní nádobě. To vede k zvyšování tlaku v soustavě. Kromě růstu tlaku byla v modelu sledována teplota, kdy se začne směs vypařovat, dále pak celkový nárůst objemu uzavřené tekutiny a objem vytvořené páry, přičemž se uvažuje, že nedochází k ochlazení vytlačené tekutiny. Simulace byla ukončena při dosažení tlaku 700 kPa, kdy se předpokládá otevření pojistného ventilu s případným odfukem tekutiny mimo soustavu.



Obr. 4 *Průběh tlaku v soustavě v závislosti na teplotě pro různé velikosti expanzních nádob*

Na obrázku 4 znázorněný průběh tlaků ukazuje (z technických důvodů je použita jednotka absolutní bar), že u větších nádob nastane vypařování o něco dříve, neboť je v soustavě při dané teplotě nižší tlak. Jakmile však dojde v kolektoru k tvorbě páry tak de facto tlak roste téměř nezávisle na velikosti expanzní nádoby. Pro 200litrovou nádobu k vypařování do tlaku 700 kPa nedojde.



Obr. 5 *Průběh zvětšení objemu tekutiny a páry v soustavě v závislosti na teplotě pro různé velikosti expanzních nádob*

Obrázek 5 ukazuje o kolik se zvětší celkový objem tekutiny a páry během ohřevu. Horní silnější čára z dvojice čar stejného typu znamená nárůst celkového objemu tekutiny, tzn. kapaliny, případně i páry dohromady, spodní slabší čára pak pouze zvětšení objemu páry. Jelikož výchozí stav páry je nulový, jedná se vlastně o objem páry v soustavě. Číselně jsou výsledky simulace shrnuty v tabulce 1.

Tab. 1 *Srovnání základních výsledků simulace stagnace pro různé velikosti expanzní nádoby*

Expanzní nádoba	**[dm^3]**	**200**	**300**	**400**	**1000**
Začátek varu – teplota	[°C]	nevyp.	164	160	155
Začátek varu – tlak	[kPa]	nevyp.	558	518	443
Odfuk – teplota	[°C]	170,0	173,3	173,4	173,4
Odfuk - zvětšení objemu tekutiny	[dm^3]	21,4	32,2	43,1	107,1
- z toho pára	[dm^3]	0,0	10,1	21,1	85,5
- z toho kapalina	[dm^3]	21,4	22,1	22,0	21,6

Výsledky v tabulce a grafu (viz obrázek 5) ukazují, že v případech s malou expanzní nádobou 200 litrů nebude docházet k produkci páry. Nikdy však nedojde i při dokonalé schopnosti vyprazdňování kolektoru k vytlačení veškeré kapaliny z kolektorů.

Tato simulace má za úkol popsat především základní chování směsi během vypařování, nerespektuje se zde zatím, že vytlačená tekutina z kolektoru bude ochlazována (byť přes izolaci) okolním prostředím. Z toho důvodu lze výsledky chápat jako hraniční. V reálné soustavě bude docházet díky sdílení tepla do okolí v potrubí k vytvoření teplotního gradientu ve vytlačované tekutině a tedy skutečný dosah páry nebude zdaleka takový.

ZÁVĚR

Z těchto předběžných propočtů je vidět, že v mnoha případech budeme muset realizovat chladiče, v lepším případě dimenzovat expanzní nádobu na větší objemy než je běžně zvykem. Další postupy v zpřesňování simulace budou respektovat návaznost jednotlivých komponentů solárních soustav a sdílení tepla do okolí z vytlačované tekutiny z kolektorů do potrubní soustavy.

LITERATURA

[1] MATUŠKA, T.: *Problematika stagnace solárních tepelných soustav.* Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3462-problematika-stagnace-u-solarnich-tepelnych-soustav-i>

[2] HAUSNER, R., FINK, C.: *Stagnation behaviour of solar thermal systems*. Report of IEA SHC – Task 26 Solar Combi-systems, November 2002.

[3] STREICHER, W.: Minimising the risk of water hammer and other problem at the beginning of stagnation of solar thermal plants – a theroretical approach. *Solar energy.* Vol 69. s. 187-196, 2001.

[4] MATUŠKA, T.: *Solární tepelné soustavy, sešit projektanta 1*. Pracovní podklady STP. 2009.

[5] FINK, C., RIVA, R.: *Solarunter – stütze Warmenetze im GeschoSSwohneban.* AEE INTEC, AEE GMBH Gleisdorf, 1 Auflage, 2004.

[6] KRAMOLIŠ, P., VRTEK, M.: Řešení stagnačních stavů solárních soustav. *Topenářství, instalace,* 1/2008, s. 46-51. ISSN 1211-0906.

[7] HAUSNER, R., FINK, C., KAISER, A., STELZER, R. *Stagnation of Large Scale Solar Plants.* Proceedings of the EuroSun 2010, Graz, Austria.

Článek byl zpracován s laskavou podporou projektu ENET – Energetické jednotky pro využití netradičních zdrojů energie (CZ.1.05/2.1.00/03.0069)

.

PROBLEMATIKA SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ PRO VYTÁPĚNÍ

Dalibor Skácel

SkacelSolar, Alfaprojekt, s.r.o.
info@skacelsolar.cz

ANOTACE

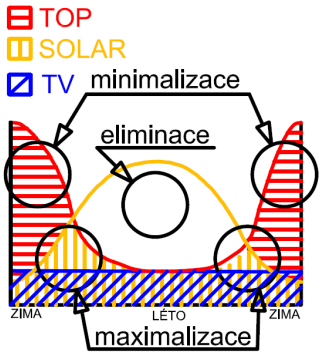
Příspěvek se zabývá problematikou využití solárních fototermálních systémů zejména v kombinaci pro přípravu teplé vody a vytápění v našich klimatických podmínkách. K řešení byly použity zkušenosti z realizovaných solárních systémů. Práce poukazuje na hlavní možnosti zlepšení efektivity nově navrhovaných a realizovaných solárních systémů zejména pro vytápění. V rámci provedených experimentů byla navržena a vyzkoušena konkrétní opatření a zařízení zlepšující solární zisky zejména v extrémní zimní polovině roku, kdy jsou nároky na tepelnou energii nejvyšší.

ÚVOD

V posledních letech se začaly značně rozšiřovat solární systémy využívané nejen pro přípravu teplé vody, ale také pro vytápění. Hlavním důvodem byla v prvé řadě marketingová snaha výrobců a dodavatelů tepelné solární techniky prodat více kolektorů, dále pak podmínky státní podpory SFŽP a programu Zelená úsporám, které kombinované systémy zvýhodňovaly (TV – 55 000 Kč; TOP – 80 000 Kč pro RD a TV – 25 000 Kč/byt; TOP – 35 000 Kč/byt pro BD). Pro stoupající počet nízkoenergetických až pasivních domů s nízkoteplotními otopnými soustavami mohou být za určitých podmínek kombinované solární systémy ekonomické i v našich klimatických podmínkách. Nejnovější poznatky a optimalizační opatření umožňují vyšší výtěžnost solárních systémů a jejich větší užitnou hodnotu pro vytápění, pokud jsou ovšem důsledně aplikovány a využívány.

PROBLEMATIKA SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ PRO VYTÁPĚNÍ

Pozastavení státní podpory čistým energiím a úsporným energetickým opatřením, nestabilní prostředí, neseriózní a nezodpovědné chování státní správy, přineslo v posledních dvou letech značnou stagnaci rozvoje solárního odvětví v ČR. Tento trend nám ovšem zároveň přinesl reálné podmínky, které nutí výrobce, projektanty a realizační firmy k racionálnějšímu přístupu, což je pro samotné odvětví velmi pozitivní a žádoucí. Vzniklá situace v ČR omezila realizace solárních systémů pro vytápění jako méně ekonomická opatření. Klasické pojetí solárních systémů pro vytápění je prakticky neekonomické, respektive se za potřebné investiční náklady nabízejí smysluplnější opatření např. v podobě instalací tepelných čerpadel vzduch/voda.



Obr. 1 *Tři základní optimalizační důsledky maximalizace – minimalizace – eliminace*

Na obrázku 1 je možné sledovat základní požadavky při hledání optimalizačního řešení solárních systémů pro vytápění v bytových a rodinných domech. V zásadě jde o snahu maximalizace solárních zisků v zimním období, eliminaci nežádoucích solárních zisků v letním období nebo jejich sekundárnímu využití a za třetí o minimalizaci potřeb tepla na vytápění. Čtvrtým atributem je cena technologie a ekonomika celé investice.

OKRAJOVÉ PODMÍNKY

Základním aktivním a výkonovým prvkem solárních systémů jsou solární kolektory, které využívají skleníkového efektu a transformují sluneční záření na tepelnou energii. V zásadě je tato přeměna závislá na **vnějších (OP_1), vnitřních (OP_2) a provozních (OP_3)** okrajových podmínkách.

$$SZ_V \xleftarrow{OP_3} SZ_{ST} \xleftarrow{OP_{3-2}} SZ_{PT} \xleftarrow{OP_{2-1}} Q_{SS} \xleftarrow{OP_1} Q_{ST} \qquad (1)$$

kde

SZ_V skutečně využité solární zisky;

SZ_{ST} sekundární teoretické solární zisky;

SZ_{PT} primární teoretické solární zisky;

Q_{SS} statisticky ověřené solární záření v dané lokalitě;

Q_{ST} teoretické dopadající solární záření.

Základním aktivním a výkonovým prvkem solárních systémů jsou solární kolektory, které využívají skleníkového efektu a transformují sluneční záření na tepelnou energii.

Vnější okrajové podmínky OP_1

Tyto podmínky představují zejména dopadající globální sluneční záření v dané lokalitě, hydrometeorologická data dané lokality, průměrné venkovní teploty, venkovní teploty v době slunečního svitu, povětrnostní vlivy v dané lokalitě, charakter slunečního záření, podíl difúzního záření, vliv statistických hodnot rozložení záření v průběhu dne, apod. Dále pak zahrnují objektivní geometrické podmínky (orientaci kolektorového pole a jeho stínění okolím v čase). Vnějšími okrajovými podmínkami pak rozumíme spíše podmínky, které nemůžeme přímo ovlivnit, na rozdíl od podmínek vnitřních, které ovlivnit lze naším rozhodováním při plánování a realizaci solárních systémů. Někdy může být velmi obtížné stanovit správné umístění kolektorového pole, pokud máme k dispozici například JV a JZ střechu nebo pokud jsme z optimální jižní orientace stíněni okolím. Pak je vhodné použít simulační software a zohlednit také statistické údaje týkající se průběhu denní spotřeby energie, případně statisticky ověřené rozložení oblačnosti v průběhu dne, pokud je máme k dispozici. To se liší zejména podle lokality, nadmořské výšky a ročního období. Pro výpočty skutečných solárních zisků jsou velmi důležité zejména venkovní teploty v době slunečního svitu a samotné množství a kvalita slunečního záření. Tyto údaje bohužel nejsou příliš k dispozici. Mezi další vnější podmínky pak patří rychlosti proudění vzduchu v okolí kolektorového pole a vlhkost vzduchu, která může lokálně ovlivnit dlouhodobé bilance solárních zisků. Zejména vlhké a mrazivé kotliny, oblasti jezer, nebo naopak v pozitivním smyslu instalace ve vysokých nadmořských výškách, mění celkové bilance solárních systémů. Dále lze operovat s albedem (odrazivostí) okolních ploch. Ledovce a vodní plochy pak mohou znásobit solární zisky.

Vnitřní okrajové podmínky OP_2

Vnitřními okrajovými podmínkami rozumíme objektivní technické parametry použité technologie, účinnost solárních kolektorů, jejich opticko-geometrické vlastnosti, dále pak konstrukční řešení akumulačních zásobníků a hydraulické zapojení celé soustavy. Mezi tyto podmínky patří definování solárního systému, konkrétní technické řešení a velikost solárního systému. Pro dimenzování se hledá optimální řešení z hlediska výše investice a solárních zisků. Konkrétní technické řešení pak ovlivňuje tepelné ztráty solárního systému, regulační schopnosti, provozní nároky a životnost systémů.

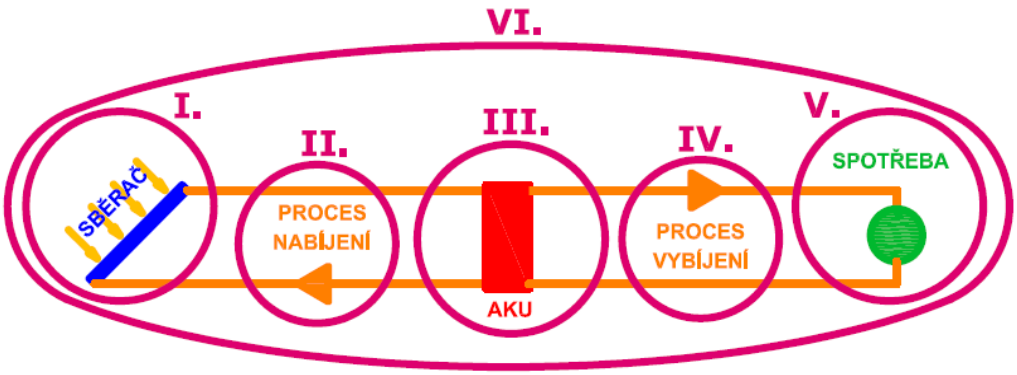
Provozní okrajové podmínky OP_3

Třetí skupinu okrajových podmínek tvoří reálná vazba solárního systému na odběr solárního tepla. Základním technickým problémem je zejména nesoučasnost poptávky s nabídkou, kterou řešíme akumulačními prvky. Předpokládané nároky po tepelné energii a její rozložení v čase, v denním a ročním cyklu jsou dopředu velmi obtížně předvídatelné. Dále většina řídících systémů solárních systémů nedokáže reagovat a předvídat chování uživatele ve vazbě na skutečnou spotřebu. Velmi důležitou roli může hrát tzv. **řízená spotřeba**. Dále do okrajových podmínek OP_3 ovlivňujících skutečné solární zisky SZ_V můžeme zařadit údržbu solárních systémů, která se v mnoha případech zanedbává. Provozní okrajové podmínky jsou nejvíce ovlivněny chováním uživatele.

Jednotlivé základní okrajové podmínky jsou však také vzájemně provázány a vzájemně se ovlivňují (OP_{1-2}, OP_{2-3}), jednoduše řečeno sebevnímavější uživatel je omezen technologií, kterou má k dispozici a sebelepší technologie nevhodně aplikovaná a nevyužitá nepřinese tížený efekt.

OPTIMALIZAČNÍ OPATŘENÍ PRO ZVÝŠENÍ EFEKTIVITY A EKONOMIKY SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ

Hodnotit solární systémy pro vytápění má smysl pouze jako celek. Samostatné prvky neznamenají z uživatelského hlediska žádný přínos. Pro optimalizaci je ovšem nezbytné systém rozčlenit na jednotlivé komponenty a jejich vzájemné vazby a zabývat se jimi odděleně. Solární systémy pro vytápění lze hodnotit z hlediska jejich výtěžnosti, životnosti, stability, uživatelského komfortu a ekonomiky jejich provozu. Na obrázku 2 jsou tyto základní komponenty a vazby definovány. Základními optimalizačními kritérii pak jsou: 1. zlevňování komponent solárních systémů, 2. zvyšování kvality a efektivity jednotlivých zařízení, ale také komplexních energetických řešení, 3. zlepšování vzájemných vazeb a zvýšení spolehlivosti solárních systémů.



Obr. 2 *Struktura solárního systému z hlediska optimalizačního členění (I.- solární kolektory, II.- proces nabíjení, III. - akumulace tepla, IV.- proces vybíjení, V.- otopná soustava,VI. - sekundární vazby)*

I. - Solární kolektory

Sběrač – solární kolektor je dominantním a výkonným prvkem solárních systémů. V principu se jedná o jednoduché pasivní zařízení využívající skleníkového efektu k přeměně slunečního záření na teplo. Toto zařízení se skládá z několika dílčích prvků, které lze optimalizovat pro docílení lepších parametrů. Lze říci, že prakticky ustal vývoj solárních kolektorů a na trhu se během několika posledních let nic zásadně nového nestalo. Velký potenciál optimalizace vidím v samotném konstrukčním pojetí solárních kolektorů a jejich upevňovacích konstrukcí. Typický vanový plochý sl. kolektor včetně konstrukčního upevnění má až **70 konstrukčních dílů !** Na solární kolektor je nezbytné přestat nahlížet jako na strojírenský výrobek a vnímat ho spíše jako stavební součást. Solární kolektor je statický prvek, který musí pouze odolávat externím vlivům, musí si zachovat dlouhodobou stabilitu a vysokou účinnost. Inspiraci lze hledat například v automobilovém průmyslu, který je jedním z nejinovativnějších odvětví, kde je kladen velký důraz na účinnou inovaci vzhledem ke konkurenci, velikosti odvětví a rychlosti vývoje.

II. IV. - Procesy nabíjení a vybíjení

Velmi opomíjené jsou vzájemné vazby mezi jednotlivými tepelnými zdroji a jejich vazbou na akumulaci a samotnou spotřebu energie a její charakter. Akumulace má být využívána jen pro ušlechtilou energii, která svým charakterem akumulaci potřebuje nikoli konvenčními a řiditelnými zdroji tepla. Dalším pravidlem je důsledné dodržování priorit jednotlivých zdrojů energie, kdy mají vždy přednost ty nejefektivnější a „nejčistší“ technologie využívající primární energii v tomto pořadí: sluneční energie – biomasa – disipovaná energie prostředí (TČ) – fosilní paliva – konvenční elektrická energie.

Moderní regulátory, řídicí systémy a nadřazené „inteligentní“ systémy ovládání sice mají prvky PID regulátoru, umí citlivě řídit otopné systémy i řízené zdroje tepla, ale zdaleka neumí rozpoznávat a predikovat chování uživatele (spotřebu) a solární zisky, a tím citlivě omezovat bivalentní konvenční zdroje tepla. Dále současné řídicí systémy nevyužívají tzv. **tepelného paradoxu**[(*1)] solárních systémů. Sluneční energie má diametrálně odlišný charakter ve srovnání s konvenčními zdroji tepla, akumulace nám sice může pomoci v základní snaze vyřešit nesoučasnost poptávky s nabídkou, ale mnohem jednodušší a přirozené je částečně se přizpůsobit koloběhu přírody. Jsme přeci stále její součástí. Příroda mění přirozeně svoje podmínky a člověk, jenž se od ní odvrací, má snahu vytvořit konzistentní prostředí, komfort zvyšující „životní úroveň“. Tímto základním omylem a ignorováním určitých přirozených cyklů – teplo/zima, půst/hojnost **–** si přiděláváme více starostí, než by bylo nezbytné.

Jednoduše je možné neignorovat nabídku slunečního záření a v případě ideálních podmínek řídit alespoň částečně spotřebu podle solárních zisků. Běžně využíváme solární systémy k přípravě TV a k vytápění, v běžných domácnostech však potřebujeme tepelnou energii také pro vaření, praní a mytí nádobí a pro tyto činnosti se solární teplo příliš nevyužívá. Pračky na prádlo a myčky na nádobí nemusí být využívány každodenně a je možné jejich spouštění částečně řídit podle skutečné nabídky „levného“ tepla. Stejně tak je možné mírně přetopit v zimním období vytápěný prostor a přemístit tak část akumulace třeba do masivní betonové podlahy. Řídící systémy nové generace by měly disponovat funkcí **„Ready to go“**[(*2)], což znamená máme co prát, mýt, lze trochu přitopit **–** „je to možné ale není nezbytné“. Řídicí systémy musí být schopny vyhodnotit, kdy mohou začít s řízenou spotřebou. Vedle aktivované funkce „Ready to go“ pro automatizovatelné odběry tepla bude aktivace záviset na tepelného stavu zásobníku, rychlosti přírůstku tepla solárními kolektory, denní době a pravděpodobných solárních ziscích v následujícím dni či hodinách a také předpovědi počasí. Funkci „Ready to go“ může také nosit uživatel v hlavě a sám se podle podmínek přizpůsobit a upravit svou spotřebu tepla.

Podobně, jako je popsána funkce „Ready to go“, by bylo možné uvažovat o funkci „**Not necessary**“[*3], která by zohledňovala naopak příliš velký podíl neekologických zdrojů v případě nepříznivých podmínek pro zdroje „čisté“ a upravila, v případě aktivace této funkce, naše nároky na teplo směrem k úsporám a snížení našeho komfortu. Obě inverzní funkce představují pouze vnímání přírodních podmínek a přizpůsobování se těmto podmínkám, v určitých mantinelech, které ve skutečnosti nepřinášejí nic jiného než pozitivní vliv na životní prostředí a mobilizaci našeho vnímání, které příznivě ovlivňuje i naše zdraví.

***Obr. 3** Podzemní beztlaký solární zásobník o kapacitě 14 m^3, zdroj: SkacelSolar*

III. - Akumulace solárního tepla

Akumulace energie obecně ve všech jejích podobách patří k základním překážkám, které před nás dosavadní stav techniky a příroda kladou. Tepelné akumulační zásobníky představují 10 až 25% podíl celkových nákladů na solární systémy. V zásadě lze zkvalitňovat následující vlastnosti a charakter akumulace: zvyšovat efektivitu akumulace (nabíjení/vybíjení/stratifikace), snižovat ztráty zásobníků, zvyšovat kapacitu akumulace a snižovat investiční náročnost akumulace. Budoucnost mají určitě beztlaké vysokokapacitní zásobníky, stratifikační prvky a sekundární akumulace v konstrukčních prvcích budov.

V. - Otopná soustava

Charakter otopné soustavy má pro efektivitu solárních systémů pro vytápění zásadní význam. Nejdůležitější je teplota přívodní vody a teplotní spád otopné soustavy. Dynamika nemá u většiny systémů a objektů výrazný vliv z hlediska efektivity využití solárních systémů pro vytápění.

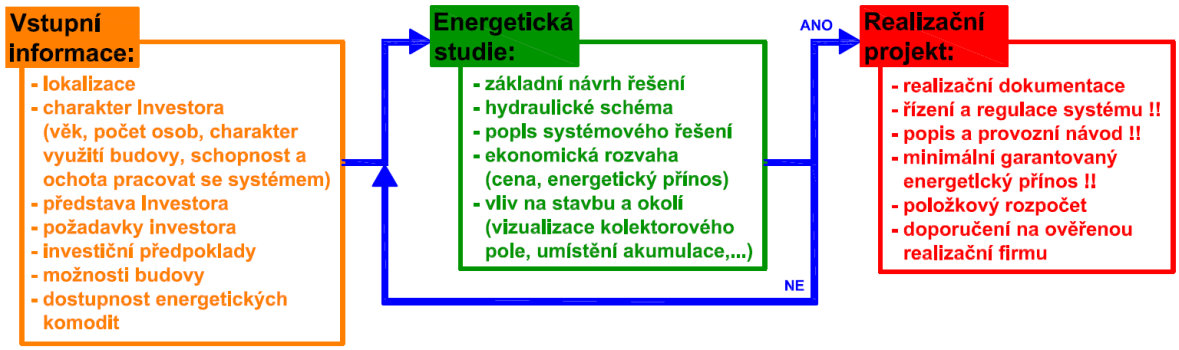
Budoucnost mají určitě velkoplošné teplovodní stěnové, podlahové a stropní systémy s nucenou konvekcí zajištěnou aktivním větráním s rekuperací, které bude a je u moderních staveb nezbytné. Tato kombinace pak přinese minimalizaci teploty přívodní vody a maximalizaci využití solárních systémů pro vytápění.

Obr. 4 *Podlahové a stěnové otopné soustavy, zdroj: SkacelSolar*

Elektrické otopné soustavy v podobě přímotopů a otopných rohoží, které prosazují někteří dodavatelé jako racionální řešení v pasivních domech s minimálními požadavky na vytápění musí být eliminovány optimalizací a zlevněním teplovodních systémů, u kterých jediných lze uplatnit efektivní aktivní solární vytápění. Další vývoj určitě přinese také aktivně pasivní teplovzdušné solární systémy s vyšší úrovní účinných prvků - kolektorů a akumulátorů v podobě stavebních prvků pro pasivní domy a solární vytápění.

VI. - Sekundární vazby

Dobrých výsledků lze dosáhnout jen u solárních systémů, které jsou dobře navržené. **Kvalitní inženýrská činnost** je prvotním a zásadním předpokladem úspěšných projektů. Stejně jako ve stavebnictví je projekce, inženýring a stavební dozor velmi nedoceňovanou disciplínou. Stále se jedná o relativně mladý obor, který má svá specifika v porovnání s konvenčním způsobem vytápění, což platí obecně pro všechny obnovitelné zdroje energie, které se prosazují v konkurenci konvenčních zdrojů pochopitelně mnohem komplikovaněji. Jako každé nově a rychle se rozvíjející odvětví má své pochopitelné metodické nedostatky také obor solární techniky. Každý projekt a jeho úspěšnost je závislý zejména na **prvotním návrhu** řešení a odborně provedené realizaci.



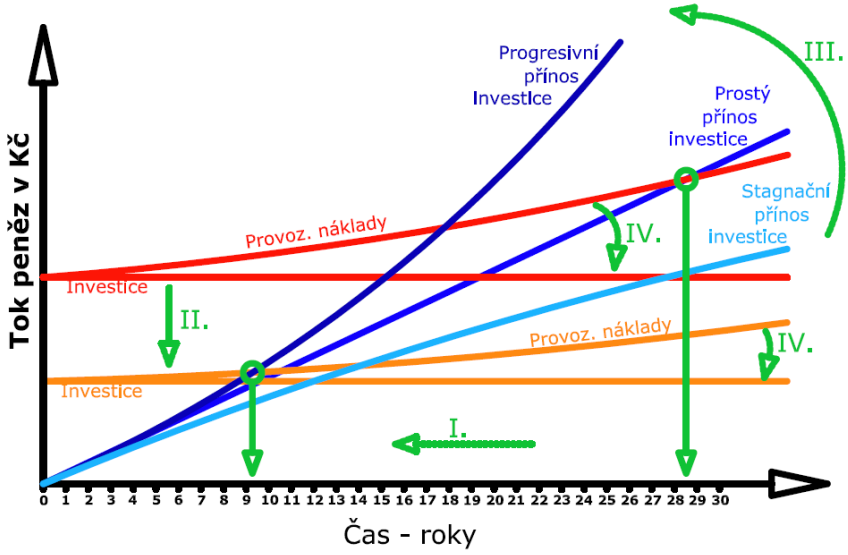
Obr. 5 *Proces návrhu solárních systémů pro vytápění*

Systematické vzdělávání na všech stupních je prvotním předpokladem úspěchu budoucího využívání všech obnovitelných zdrojů energie. Vedle samotné techniky celou věc ovlivňuje environmentální a morální uvažování a rozhodování, které utváří ekonomické a politické prostředí významně ovlivňující reálnou efektivitu solárních systémů.

ZÁVĚR

Na obrázku 6 jsou znázorněny základní předpoklady a trendy pro zlepšování ekonomických návratností investic do solárních systémů. Obrázek 6. znázorňuje ekonomický přínos investice a její návratnost. Racionální a inovativní technická řešení snižující investice, zvyšující

provozní spolehlivost a zlepšující výkonové parametry v zimních podmínkách jsou jedinou cestou pro zkracování doby návratnosti.



Obr. 6 *Ekonomické hodnocení solárních systémů – vazba mezi investicí, kumulovanou úsporou a z toho pramenící ekonomickou návratností*

Solární systémy pro vytápění musí být levnější a jednodušší. Nesmí se jednat o kompromisní polovičatá a nedotažená řešení, která nepřináší požadovaný efekt.

SEZNAM OZNAČENÍ

1 - Tepelný paradox – U solárních systémů, kde účinná přeměna slunečního záření na tepelnou energii je velmi závislá na vstupní teplotě média, vzniká zajímavý paradox: „Čím více solární energie spotřebuji ke svému prospěchu, o to více energie ze Slunce získám pomocí identické technologie a s vyšší účinností přeměny. Tohoto poznatku zatím není příliš využíváno.

2 - Funkce „Ready to go“ – Řízené vybíjení solárních zisků pro potřeby praní, mytí nádobí a nadstandardního vytápění, pokud je k dispozici dostatek solárního tepla, je možné ovlivnit spotřebu, a tím získat více solárního tepla uvolněním kapacity zásobníku a snížením provozní teploty na solárních kolektorech a zvýšenou účinností vlastní transformace slunečního záření na teplo.

3 – Funkce „Not necessary“ – Řízené nevybíjení – šetření, inverzní funkce k funkci „Ready to go“, kdy při opravdu nepříznivých podmínkách pro „čisté“ neřízené zdroje a aktivaci této funkce budou částečně omezeny požadované teploty výstupů a tím i uživatelský komfort.

PROJEKT SDHTAKE-OFF A JEHO VÝSTUPY

David Borovský

CityPlan spol. s r.o.
david.borovsky@afconsult.com

ANOTACE

Příspěvek sumarizuje výstupy projektu zaměřeného na možnosti využití velkoplošných solárních soustav v soustavách zásobování teplem. V rámci projektu byly zpracovány dokumenty shrnující tržní podmínky v jednotlivých evropských zemích, technické i netechnické aspekty spojené s realizací tohoto typu zařízení, parametry doposud realizovaných soustav v Evropě atd. Projekt byl podpořen z programu Intelligent Energy Europe a účastnili se ho společnosti z Německa, Dánska, Rakouska, Švédska, Itálie a České republiky.

ÚVOD

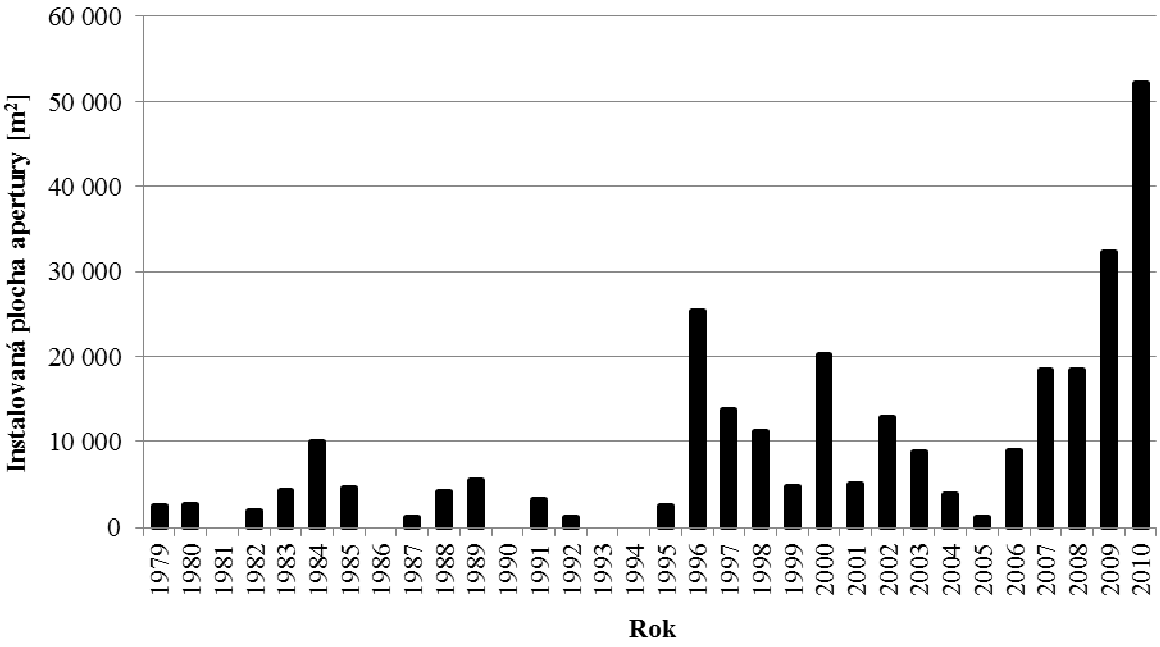
Cílem projektu SDHtake-off bylo posouzení možnosti využití velkoplošných solárních soustav jako konkurenceschopného zdroje v soustavách zásobování teplem napříč Evropou. Řešitelé projektu popsali široké spektrum aspektů, které mají vliv na možnost realizace tohoto typu zdroje tepla v jednotlivých partnerských zemích s rozdílným koncepčním přístupem k centralizovanému zásobování teplem.

HISTORIE A SOUČASNOST SOLÁRNÍCH SOUSTAV V SZT

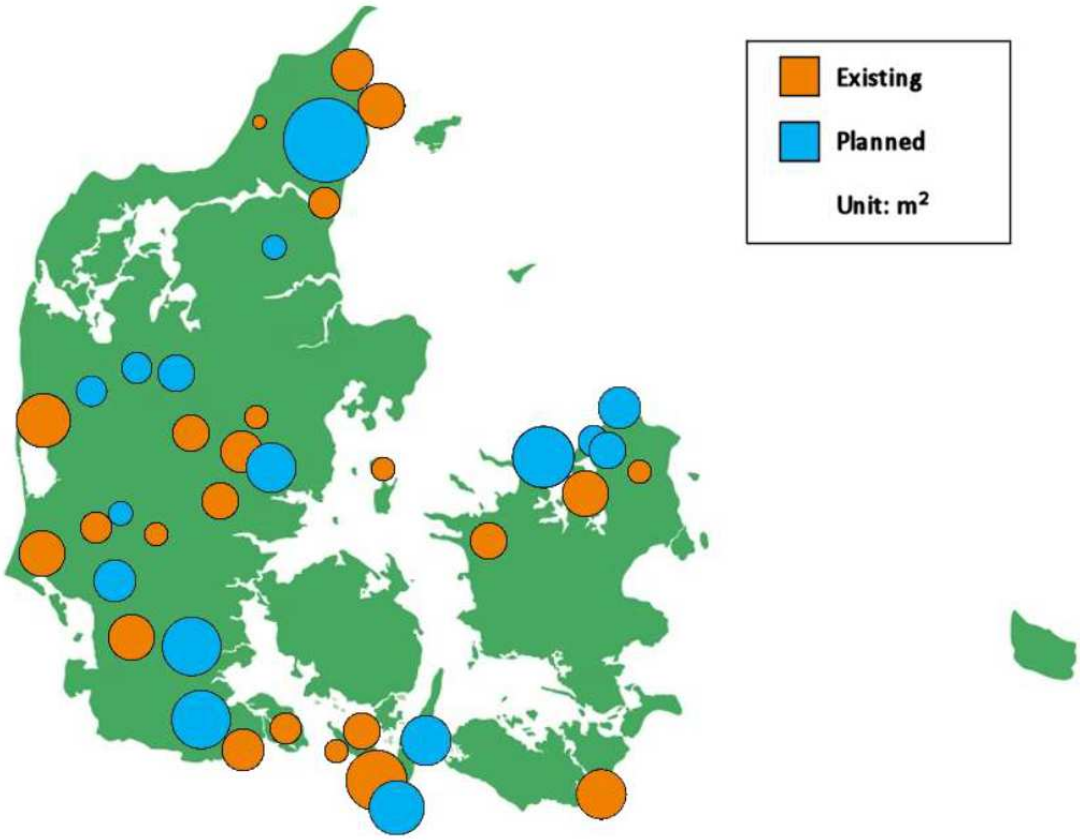
Vývoj soustav dálkového zásobování teplem využívajících velkoplošných solárních soustav probíhal zejména ve Švédsku, Dánsku, Německu a Rakousku. Ve výše uvedených zemích jsou provozovány různé varianty systémů ve formě demonstračních a částečně i komerčních projektů. Více než dvacetileté zkušenosti s projektováním, výstavbou a provozem tohoto typu zdrojů přinesly celou řadu technických, ekonomických a legislativních poznatků, které aplikovány do praxe mohou umožnit jejich podstatnější rozšíření

První velkoplošné solární soustavy dodávající teplo do systémů dálkového zásobování teplem byly zprovozněny ve Švédsku v letech 1979 a 1980. Obrázek 1 prezentuje roční instalované plochy kolektorů v soustavách s plochou apertury vyšší než 1000 m^2.

Nevýznamnější rozvoj SDH probíhá v současnosti v Dánsku. Je stimulován zejména nastavením daňového systému, kdy jsou zdroje energie využívající fosilní paliva značně znevýhodněny, což umožňuje ekonomickou návratnost obnovitelných zdrojů včetně velkoplošných solárních soustav. Již standardně vznikají komerční SDH projekty s reálnou dobou návratnosti investice do 10 let. V plánu dánské Asociace centrálního zásobování teplem je provozovat do konce roku 2012 solární soustavy v soustavách zásobování teplem o celkové ploše apertury 200 tis. m^2. Na obrázku 2 jsou na výřezu mapy Dánska zobrazeny stávající a připravované solární soustavy v SZT. Největší evropskou instalací tohoto typu by se měla stát soustava v Dronniglundu s 36 tisíc m^2 kolektorů plánovaná k realizaci na letošní rok.



Obr. 1 *Instalovaná plocha apertury solárních soustav nad 1000 m²*



Obr. 2 *Stávající a plánované solární soustavy v SZT (Dánsko)*

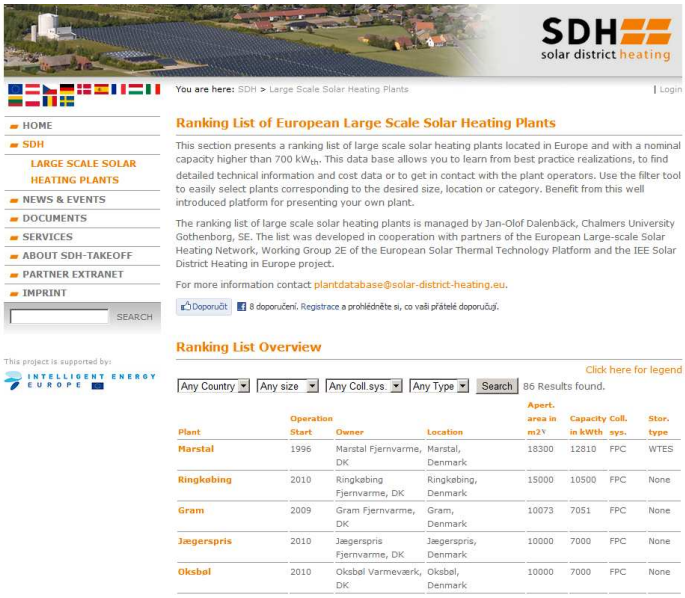
VÝSTUPY PROJEKTU

V rámci projektu byly uspořádány tři mezinárodní workshopy v Dánsku, Rakousku a Itálii, které byly zaměřeny na prezentaci jednotlivých kroků předcházejících samotné realizaci

nového zdroje tepla (např. základní studie příležitosti/proveditelnosti). Aktivity italských partnerů projektu vedly k přípravě realizace dvou pilotních solárních soustav dodávajících teplo do SZT v Toskánsku.

Volně dostupné jsou pak na internetových stránkách projektu [1] tyto výstupy:

- Žebříček solárních soustav plochou apertury nad 1000 m^2. V současnosti jich je v Evropě provozováno 86.



Obr. 3 *Webové stránky projektu*

- Analýza – Succes factors in SDH – Zpráva zaměřená na popis několika zajímavých projektů, včetně podrobných poznámek týkajících se podnětů, které vedli investora k realizaci zařízení apod.
- Analýza – European Market Study and Macro Analysis – Zprávy zaměřené na zmapování tržních podmínek v jednotlivých partnerských zemích a Evropě jako celku a popis možných omezujících aspektů pro SDH.
- SDH Guidelines – Příručky poskytující podrobné informace o problematice SDH z pohledu netechnických záležitostí souvisejících s realizací projektů (stavební povolení, cena půdy apod.) Druhá část je pak věnována jednotlivým prvkům velkoplošných solárních soustav a popisuje přístupy k jejich dimenzování a provozování.
- Databáze zkušených evropských dodavatelů v oblasti SDH.
- Databáze akcí zabývající se problematikou SDH.
- Podklady pro školení projektantů a provozovatelů zařízení.
- Články, prezentace, newslettery.

ZÁVĚR

Aktivity projektu rozšířily povědomí o možnostech využití solárních tepelných soustav v soustavách zásobování teplem. Univerzální implementace tohoto zdroje v SZT není v rozdílných evropských legislativních a technických podmínkách možná a každý záměr vyžaduje podrobné ekonomické a technické posouzení. V podmínkách České republiky se v současnosti jedná o zdroj pro provozovatele SZT nezajímavý (dlouhá doba návratnosti,

vysoká počáteční investice, nízké pokrytí potřeby tepla). Nyní je v ČR provozováno několik malých soustav s kolektorovou plochou v řádu desítek m^2, několik projektů je pak ve fázi studie příležitosti, nebo proveditelnosti.

LITERATURA

[1] Domovská stránka projektu SDHtake-off. Dostupné z: <www.solar-district-heating.eu/cz >

Výhradní odpovědnost za obsah tohoto dokumentu spočívá na autorech. Výše uvedený text nemusí nutně vyjadřovat názor poskytovatele finanční podpory. Poskytovatel finanční podpory není odpovědný za jakékoli užití, informací v textu obsažených.

MODELY ALTERNATIVNÍCH ZDROJŮ ENERGIE VYUŽÍVANÉ PŘI VÝUCE

Ladislav Kohout

Střední škola energetická a stavební, Chomutov, příspěvková organizace
ladislav.kohout@ssescv.cz

ANOTACE

Příspěvek se zabývá modely alternativních zdrojů energie, které se využívají při výuce na střední škole, kde část modelů je pouze předváděcí a část modelů jsou plně funkční zařízení, ovládané a měřitelné přes PC. Předváděcí modely jsou zakryty průhlednými obaly. Další modely jsou sestaveny ze stavebnic. Funkční modely jsou ovládané přes PC a využívají se při výuce.

ÚVOD

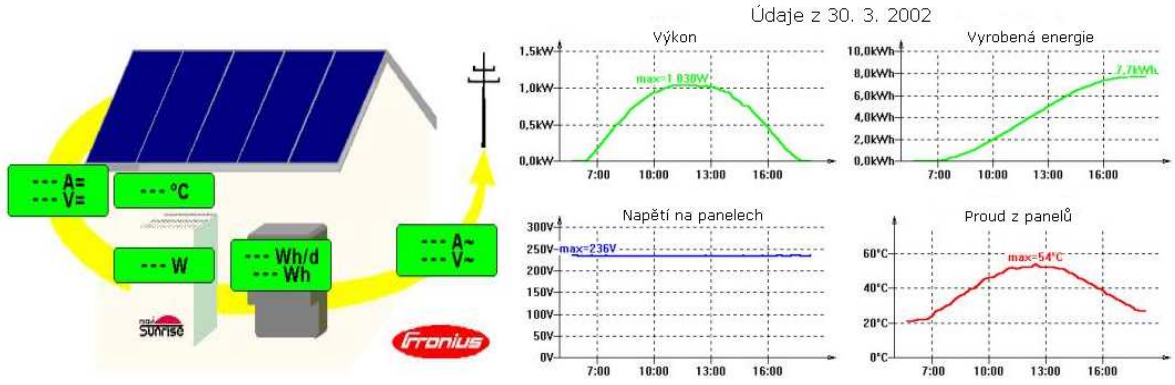
Škola SŠEaS Chomutov, příspěvková organizace, vznikla k 1. 9. 2007 transformací Integrované střední školy energetické Chomutov a Střední školy stavební Chomutov. Je školou komplexního typu s teoretickou a praktickou výukou středního vzdělání se zaměřením na elektrotechniku, energetiku, strojírenství, stavebnictví, požární techniku a ochranu. Integrovaná střední škola energetická, Chomutov, Na Průhoně 4800, příspěvková organizace zahájila svou vzdělávací činnost v roce 1951 jako Středisko pracovního dorostu energetiky.

FUNKČNÍ MODELY ALTERNATIVNÍCH ZDROJŮ ENERGIE VE ŠKOLE

Škola využívá alternativní zdroje energie v mnoha zařízeních a funkčních modelech, které jsou ovládané přes PC a využívají se při výuce.

Solární fotovoltaický systém

Fotovoltaický systém se skládající se z 12 panelů o celkovém výkonu 1,2 kW_p byl realizován v roce 2002. Získaná elektrická energie se dodává do elektrovodné sítě školy. Výsledky systému se využívají při měření na fotovoltaickém systému SUNRISE a získávání dat pro výuku žáků.



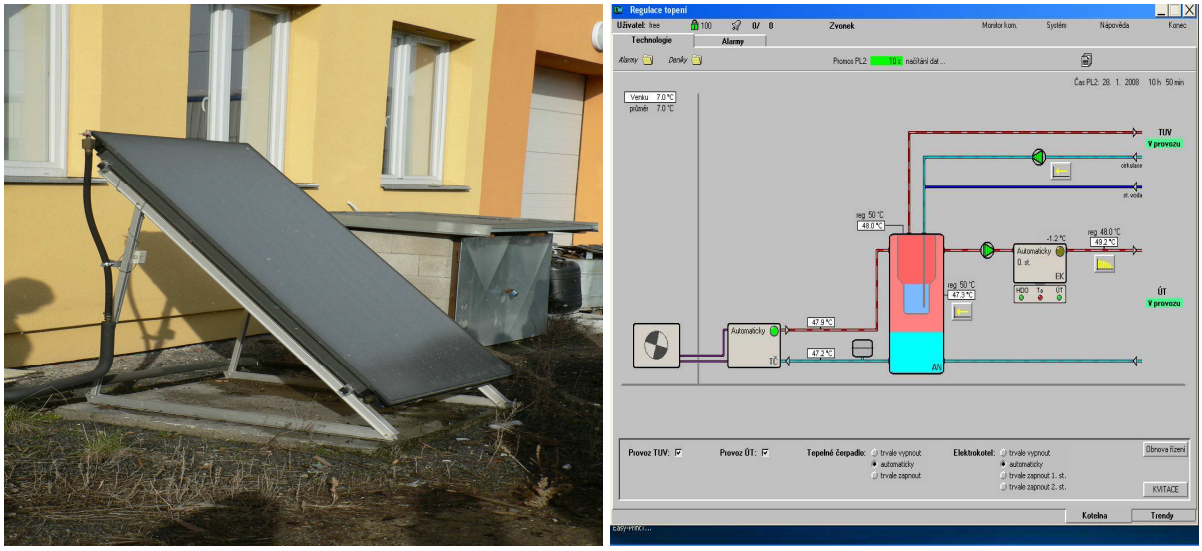
Obr. 1 *Naměřená data ze systému SUNRISE*

Solární fototermický systém

Fototermických kolektorů je 45 ks pro přípravu teplé vody pro domov mládeže a provoz školy SŠEaS Chomutov na Průhoně. Solární kolektory mají plochu 107 m^2. Teplo se akumuluje do dvou akumulačních nádrží o obsahu 3 000 l. Instalovaný tepelný výkon z OZE je 62 kW.

Tepelné čerpadlo

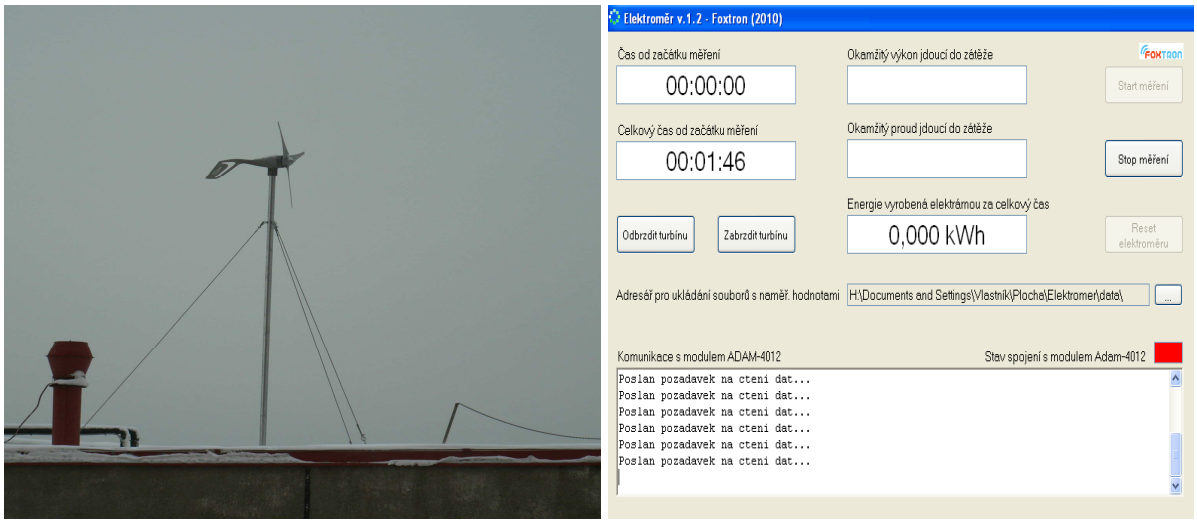
Čerpadlo je značky REGULUS TC 08 RAM s topným výkonem 7,5 kW, získávání tepla z okolního vzduchu. Skládá se z venkovní a vnitřní jednotky. Tepelné čerpadlo bylo do roku 2011 umístěno v dílnách odborného výcviku SŠEaS Chomutov. Pak bylo přemístěno na odborný výcvik Moráň, kde je zapojeno v systému TUV v zásobníku 300 l s ohřevem solárním fototermickým kolektorem a dohřevem tepelným čerpadlem. Ovládání tepelného čerpadla se provádí také pomocí PC, které se využívá pro nastavování a měření systému.



Obr. 2 *Fototermický kolektor, měřicí a nastavovací systém PC tepelného čerpadla*

Větrná elektrárna

Model funkční větrné elektrárny s parametry 0,5 kW/12 V je umístěn na střeše výměníkové stanice školy. Výkon je předáván do elektrické baterie 12 V, která napájí nouzové osvětlení výměníkové stanice. Časová data výkonu jsou předávána po datovém kabelu do PC, umístěného v environmentální učebně.



Obr. 3 *Větrná elektrárna a ovládání na PC*

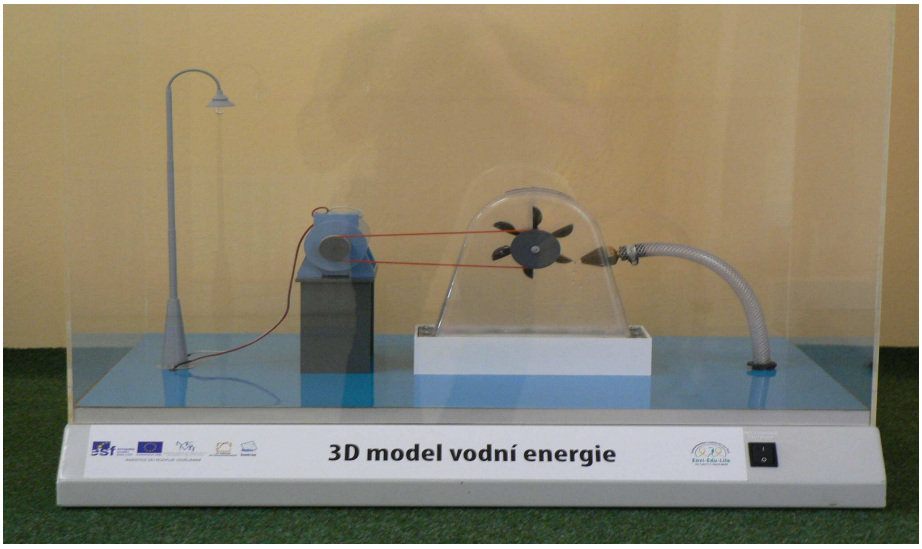
PŘEDVÁDĚCÍ MODELY ALTERNATIVNÍCH ZDROJŮ ENERGIE

Modely jsou vyrobeny v měřítku cca 1 : 25, jsou zakryty průhlednými akryláty a napájeny elektrickou energií, popř. vodním přítokem a odtokem.

Obr. 4 *Část modelů před učebnou environmentu.*

Vodní elektrárna

Energie vodních zdrojů je ekologicky čistá a relativně levná, vodní turbíny patří k motorům s nejvyšší účinností. Vodní energie vzniká jako důsledek dopadající sluneční energie. Energii z vody je možno získat využitím jejího proudění (energie pohybová, kinetická) a jejího tlaku (energie potenciální, tlaková) nebo také obou těchto energií současně. Srdcem každé vodní elektrárny je vodní motor – turbína s elektrogenerátorem. Model vodní elektrárny má přívod vodní energie nahrazen přívodem z rozvodu pitné vody. Tento vodní tlak vody působí přes trysku na Peltonovu turbínu, která se otáčí a přes řemenový převod pohání elektrický generátor, který napájí osvětlovací LED svítidlo. Žáci vidí na modelu tryskající vodu, která pohání turbínu, následně otáčející generátor a svítící lucernu.

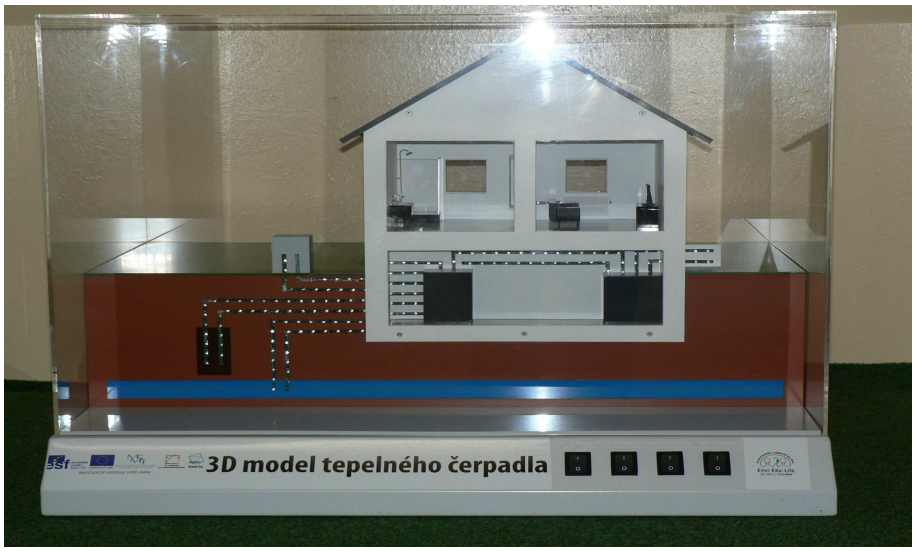


Obr.5 *Model vodní elektrárny.*

Tepelné čerpadlo

Přístroj využívá změny skupenství pracovní látky chladiva a tím vlastně energeticky nenáročně přečerpává teplo z nízké potenciální hladiny na vyšší. Podle zdroje

nízkopotenciálního tepla lze rozlišit tepelná čerpadla: země/voda, vzduch/voda, voda/voda. Na modelu tepelného čerpadla lze zvolit pomocí tlačítek získávání zdroje nízkopotenciálního tepla ze země nebo z vody nebo ze vzduchu. Po zvolení zdroje a stisknutí příslušného tlačítka se rozsvítí uvedená cesta nízkopotenciální energie do tepelného čerpadla.

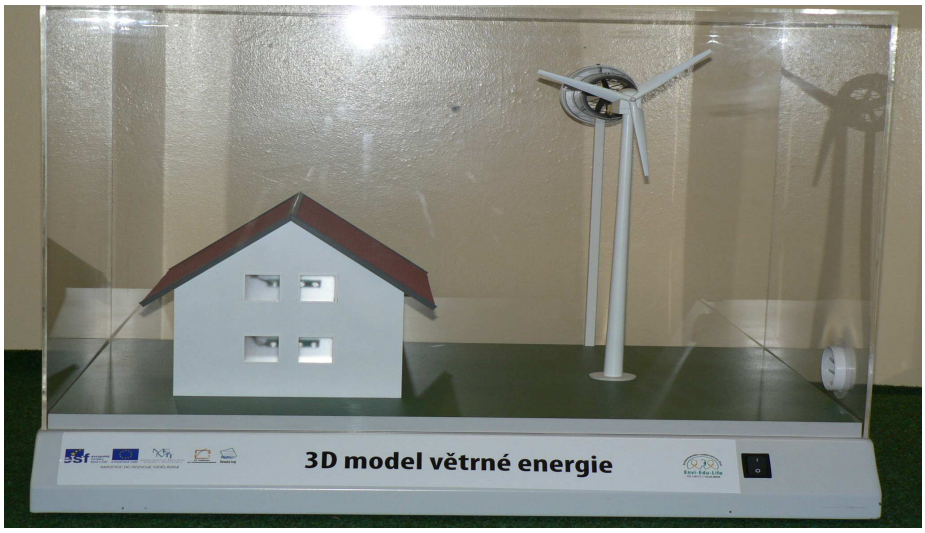


Obr. 6 *Model tepelného čerpadla.*

Větrná elektrárna

Vítr vzniká v atmosféře při rozdílu atmosférických tlaků, který je důsledkem nerovnoměrného ohřívání zemského povrchu. Teplý vzduch stoupá vzhůru, na jeho místo se tlačí studený. Zemská rotace způsobuje stáčení větrných proudů, jejich další ovlivnění způsobuje morfologie krajiny, rostlinný pokryv, vodní plochy.

Model větrné elektrárny představuje větrnou elektrárnu napájející obytný dům. Čím více se otáčí vrtule větrné elektrárny, tím více svítí spotřebičů v domě. Otáčení větrné elektrárny je podporováno ventilátorem.



Obr. 7 *Model větrné elektrárny.*

Solární automobil

Díky fotoelektrickému jevu v polovodičích můžeme energii slunečního záření přeměnit ve fotovoltaických článcích na energii elektrickou. Přeměna slunečního záření na elektřinu má

široké pole použití i např. na pohon solárního automobilu. Nevýhodou těchto systémů je závislost výroby energie na denní době, ročním období a na případné oblačnosti v dané lokalitě.
Model solárního automobilu je vyroben na principu uchopení horního vodítka, pak se spojí kontakty, přes které lze osvětlovací žárovkou napájet fotovoltaické články automobilu a pohánět automobil na obě strany dopředu a dozadu.

Obr. 8 *Model solárního automobilu*

Solární dům

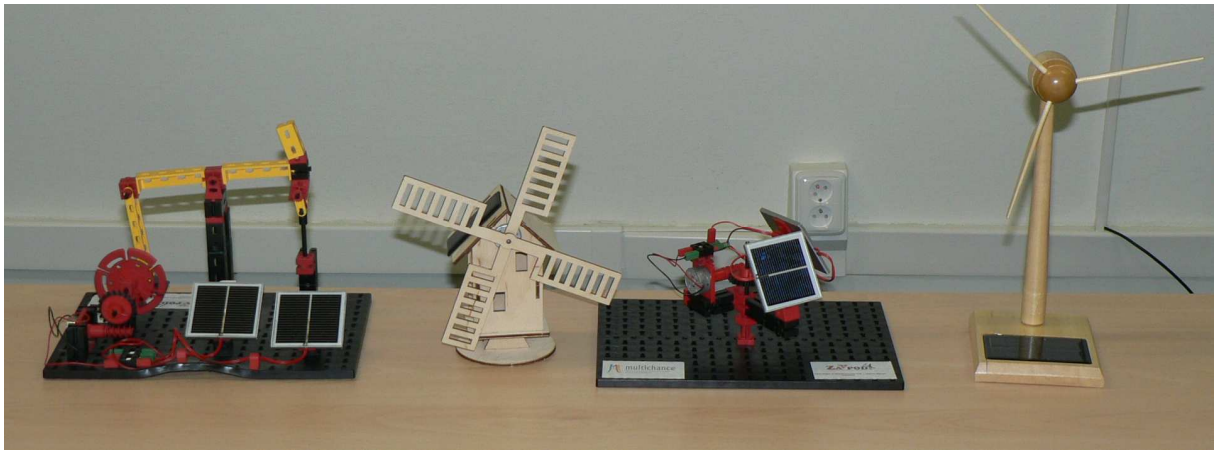
Solární kolektory přeměňují zachycené sluneční záření na tepelnou energii. Ta je pomocí teplonosné látky odváděna do místa okamžité spotřeby nebo akumulována v zásobníku o určitém objemu. Solární zásobník slouží pro přípravu teplé vody (TV), doplňkově se ohřívá tepelnou energií ze zdroje tepla pro ústřední vytápění a elektřinou.
Základním prvkem zařízení pro přeměnu slunečního záření na elektrickou energii je solární fotovoltaický článek, který přímo přeměňuje dopadající fotony ze slunce na elektrickou energii.

Obr. 9 *Model solárního domu*

Model solárního domu v levé části modelu přestavuje fotovoltaický článek umístěný na střeše, který přes měnič v suterénu napájí elektrickou energií celý dům. V pravé části jsou na střeše umístěny fototermické články, které ohřívají TUV a topení domu.

MODELY ZE STAVEBNIC

Modely ze stavebnic firmy „Fischertechnik, Nelumbo s.r.o. Chomutov apod.“ slouží k ukázkám principů solární techniky pro žáky.



Obr. 10 *Modely ze stavebnic*

ZÁVĚR

Cílem instalací alternativních zdrojů na naší škole je naučit žáky i veřejnost technologiím pro udržitelný rozvoj společnosti a ukázat žákům úspory nákladů. Z hlediska udržitelného rozvoje a šetření energií z obnovitelných zdrojů se škola bude snažit šetřit energie, včetně následného snížení emisí skleníkových plynů.

Ten, kdo se pro obnovitelnou energii rozhodne, může mít kromě jiných přínosů i velmi dobrý pocit, že udělal něco pro lepší a zdravější životní prostředí současných i budoucích generací. Energie je především otázkou budoucnosti, protože budoucnost ukáže, jak si lidstvo dokáže poradit se vzrůstající energetickou spotřebou.

LITERATURA

[1] Střední škola energetická a stavební Chomutov, Na Průhoně 4800, příspěvková organizace. Domovská stránka školy. Dostupné z < http://www.ssescv.cz>.

[2] BEDNÁŘ J., KLIMENT J., KOHOUT L. Druhotné a obnovitelné zdroje energií. Publikace v rámci projektu MULTICHANCE, 2008.

SOLÁRNÍ HYBRIDNÍ FOTOVOLTAICKO-TEPELNÉ KOLEKTORY - PŘEHLED

Luboš Buchta

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí
buchta.lubo@gmail.com

ANOTACE

Článek představuje současný stav problematiky plochých hybridních fotovoltaicko-tepelných (FVT) kolektorů, zaměřuje se na rozdíly mezi základními druhy kolektorů, jejich výhody a nevýhody, navíc předkládá přehled současných světových výrobců. Cílem článku je poukázat na problémy ale zároveň na možnosti spojené s různými druhy hybridních FVT kolektorů.

ÚVOD

Hybridní fotovoltaicko-tepelný (FVT) kolektor je schopen kombinované výroby elektrické energie a tepla ze slunečního záření. Fotovoltaický panel funguje zároveň jako tepelný absorbér, a proto je vhodné uvažovat o odvodu jinak nevyužitého tepla. Důvodů může být hned několik, např. snaha o zvýšení účinnosti fotovoltaické přeměny se současným využitím nízko-potenciálního solárního tepla, snaha o maximální využití dostupné plochy pro získání tepla a elektřiny ze slunečního záření, a v neposlední řadě rovněž ekonomické, ekologické a estetické důvody. Cílovou oblastí využití plochých hybridních kolektorů je rezidenční a administrativní sektor, zejména časté jsou aplikace v domech pasivního standardu.

DRUHY HYBRIDNÍCH FVT KOLEKTORŮ

Ploché hybridní kolektory lze dělit podle různých hledisek, např. podle teplonosné látky, konstrukce rámu, konstrukce zasklení či podle způsobu využití. FVT kolektory určené pro využití v budovách se v zásadě dělí na vzduchové a kapalinové, zasklené a nezasklené, a jejich kombinace, přičemž často jsou kolektory aplikovány do obálky budov a označovány jako integrované FVT. Dalším druhem hybridních kolektorů jsou koncentrační, které nacházejí uplatnění především v průmyslových aplikacích, jimiž se však příspěvek nezabývá. Schématické řezy jednotlivými druhy hybridních FVT kolektorů jsou znázorněny na obrázku 1.

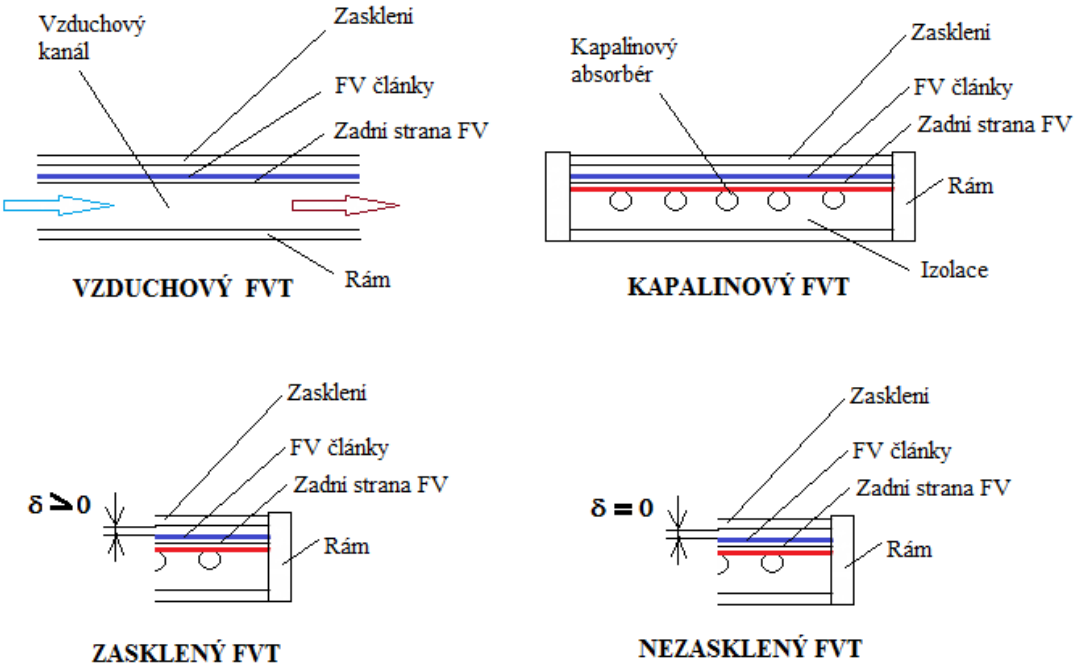
Vzduchové

Výrobně jednoduché řešení mohou poskytovat vzduchem chlazené FVT kolektory. Teplonosnou látkou odvádějící přebytečné teplo z fotovoltaických modulů je vzduch proudící kolektorem přirozeně nebo nuceně. Výhodou nuceného chlazení vzduchem je lepší chladicí schopnost než u systémů s přirozeným chlazením. Nevýhodou nuceného chlazení jsou potřebné velké průtoky vzduchu, z důvodu jeho nízké tepelné kapacity, a z toho plynoucí velké průměry rozvodného potrubí. Potřebný průtok a výkon ventilátoru ovlivňuje také tvar kanálu proudícího vzduchu a případné překážky v kanálu (žebrování). Dalším problémem je využití tepla v létě a také vysoká teplota letního venkovního vzduchu, která omezuje schopnost chlazení FV článků. Vzduchové FVT kolektory lze uplatnit např. v systémech teplovzdušného vytápění objektů, sušení nebo ve spolupráci s tepelnými čerpadly.

Kapalinové

Teplonosnou látkou odvádějící přebytečné teplo z fotovoltaických modulů je kapalina (nemrznoucí směs – vodný roztok propylenglykolu) proudící trubkami či kanály absorbéru. Kapalinové FVT kolektory využívají nejčastěji nucený oběh chladicí kapaliny, zkoumána

však byla také soustava s přirozeným oběhem, která prokázala lepší výsledky celkové energetické bilance než soustava s oběhem nuceným [1]. Konstrukce kapalinových kolektorů umožňuje využití tepla odvedeného pouze ze zadní strany fotovoltaického panelu, přičemž teplonosná látka proudící kolektorem může být rozvedena v kanálovém či v trubkovém provedení absorbéru. U kapalinových kolektorů je obzvláště potřeba dobře elektricky izolovat fotovoltaickou část od tepelného absorbéru a zároveň mezi nimi zajistit co nejlepší tepelný kontakt, např. vhodným tepelně vodivým a odolným lepidlem. Kapalinové FVT kolektory lze uplatnit celoročně pro ohřev vody nebo v systémech s tepelnými čerpadly.



Obr. 1 *Schéma základních druhů hybridních FVT kolektorů.*

Zasklené

Zasklení u kapalinových kolektorů snižuje celkové tepelné ztráty a zvyšuje tepelnou účinnost oproti nezaskleným a také umožňují další konstrukční možnosti provedení. Zasklené lze použít pro dosažení vyšších teplotních úrovní (příprava teplé vody), nicméně při vyšších provozních teplotách klesá účinnost fotovoltaické přeměny. Zejména v případě stagnace s maximálními teplotami na úrovni 120 °C (podobně jako u neselektivních kolektorů) může dojít k poškození laminace fotovoltaických článků. Typická EVA laminace snáší teploty do 85 °C, při vyšších teplotách materiál degraduje, rozkládá se a produkty rozkladu mohou korozivně působit na kontakty [2]. Obecně lze říci, že u zasklených typů FVT kolektorů je hlavní funkcí výroba tepla s výhodou současné výroby elektřiny ze stejné plochy.

Nezasklené

Rozdíl oproti zaskleným kolektorům je, že nezasklené nemají mezi laminací fotovoltaických článků a ochranným zasklením vzduchovou mezeru. Nezasklené FVT kolektory mají vysoké tepelné ztráty, které lze částečně snížit opatřením zadní strany tepelnou izolací nebo integrací do obálky budovy (finální vrstva konstrukce pláště). Hlavní funkcí nezasklených typů FVT kolektorů je proto výroba elektrické energie se současnou produkcí tepla na nízké teplotní úrovni, které lze využít např. pro primární okruhy tepelných čerpadel, předehřev studené vody (10 až 20 °C celoročně) nebo pro ohřev bazénové vody [3].

VÝROBCI

Množství komerčně dostupných produktů hybridních FVT kolektorů se neustále zvyšuje. Přehled produktů z roku 2006 od prof. Zondaga [4] uvádí 3 výrobce vzduchových kolektorů a 2 výrobce kapalinových. Zatímco vzduchových kolektorů na trhu výrazně nepřibylo, v případě kapalinových je tomu naopak. V současné době je na světě řada výrobců kapalinových FVT kolektorů uvedená v tabulce 1.

Tab. 1 *Přehled současných výrobců kapalinových hybridních FVT kolektorů (na konci tabulky je pro zajímavost uveden výrobce koncentračních FVT kolektorů pro průmyslové aplikace)*

Výrobce	Model / Řada	Výkon (STC) el./tep.	Popis	Dodavatel v ČR
AMK (CH)	OPC15 Edition EU21	16 / 1416 W	1,72 m^2 CIS-TF trubkový	-
Anaf Solar (I)	Anaf H-NRG	230 / 780 W	pc-Si	-
Becoville (B)	SolarDuo	220-250 / 510 W	mc-Si, pc-Si	EcoEG
Easy BIPV (DK)	Black Line BIPV Hybrid	250 / 400 W	1,7 m^2 mc-Si	-
FotoTherm (I)	Cs serie	220-250 / 900 W	pc-Si	-
Millennium Electric (IL)	MIL-PVT-M02-190 MIL-PVT-M03-195 MIL-PVT-M02-250 MIL-PVT-M03-340	190-340 / - W	1,2 m^2 mc-Si pc-Si	-
PA-ID (D)	2Power Module	265 / 667 W	mc-Si 1,65 m^2	-
PVTWINS (NL)	PVT-Panels PVT-Collectors	-	nezasklený zasklený pc-Si	-
Poly Solar Solutions (CH)	MCM 888 C	-	1,02 m^2	-
Solator (A)	PV+Therm	140 / 700 W	1,085 m^2 mc-Si	-
Solecho (I)	Blu Power Black Power	230 / 700 W 230 / 700 W	1,5 m^2 pc-Si	-
Solimpeks (TR)	PowerVolt PowerTherm	190 / 460W 170 / 610W	mc-Si	Ševela 4T Solar economic
SunWin Energy Systems (A)	AF24UE4_PT145 AF24UE4_PT193 AF24VE2_PT145 AF24VE2_PT193	145 / 1025 W 193 / 813 W	1,34 m^2 1,05 m^2 pc-Si OEM	-
SunDrum Solar (USA)	SDM100 Collector	-	souprava na konverzi	-
WioSun (D)	PVTherm PVT170, PVT175, PVT180, PVT185	170,175,180, 185 / 715W	pc-Si 1,1 m^2	Via Helios
ZenithSolar (IL)	Z20	4,5 / 11kW	koncentrační, (mj-TF) 22 m^2; hm. 1,5t	-

FVT kolektory uvedené v tabulce 1 a 2 jsou dvojího druhu. Konstrukčně jednodušší typ využívá pouze fotovoltaického panelu na fototermickém kolektoru bez vzájemné interakce mezi FV a FT částí. Pokročilé FVT kolektory využívají FV článků jako absorpčního povrchu

FT kolektoru. Cena pokročilých FVT kolektorů s odvodem tepla z FV absorbéru se v současné době pohybuje od 400 do 550 €/m^2.

Tabulka 2 uvádí přehled současných výrobců vzduchových FVT kolektorů. Hybridní vzduchové FVT kolektory dostupné na trhu jsou dnes převážně vybaveny integrovaným ventilátorem, který je poháněn fotovoltaickým článkem zaujímajícím část plochy kolektoru. Výrobou klasického vzduchového FVT kolektoru se zabývá firma Grammer Solar. Aplikace vzduchových FVT kolektorů často vyžadují integraci do obálky budovy, čímž zároveň přejímají její funkci. V takových případech vzniká hybridní vzduchový FVT systém, jehož prvky můžou být např. obvodové nebo střešní konstrukce. Výrobou podobných systémů se zabývá např. firma Conserval Engineering.

***Tab. 2** Přehled současných výrobců vzduchových hybridních FVT kolektorů*

Výrobce	Model / Řada	Výkon (STC)	Popis	Dodavatel v ČR
AIDT Miljø (DK)	SolarVenti SV30 AWX Hybrid	24 / 2200 W	hybridní kapalinový a teplovzdušný, FV pro pohon ventilátoru a čerpadla	SolarVenti ČR
Conserval Engineerging (CDN)	SolarWall PV/T SolarDuct PV/T	100 / 300-400 W/m^2		-
Grammer Solar	PV-Hybridkollektor	230 / 690 W	1,73 m^2	-
ModulTeq (D)	MT-MS200	- / 1250 W	2 m^2	-
	MT-MS200A	26 / 1180 W	s integrovaným ventilátorem (18 W)	
	MTS-MS-200B	26 / 1180 W		
PVTSolar (USA)	Echo Solar System	-	pc-Si	-
Sole (GR)	Air-Sol 10	- / 700 W	1,05 m^2	-
	Air-Sol 20	- / 1330 W	1,94 m^2	
	Air-Sol 35	- / 2450 W	3,56 m^2	
			FV pro pohon integrovaného ventilátoru	

Cena kolektoru SolarVenti je v současné době cca 1800 €, jedná se o hybridní kapalinový a vzduchový kolektor doplněný o fotovoltaické články pro pohon ventilátoru a čerpadla. Ceny ostatních kolektorů nebyly zjištěny.

ZÁVĚR

Příspěvek představil širokou řadu výrobců vzduchových a kapalinových FVT kolektorů a nastínil možnosti použití zasklených a nezasklených variant. Výběr vhodného druhu hybridního FVT kolektoru je vždy závislý na typu aplikace a celkové skladbě navrhovaného systému. Stejně tak výběr výrobce je závislý na požadovaném využití produktu a především na kvalitě jeho zpracování. V případě integrace FV panelů do obálky budovy je potřeba účinného chlazení zvláště žádoucí a důležitý je výběr nejen samotného kolektoru, ale i vhodné konstrukce pro celek systému. Vývoj hybridních FVT kolektorů se zaměřuje na optimalizaci návrhových parametrů a na použití vhodných moderních ale i obyčejných levných materiálů při výrobě FVT kolektorů, čímž lze dosáhnout snížení nákladů na výrobu a zároveň zvýšení kvality vyráběného produktu pro požadovanou aplikaci.

LITERATURA

[1] CHOW, T.T., A.L.S. CHAN, K.F. FONG, Z. LIN, W. HE, J. JI. Annual performance of building-integrated photovoltaic/water-heating system for warm climate application. In: *Applied energy*. Vol. 86, No. 5, pp. 689-696, 2009.

[2] DUPEYRAT, P., MÉNÉZO, Ch., ROMMEL, M., HENNING, H. Efficient single glazed flat plate photovoltaic–thermal hybrid collector for domestic hot water system. In: *Solar energy*. Vol. 85, No. 5, pp. 1457-1468, 2011.

[3] MATUŠKA, T., Multifunkční solární kolektory pro integraci do budov, In: *TZB Haustechnik*. roč. 1, č. 1, s. 38-41, 2008.

[4] ZONDAG, H. *Commercialy available PVT products.* IEA SHC Task 35 PV/Thermal Solar Systems, 2006

VÝZNAM ZKRATEK

FV	*fotovoltaický*
FVT	*fotovoltaicko-tepelný*
STC	standard test conditions = standardní zkušební podmínky (G = 1000 W/m^2; $t_{čl}$ = 25 °C; AM = 1,5)
CIS-TF	*CuInSe-thin film = tenkovrstvé články*
mc-Si	*monokrystalický křemíkový článek*
pc-Si	*polykrystalický křemíkový článek*

POROVNÁNÍ VÝKONNOSTI INTEGROVANÝCH ZÁSOBNÍKŮ TEPLA PRO PŘÍPAVU TEPLÉ VODY

Michal Broum

Regulus spol. s r.o.
michal.broum@regulus.cz

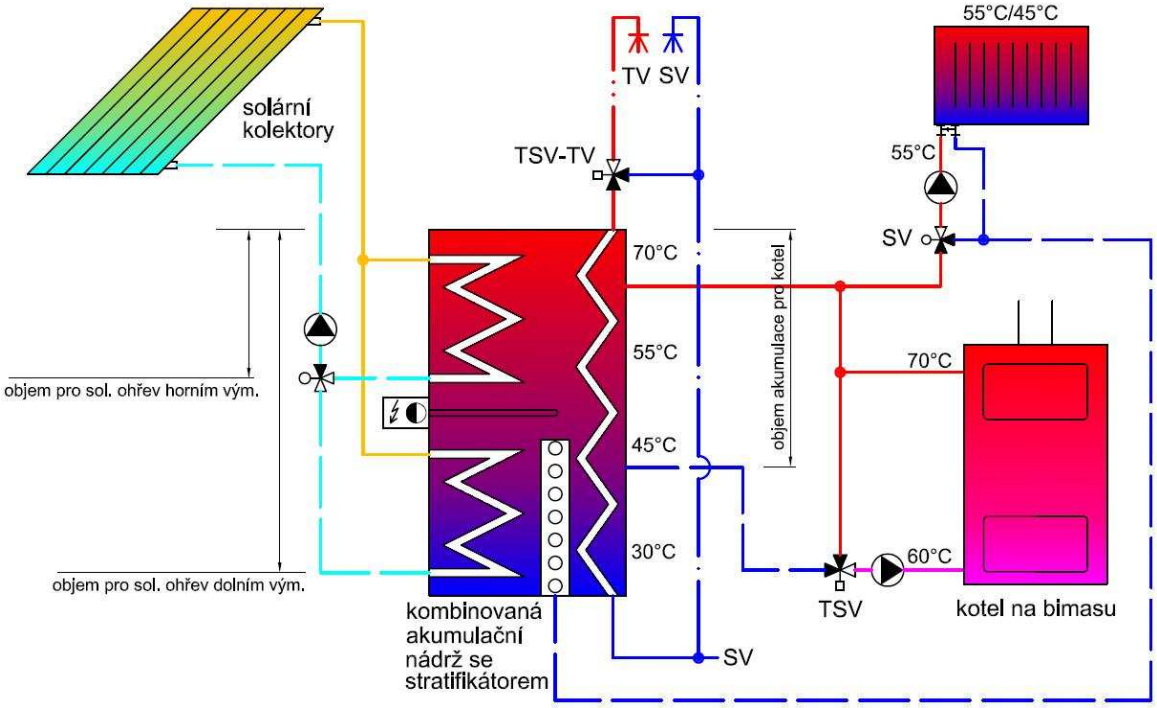
ANOTACE

V příspěvku je ukázáno porovnání výkonnosti tří různých způsobů integrované přípravy TV. Porovnání je provedeno pro dvě různé teplotní hladiny v akumulační nádrži, pro dva různé průtoky TV simulující úspornou a komfortní baterii a dále je měření provedeno s dohřevem o výkonu 10 kW a bez dohřevu v průběhu měření.

ÚVOD

Trendem poslední doby jsou nejrůznější kombinace odlišných zdrojů energie pro vytápění a přípravu teplé vody. Každý zdroj klade na svůj provoz různé požadavky, ať se jedná o optimální provozní teplotu, nebo možnost modulace výkonu, případně udržet zásobu energie po určitý čas. Všechny tyto požadavky se snaží projektanti skloubit dohromady a ve většině případů je zvolena centrální akumulační nádrž, která se stává centrem celé technologie. Nutnou součástí této technologie je samozřejmě i příprava teplé vody. Toto řešení má velkou řadu výhod, ale i určité nevýhody, takže si mezi projektanty našlo své příznivce, ale i odpůrce.

Na následujícím obrázku je jedno z možných zapojení systému s více zdroji tepla a integrovanou přípravou teplé vody.



Obr. 1 *Ideové schéma zapojení systému s centrální akumulační nádrží a více zdroji tepla*

Dalším úhlem pohledu je samotná instalace celé technologie do objektu. Ve většině typových rodinných domů není počítáno s dostatečně prostornou technickou místností. Uživatel by ale

rád zkombinoval různé zdroje energie pro efektivní, ekologické a především nízkonákladové vytápění a přípravu teplé vody. Pak je centrální akumulační nádrž téměř nutností. Nemalou výhodou může být i minimalizace tepelných ztrát při použití jedné nádrže, oproti systému s odděleným zásobníkem teplé vody a akumulační nádrží.

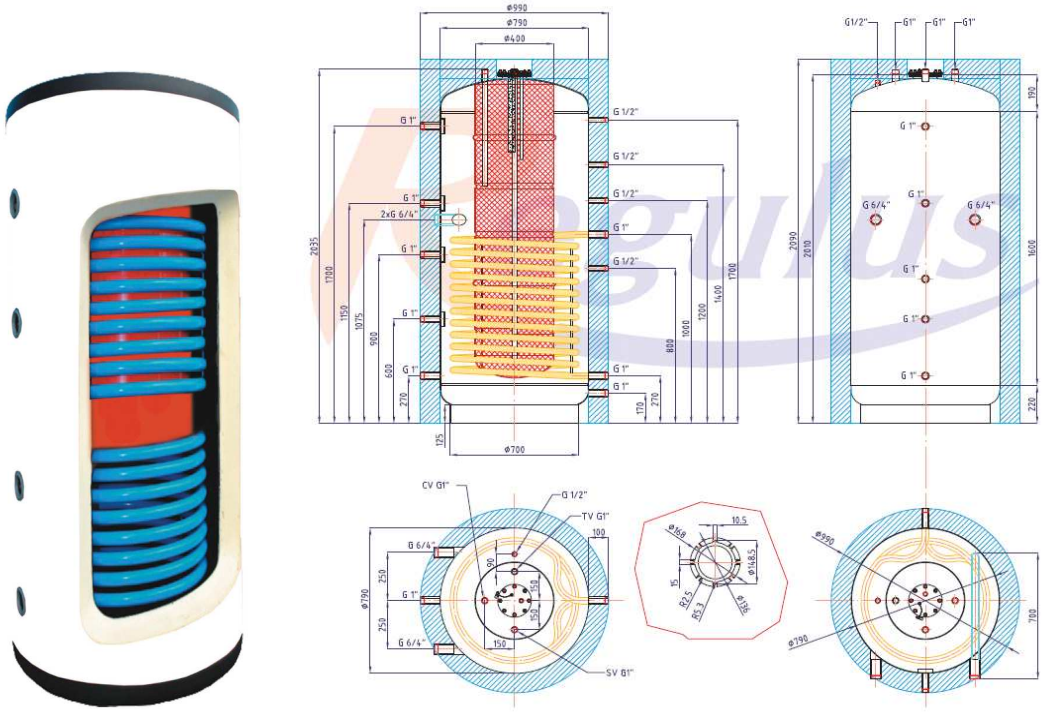
V následujícím bude ukázán především rozdíl mezi různými způsoby řešení integrace přípravy teplé vody do centrální akumulační nádrže.

POPIS JEDNOTLIVÝCH NÁDRŽÍ

Pro porovnání přípravy teplé vody s centrálním zásobníkem tepla byly vybrány tři různé způsoby od jediného výrobce.

Akumulační nádrž DUO-E 1000/220 s vnořeným zásobníkem teplé vody

Jedná se o akumulační nádrž o celkovém objemu 1000 l a o objemu vnořeného zásobníku 220 l. Vnější plášť akumulační nádrže je ocelový, vnitřní vnořený zásobník je ocelový smaltovaný. Nádrž disponuje šesti 1“ návarky pro připojení zdrojů tepla a topného systému, jedním návarkem 6/4“ pro elektrické topné těleso a čtyřmi ½“ návarky pro měření a regulaci (viz obrázek 2). Dále může být nádrž vybavena jedním nebo dvěma topnými hady pro připojení například solárního systému.



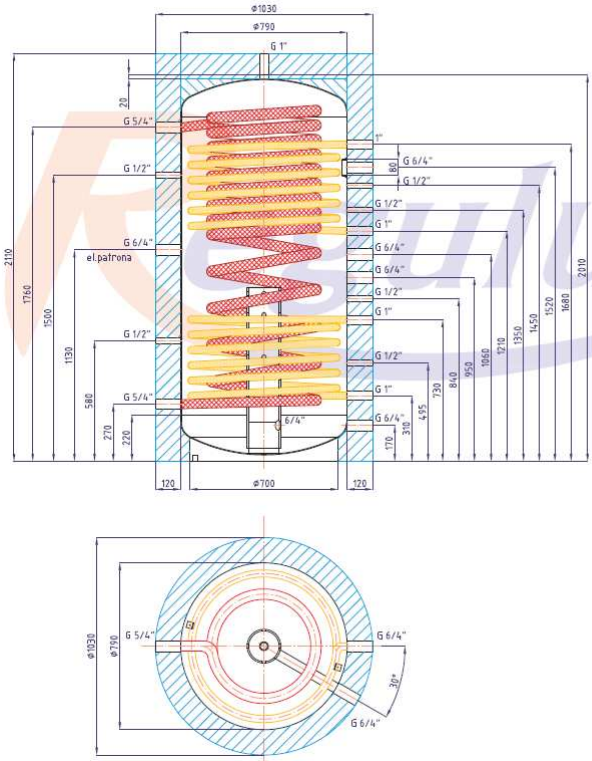
Obr. 2 *Řez akumulační nádrží DUO-E*

Vnořený zásobník je ze shora vybaven třemi 1“ návarky pro připojení teplé vody, studené vody a cirkulace, jedním ½“ návarkem pro měření a regulaci a je zde standardně vložena magnesiová anoda.

Akumulační nádrž HSK 1000 s vnořeným nerezovým výměníkem

Jedná se o ocelovou akumulační nádrž s vnořeným nerezovým výměníkem pro přípravu teplé vody o celkové ploše 7,2 m^2. Nádrž disponuje celkem šesti 6/4“ návarky a jedním 1“ návarkem pro připojení zdrojů tepla, topného systému a elektrického topného tělesa, šesti ½“ návarky pro měření a regulaci, dvěma 5/4“ návarky pro připojení studené a teplé vody a dva

topné hady pro připojení solárního systému z 1“ návarky (viz obrázek 3). Uvnitř nádrže je vložen stratifikační válec, do kterého se připojuje zpátečka z topného systému. Stratifikační válec umožňuje výrazně lepší teplotní rozvrstvení po celé výšce nádrže. Chování tohoto válce však není předmětem měření.



Obr. 3 *Řez akumulační nádrží HSK*

Průtoková příprava teplé vody má bezesporu výhodu především v absenci tvorby bakterie Legionella.

Akumulační nádrž PS 1000 v kombinaci s čerpadlovou skupinou pro přípravu TV

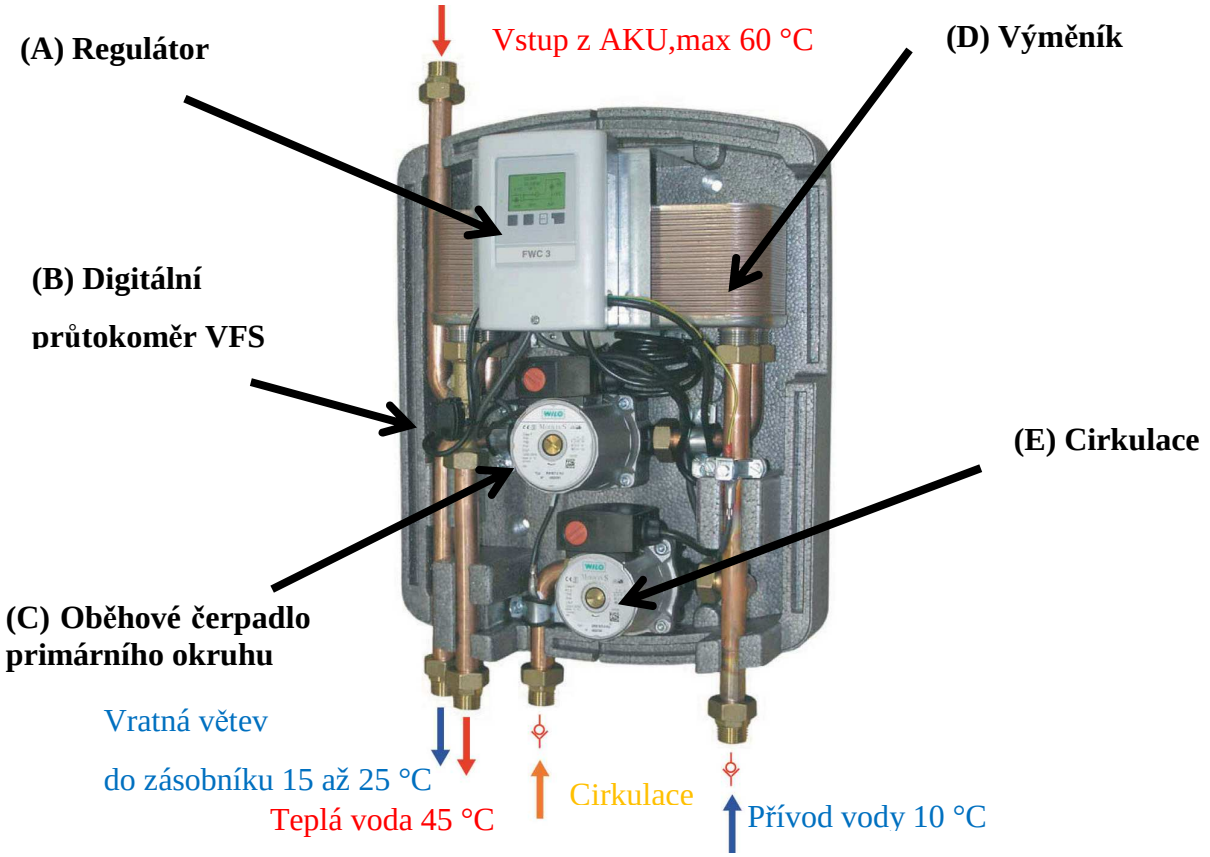
PS 1000 je ocelová akumulační nádrž pro akumulaci topné vody, která nemá integrovány žádné výměníky. Disponuje devíti 6/4“ návarky pro připojení zdrojů tepla a topného systému a třemi ½“ návarky pro měření a regulaci (viz obrázek 4).

Čerpadlová skupina pro přípravu teplé vody (viz obrázek 5) je vybavena regulátorem (A), který na svém displeji zobrazuje okamžitý průtok teplé vody, teploty i výkon. Průtok snímá digitální průtokoměr VFS (B) a na základě této hodnoty je regulátor schopen přizpůsobit otáčky oběhového čerpadla (C) od minimální hodnoty 12 % až po maximální 100 % a tím zajistí udržení zvolené výstupní teploty teplé vody, například 45 °C. Nerezový deskový výměník (D) má velkou teplosměnnou plochu a tím zajišťuje předání velkého množství tepla. Teplota na výstupu z výměníku klesá až k 15 °C. Volitelně může být v čerpadlové skupině integrováno oběhové čerpadlo cirkulačního potrubí. Regulátor disponuje algoritmem pro úsporný provoz cirkulace na základě informace o odběru (průtoku) a teploty. Pro maximální omezení ztrát cirkulací je možné zvolit tzv. funkci cirkulace dle požadavku.

Stejně jako u předchozího způsobu přípravy teplé vody i zde odpadají problémy s bakterií Legionella a její případnou likvidací.

S ohledem na komfort regulátor disponuje několika funkcemi pro maximální komfortní přípravu teplé vody, které nebyly po dobu měření zapnuté. Byl kladen důraz na úsporný režim na úkor komfortu a ve výsledcích měření je toto patrné.

Obr. 4 *Řez akumulační nádrží PS*



Obr. 5 *Čerpadlová skupina pro přípravu teplé vody*

CÍL A PRINCIP MĚŘENÍ

Cíl měření

Cílem měření bylo porovnat množství teplé vody, které lze získat z jednotlivých typů nádrží a to za různých průtoků, za různých teplot v nádržích a s dohřevem i bez dohřevu v průběhu měření výkonnosti.

Princip měření

Vždy před vlastním měřením byla akumulační nádrž ohřáta na dvě cílové teploty. První cílová teplota 55 °C měla za úkol simulovat provoz systému s tepelným čerpadlem, druhá cílová teplota 80 °C měla za úkol simulovat provoz například s kotlem na tuhá paliva (dřevo, peletky apod.).

Měření bylo provedeno vždy pro dva různé průtoky teplé vody. Prvním průtokem 15 l/min byl simulován provoz s úspornou baterií a druhým průtokem 25 l/min byl simulován provoz komfortní vanové baterie.

Vstupní teplota studené vody byla 10 °C. Výstupní teplota teplé vody byla během všech měření udržována na hodnotě 45 °C. Směšovací armatura, která zajišťovala tuto výstupní hodnotu, byla před každým měřením přednastavena, aby bylo maximálně zabráněno kolísání výstupní teploty. Při měření s čerpadlovou skupinou byla výstupní teplota udržována pomocí regulátoru regulací otáček čerpadla.

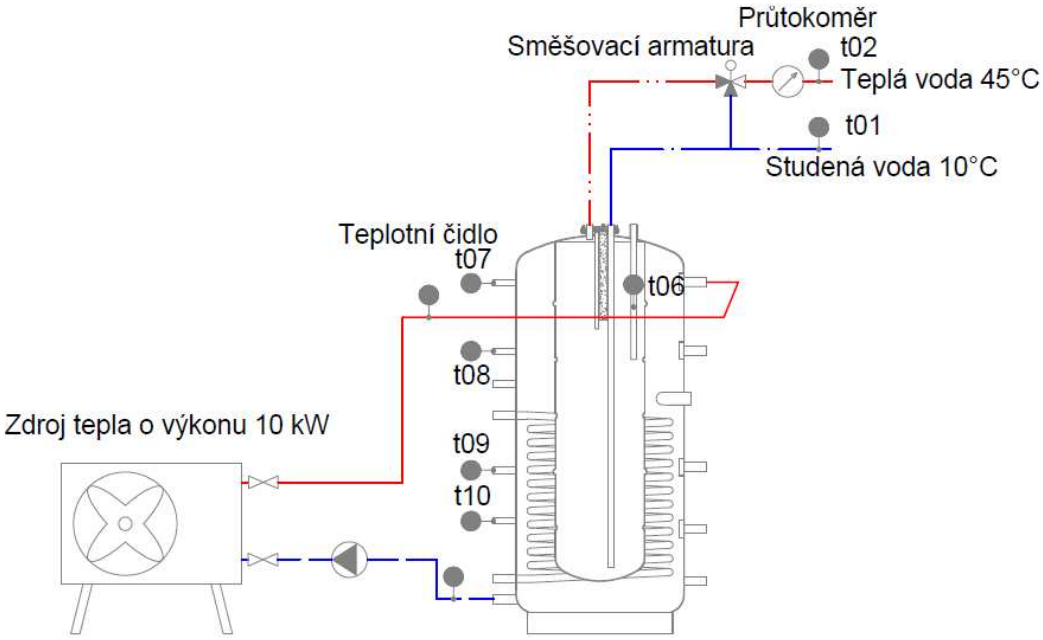
Posledním vstupujícím prvkem do měření byl dohřev zdrojem tepla. Měření bylo provedeno vždy bez dohřevu a s dohřevem. Výkon zdroje tepla pro dohřev zásobníku byl zvolen 10 kW především pro simulaci provozu tepelného čerpadla. Kotel na tuhá paliva o takto malém výkon není zcela běžný, takže u měření pro teplotu v akumulační nádrži 80 °C bylo upuštěno od měření s dohřevem. Z měření pro teplotu v akumulační nádrži 55 °C vyplývá určitý trend, ze kterého lze usuzovat na chování celého systému i pro teplotu 80 °C v akumulační nádrži.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Na výsledcích měření jsou patrné některé detaily, které budou popsány u každého měření. Jedná se především o rychlost náběhu výstupní teploty teplé vody, chování teplot v akumulační nádrži a vliv dohřevu. Výsledky měření, tedy množství vyteklé teplé vody jsou vždy uvedeny pro dvě hodnoty a to pro nastavenou výstupní teplotu 45 °C a pro teplotu 40 °C, která se ještě dá požadovat za využitelnou z hlediska teplé vody.

Akumulační nádrž DUO-E 1000/220

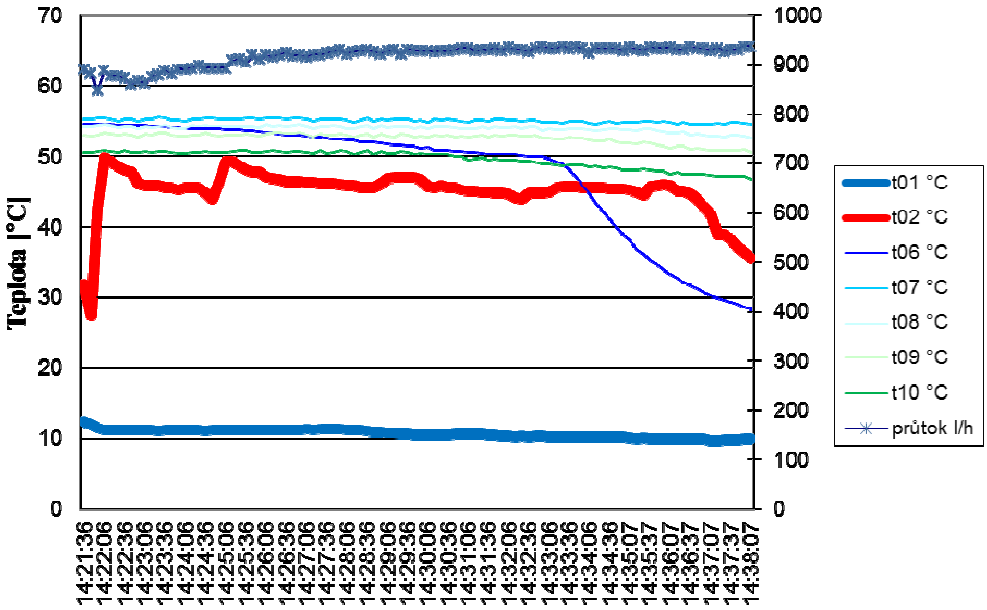
Na následujícím obrázku 6 je zjednodušené schéma zapojení měřené varianty DUO-E 1000/220. Pro další vyhodnocení výsledků jsou důležitá především pozice jednotlivých teplotních čidel.



Obr. 6 *Schéma měření*

Teplota 55 °C, průtok 15 l/min, bez dohřevu

Náběh výstupní teploty teplé vody (čidlo t02) je téměř okamžitý, takže zůstává zachován vysoký komfort. Teploty se v akumulační nádrži téměř nemění, nedochází tedy k výraznému předávání tepla mezi topnou vodou v akumulační nádrži a teplou vodou ve vnořeném zásobníku.

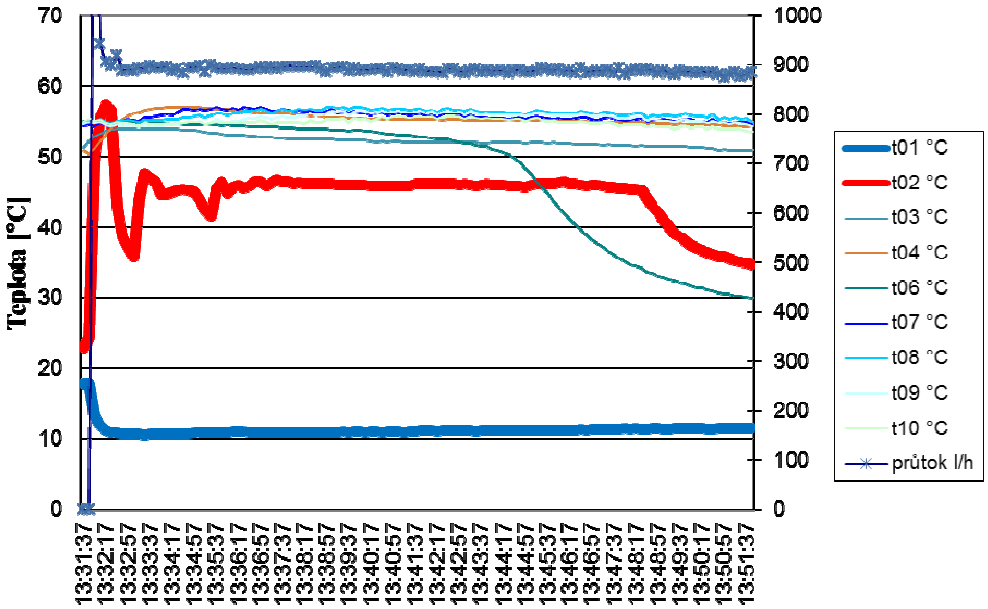


Obr. 7 *Graf měření*

Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 227 l a o teplotě 40 °C je 235 l. Z tohoto a z chování teplotního čidla t02 a t06 je patrné, že objem vody vytočený v této variantě je přibližně roven objemu vnitřního zásobníku a po jeho vyčerpání dochází k prudkému poklesu výstupní teploty.

Teplota 55 °C, průtok 15 l/min, s dohřevem

Chování systému je obdobné jako u varianty bez dohřevu.

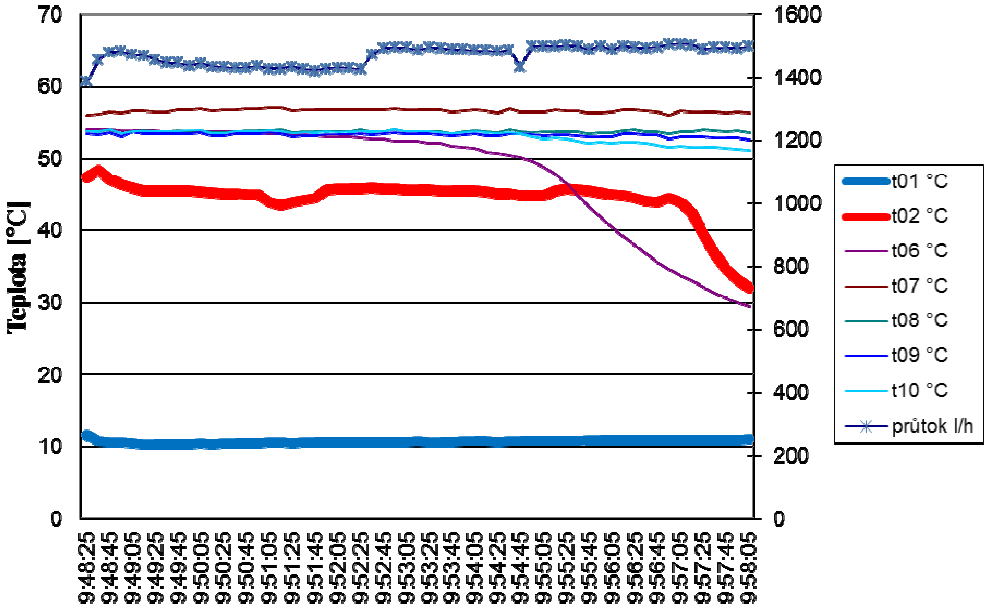


Obr. 8 *Graf měření*

Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 253 l a o teplotě 40 °C je 265 l. Vlivem dohřevu došlo k nepatrnému nárůstu vytočeného množství teplé vody.

Teplota 55 °C, průtok 25 l/min, bez dohřevu

Chování systému je obdobné jako u varianty pro průtok 15 l/min.

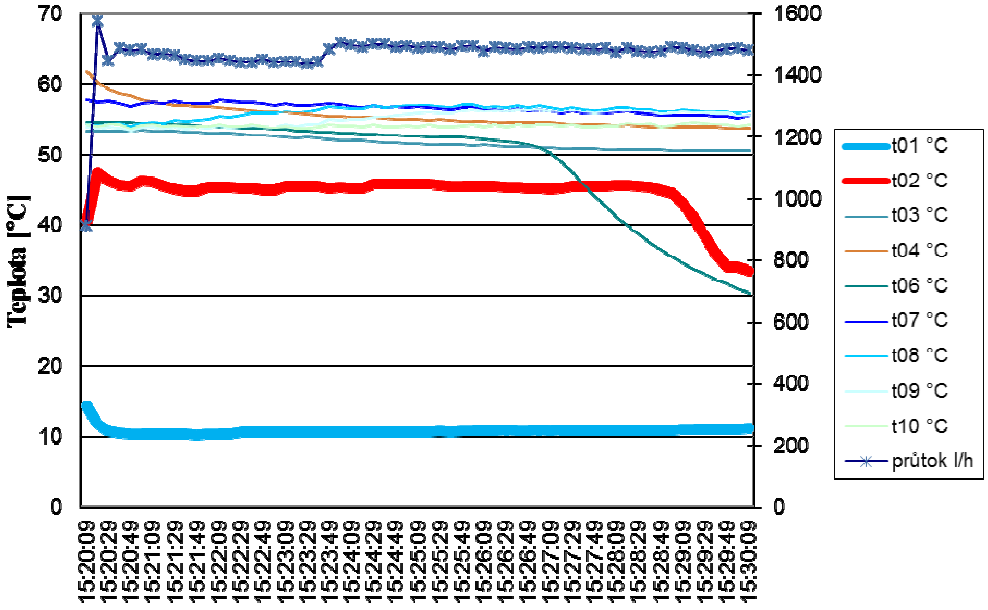


Obr. 9 *Graf měření*

Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 195 l a o teplotě 40 °C je 221 l. Vlivem vyššího průtoku došlo k nepatrnému poklesu vytočeného množství vody.

Teplota 55 °C, průtok 25 l/min, s dohřevem

Chování systému je obdobné jako u varianty pro průtok 15 l/min.

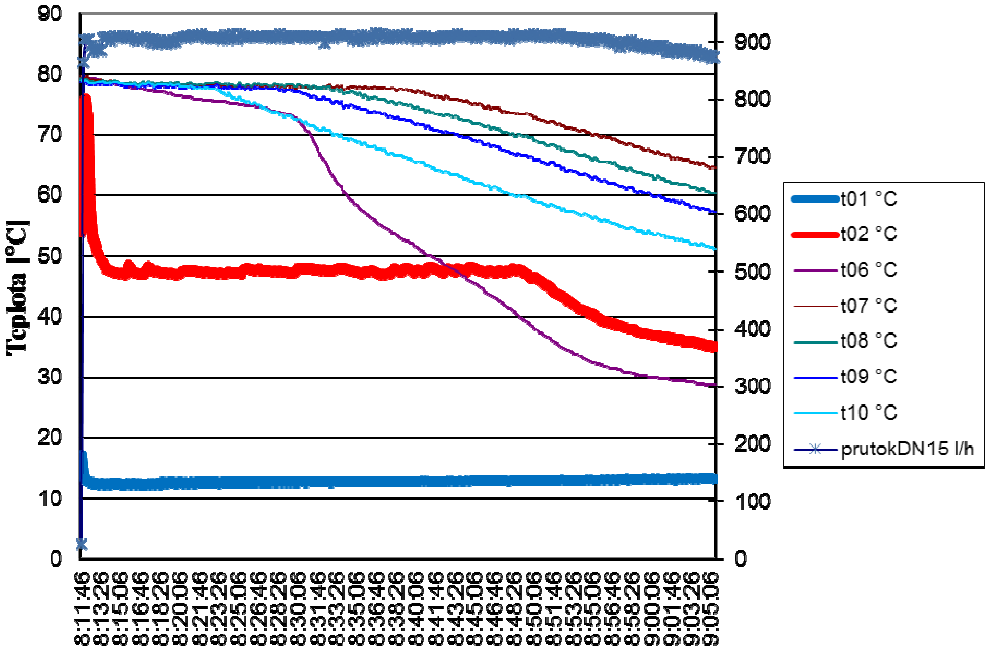


Obr. 10 *Graf měření*

Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 213 l a o teplotě 40 °C je 229 l.

Teplota 80 °C, průtok 15 l/min, bez dohřevu

Dle čidel umístěných v akumulační nádrži můžeme usuzovat, že při ohřevu akumulační nádrže na 80°C dochází předávání tepla mezi topnou vodou v akumulační nádrži a teplou vodou ve vnořeném zásobníku. Při větším rozdílu teplot tedy nevadí menší teplosměnná plocha vnořeného zásobníku.

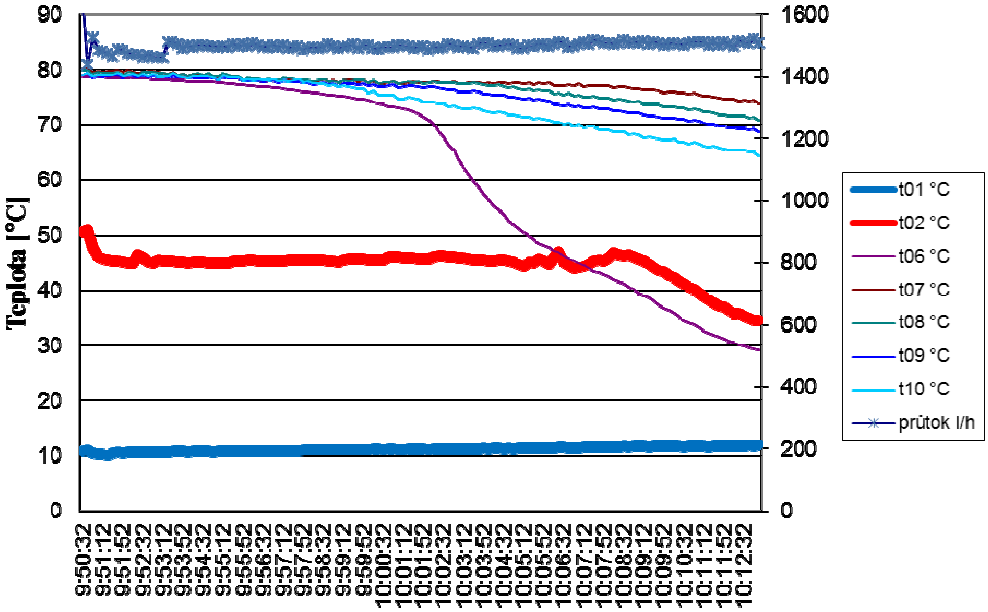


Obr. 11 *Graf měření*

Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 572 l a o teplotě 40 °C je 632 l.

Teplota 80 °C, průtok 15 l/min, s dohřevem

Chování systému je obdobné jako u varianty bez dohřevu.

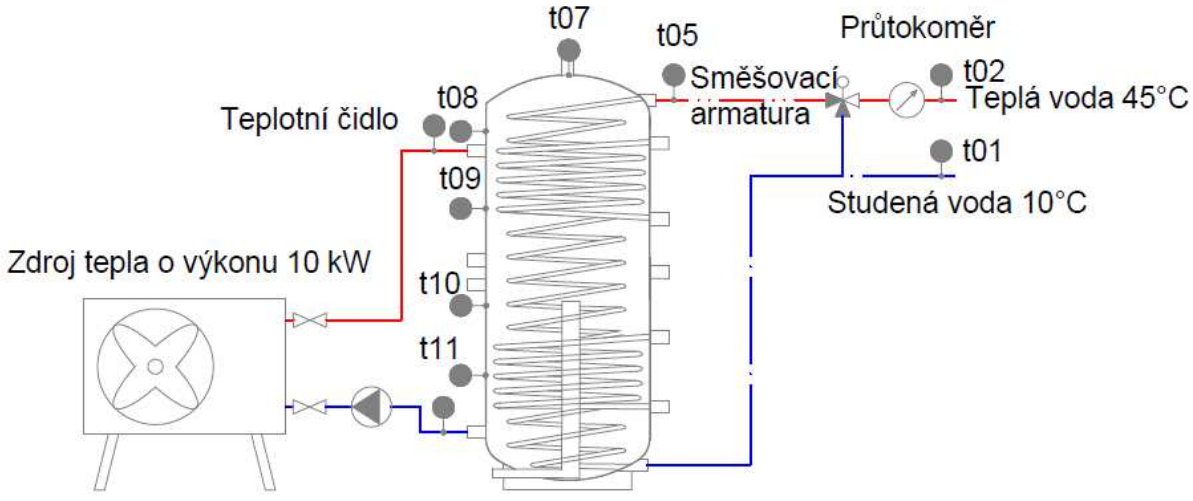


Obr. 12 *Graf měření*

Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 475 l a o teplotě 40 °C je 512 l.

Akumulační nádrž HSK 1000 s vnořeným nerezovým výměníkem

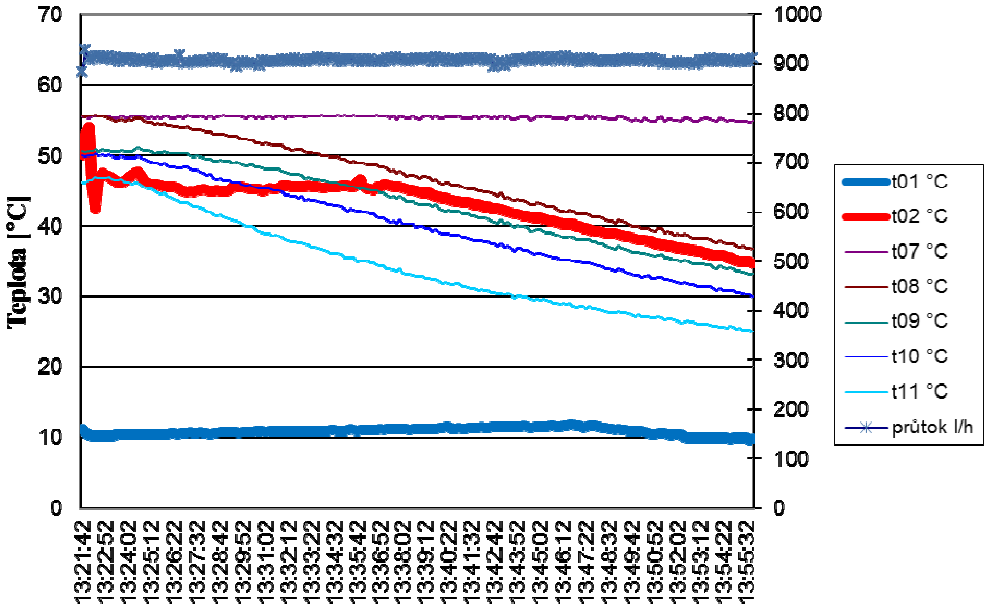
Na následujícím obrázku 13 je zjednodušené schéma zapojení měřené varianty HSK 1000. Pro další vyhodnocení výsledků jsou důležitá především pozice jednotlivých teplotních čidel.



Obr. 13 *Schéma měření*

Teplota 55 °C, průtok 15 l/min, bez dohřevu

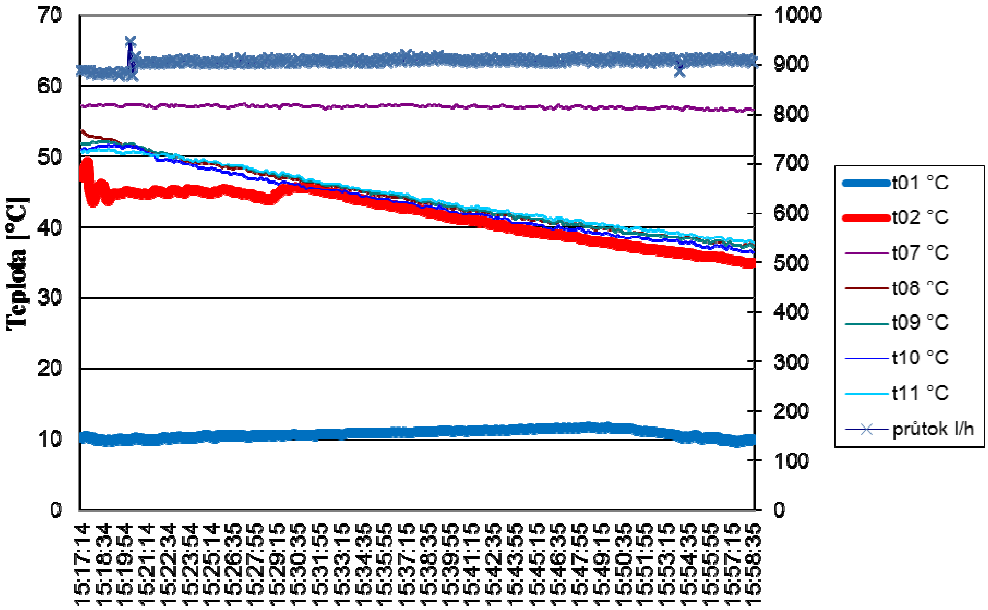
Náběh výstupní teploty teplé vody (čidlo t02) je téměř okamžitý, takže zůstává zachován vysoký komfort. Teploty se v akumulační nádrži mění, dochází tedy k intenzivnímu předávání tepla mezi otopnou vodou v akumulační nádrži a teplou vodou ve vnořeném výměníku.



Obr. 14 *Graf měření*

Teplota na čidle t07, které je umístěné ve vrchní části nádrže, se nemění. Je to dáno konstrukcí nádrže, vnořený výměník nezasahuje až do vrchlíku nádrže. Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 229 l a o teplotě 40 °C je 385 l. Pokud vytočené množství porovnáme s variantou DUO-E1000/220, vidíme, že množství 45 °C vody je téměř shodné, ale množství 40 °C vody je výrazně vyšší. HSK 1000 tedy lépe využívá naakumulované teplo.

Teplota 55 °C, průtok 15 l/min, s dohřevem



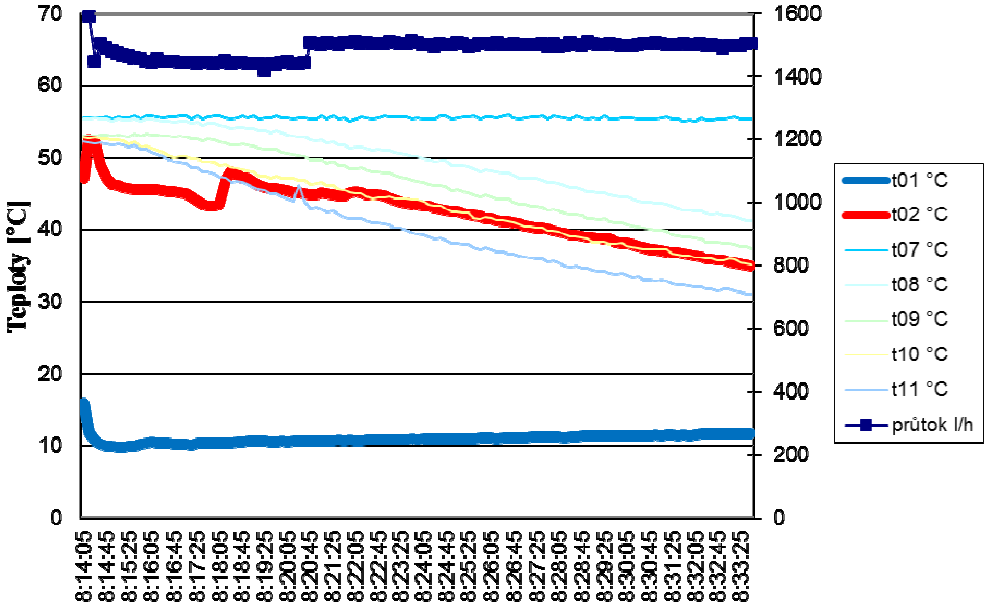
Obr. 15 *Graf měření*

U měření s dohřevem se ukazuje zajímavý efekt promíchávání celé nádrže. Teplotní čidla umístěná v akumulační nádrži mají po celou dobu měření shodnou teplotu. Důvodem je oběhové čerpadlo zdroje tepla, která zamíchá celou nádrž na téměř rovnoměrnou teplotu a nedochází k postupnému stratifikovanému vybíjení nádrže.

Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 253 l a o teplotě 40 °C je 405 l. V porovnání s měřením bez dohřevu je vidět nepatrný nárůst vytočeného množství.

Teplota 55 °C, průtok 25 l/min, bez dohřevu

Chování systému je obdobné jako u varianty pro průtok 15 l/min.

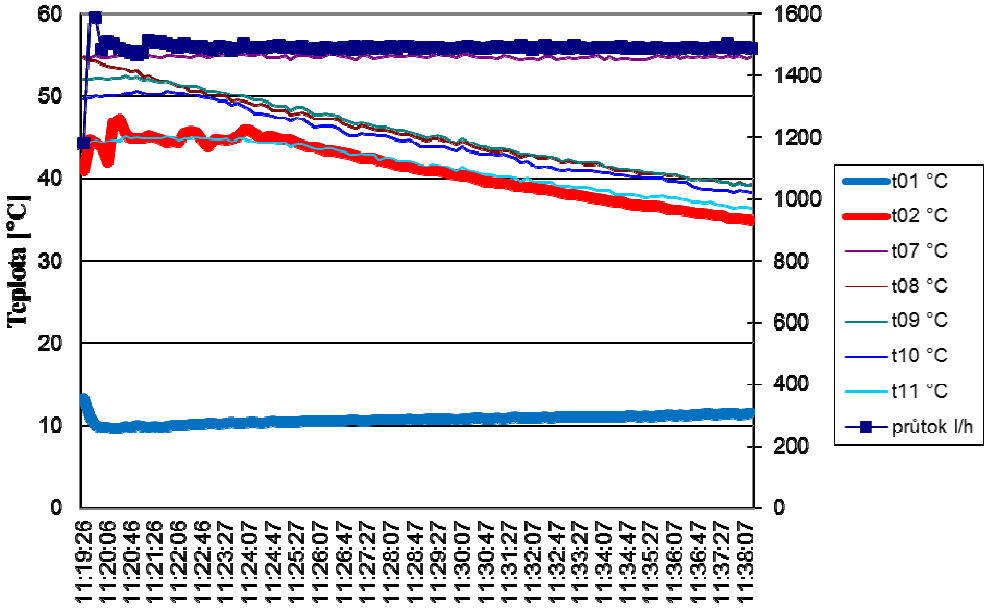


Obr. 16 *Graf měření*

Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 216 l a o teplotě 40 °C je 345 l.

Teplota 55 °C, průtok 25 l/min, s dohřevem

Chování systému je obdobné jako u varianty pro průtok 15 l/min.

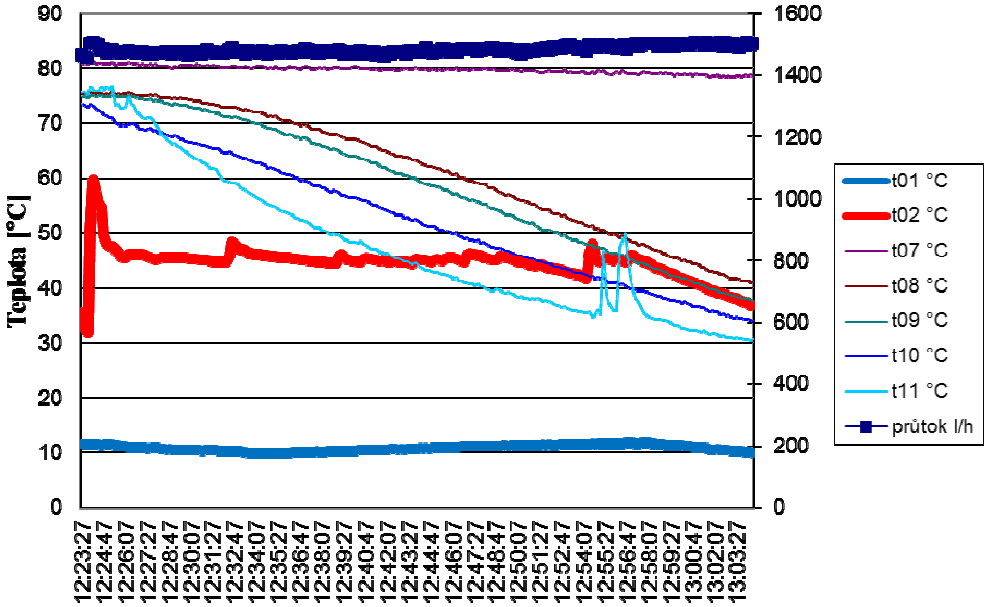


Obr. 17 *Graf měření*

Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 150 l a o teplotě 40 °C je 282 l.

Teplota 80 °C, průtok 15 l/min, bez dohřevu

Z údajů čidel umístěných v akumulační nádrži je patrné částečně stratifikované vybíjení.

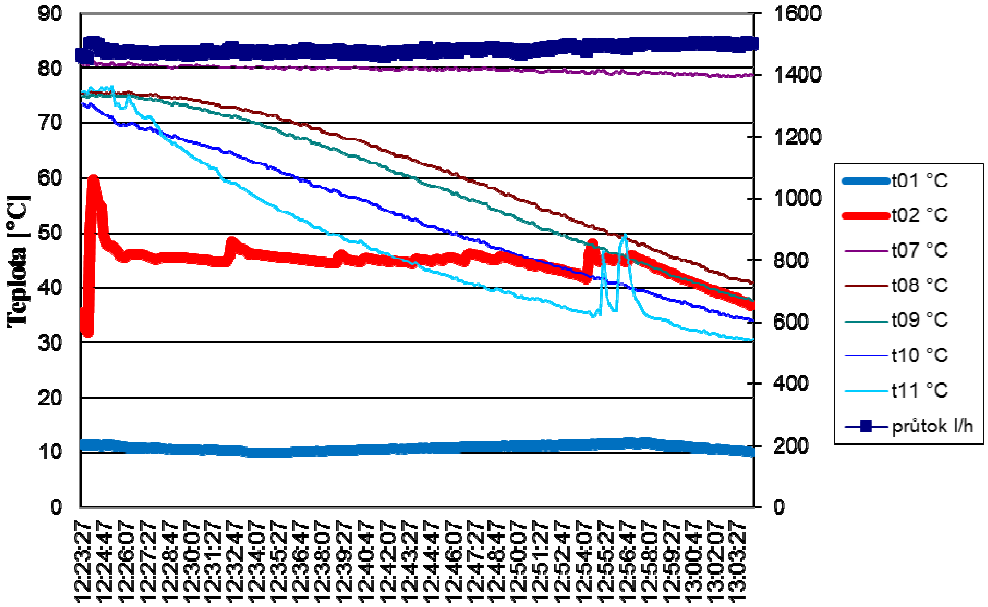


Obr. 18 *Graf měření*

Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 919 l a o teplotě 40 °C je 1009 l. Vytočené množství je výrazně vyšší než u varianty DUO-E.

Teplota 80 °C, průtok 15 l/min, s dohřevem

Chování systému je obdobné jako u varianty bez dohřevu.

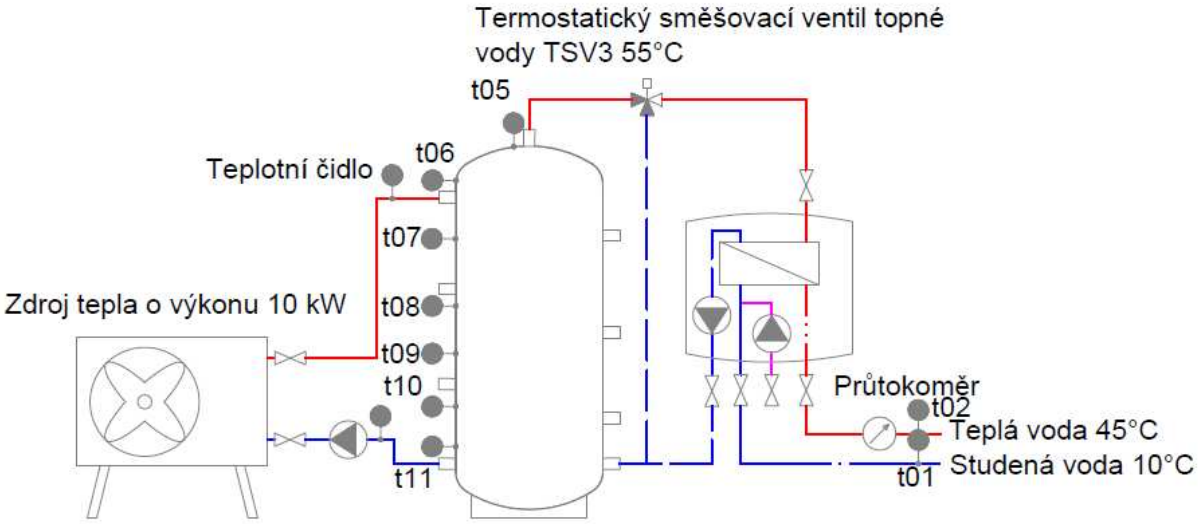


Obr. 19 *Graf měření*

Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 842 l a o teplotě 40 °C je 937 l. Vytočené množství je výrazně vyšší než u varianty DUO-E.

Akumulační nádrž PS 1000 s čerpadlovou skupinou pro přípravu teplé vody

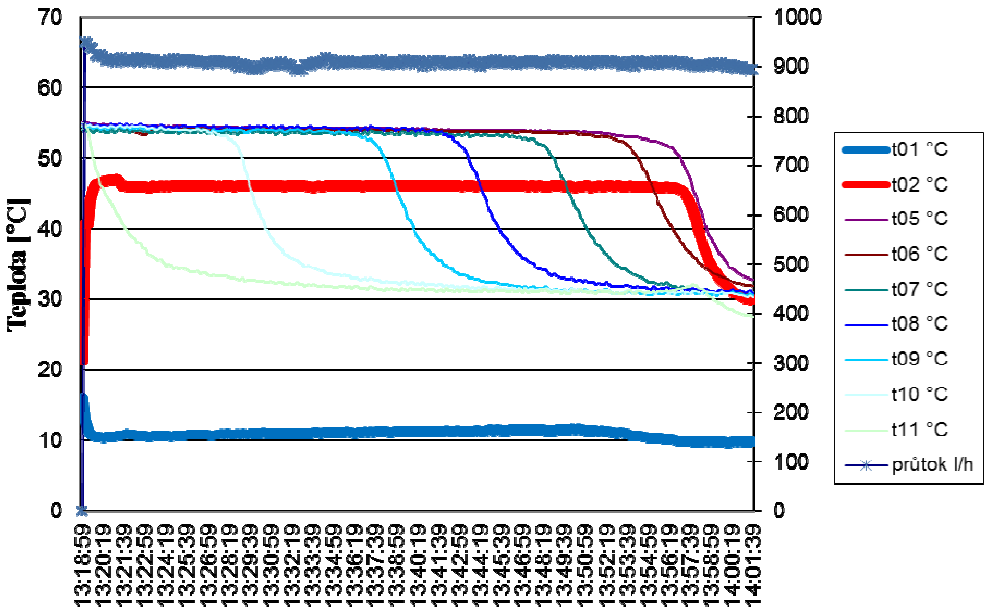
Na následujícím obrázku 20 je zjednodušené schéma zapojení měřené varianty PS 1000 v kombinaci s čerpadlovou skupinou. Pro další vyhodnocení výsledků jsou důležité především pozice jednotlivých teplotních čidel. U této varianty je nezbytný směšovací ventil na vstupu do čerpadlové skupiny, jehož úkolem je zamezit tvorbě vodního kamene ve výměníku.



Obr. 20 *Schéma měření*

Teplota 55 °C, průtok 15 l/min, bez dohřevu

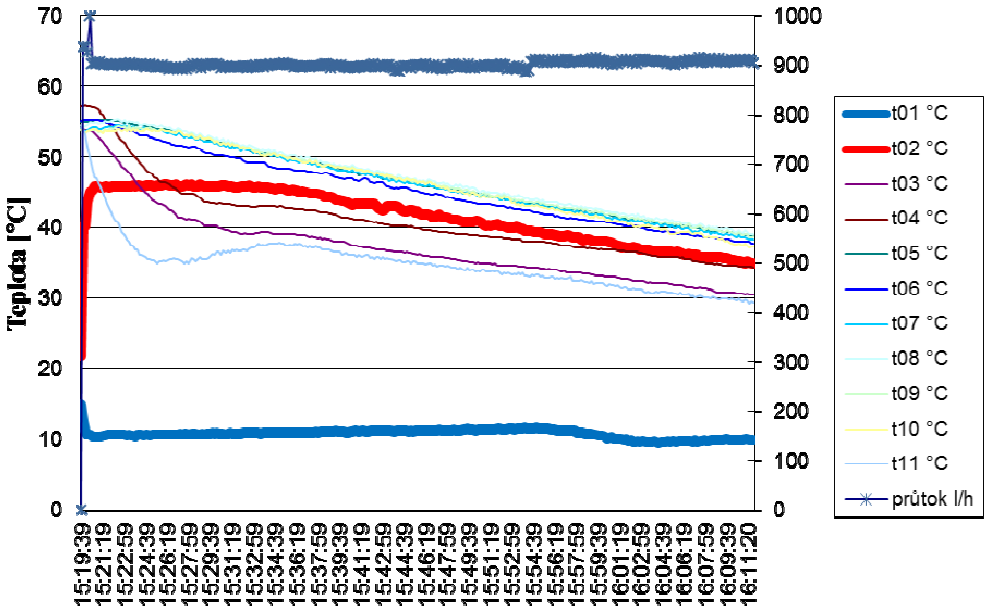
Náběh výstupní teploty teplé vody (čidlo t02) je pozvolný (cca 20 – 30 sec.). Pro rychlejší náběh existuje funkce zmiňovaná v úvodu, která udržuje výměník ohřátý v pohotovostním režimu. Na teplotních čidlech v akumulační nádrži je velmi dobře vidět kvalitní stratifikované vybíjení. Při použití solárního systému tato varianta nejvíce pomáhá navýšit zisky tohoto systému.



Obr. 21 *Graf měření*

Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 573 l a o teplotě 40 °C je 586 l. Vytočené množství je výrazně vyšší než u předchozích variant.

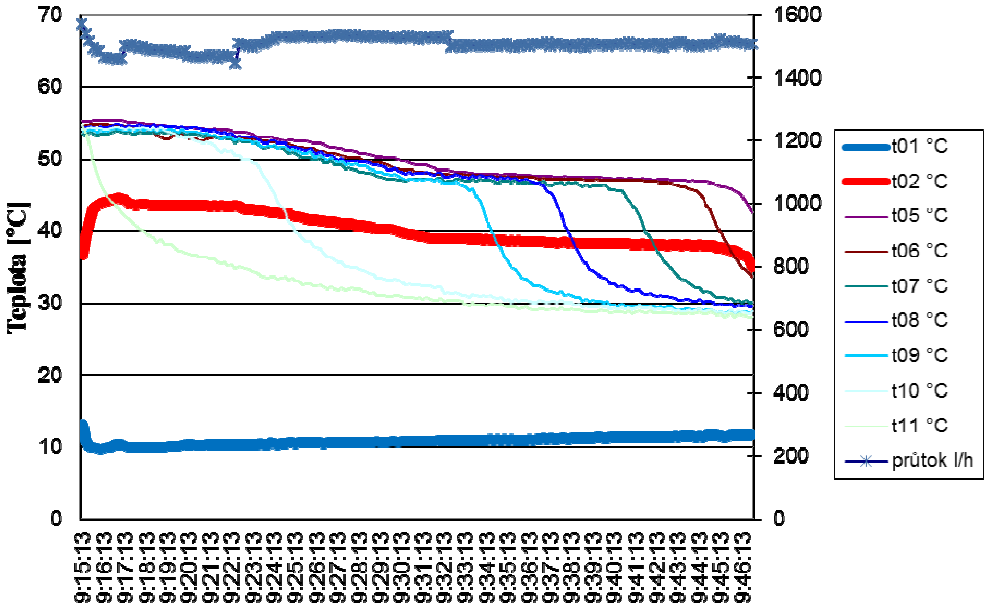
Teplota 55 °C, průtok 15 l/min, s dohřevem



Obr. 22 *Graf měření*

Výše zmiňovaný efekt promíchávání celé nádrže je patrný i při tomto měření, i když není tak výrazný. Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 267 l a o teplotě 40 °C je 502 l. Paradoxně došlo vlivem dohřevu ke snížení vytočeného množství oproti měření bez dohřevu. Ale i tak je toto množství největší z porovnávaných variant.

Teplota 55 °C, průtok 25 l/min, bez dohřevu

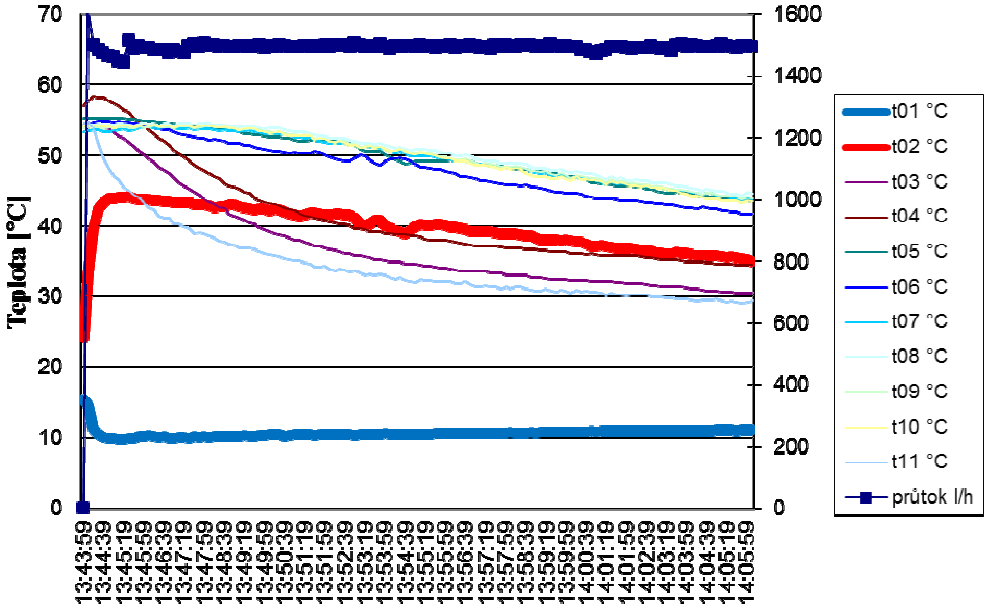


Obr. 23 *Graf měření*

Při tomto měření má čerpadlová skupina problémy dosáhnout nastavené výstupní teploty. Důvodem je příliš nízká teplota v nádrži při vysokém průtoku teplé vody. Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 45 l a o teplotě 40 °C je 369 l.

Teplota 55 °C, průtok 25 l/min, s dohřevem

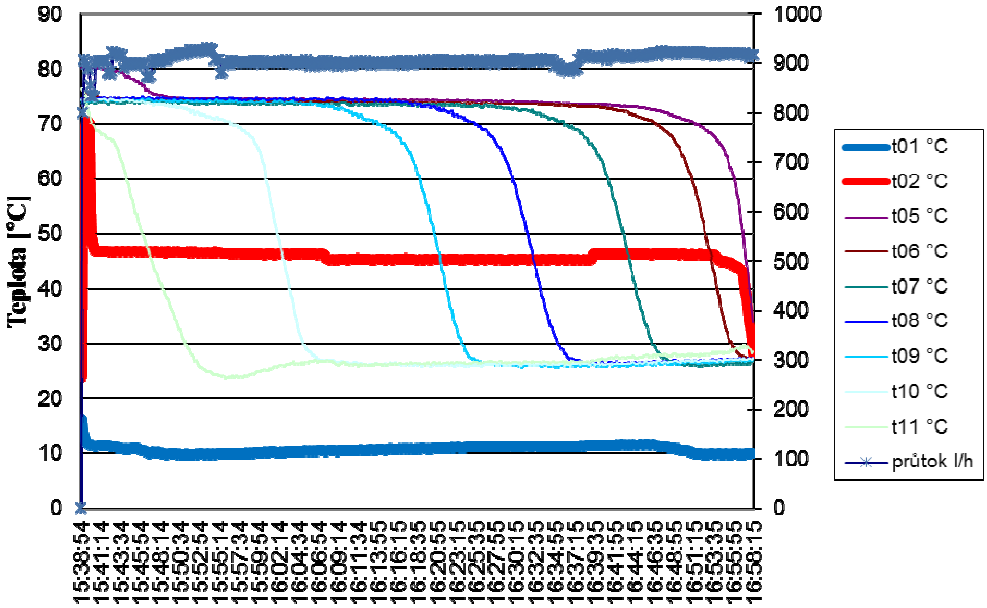
Chování systému je obdobné jako u předchozí varianty.



Obr. 24 *Graf měření*

Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 50 l a o teplotě 40 °C je 239 l.

Teplota 80 °C, průtok 15 l/min, bez dohřevu

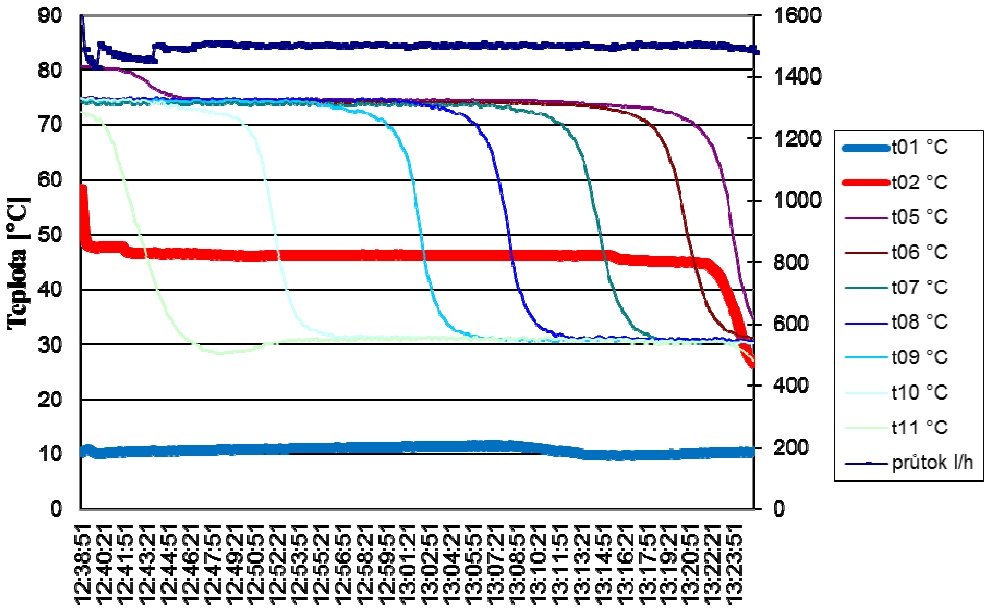


Obr. 25 *Graf měření*

Na začátku odběru dosáhne výstupní teplota na krátký okamžik vyšších hodnot. Je to způsobené reakcí čidel a regulace. Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 1141 l a o teplotě 40 °C je 1181 l. Vytočené množství je nejvyšší z porovnávaných variant.

Teplota 80 °C, průtok 15 l/min, s dohřevem

Chování systému je podobné jako u varianty bez dohřevu. Zajímavé je, že v tomto případně dohřev výrazně nenaruší stratifikaci a vyprazdňování nádrže.



Obr. 26 *Graf měření*

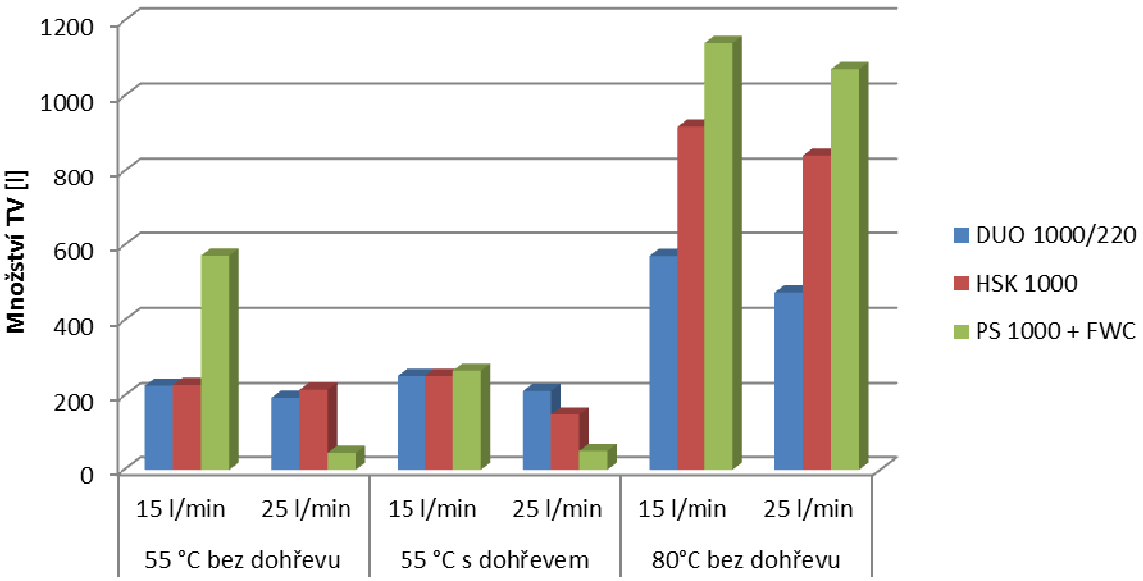
Vytočené množství teplé vody o teplotě 45 °C je 1072 l a o teplotě 40 °C je 1109 l. Vytočené množství je nejvyšší z porovnávaných variant.

ZÁVĚR

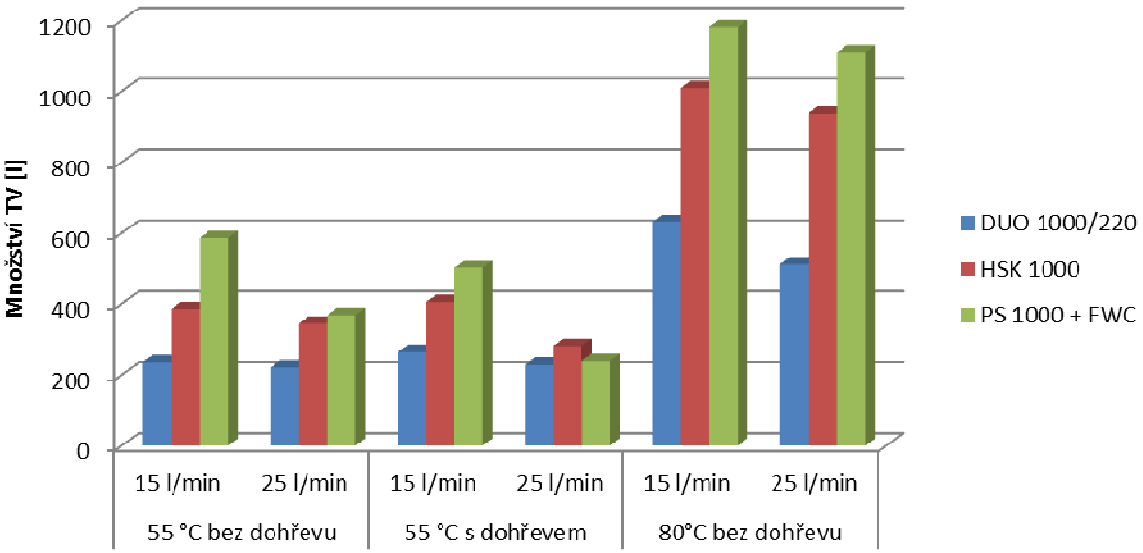
Z uvedených výsledků, které jsou shrnuty v tabulce 1 lze konstatovat následující. Varianta DUO-E a varianta HSK mají téměř totožné výsledky odběru 45 °C vody průtokem 15 l/min, ale zcela odlišné pro výstupní teplotu 40 °C, kde varianta HSK má výrazně vetší vydatnost teplé vody. Třetí varianta PS dosahuje absolutně nejlepších výsledků ve všech bodech měření vyjma měření o vysokém průtoku 25 l/min při výstupní teplotě 45 °C a teplotě v nádrži 55 °C, kde naopak dosahuje absolutně nejhorších výsledků jak s dohřevem tak i bez. Porovnání je dobře patrné z grafů na obrázku 27 pro 45 °C a obrázku 28 pro 40 °C.

Tab. 1 *Vytočené množství teplé vody [l] pro jednotlivé varianty měření*

	Varianta											
	DUO-E 1000/220				**HSK 1000**				**PS 1000**			
	15 l/min		**25 l/min**		**15 l/min**		**25 l/min**		**15 l/min**		**25 l/min**	
	40°C	**45°C**	**40°C**	**45°C**	**40°C**	**45°C**	**40°C**	**45°C**	**40°C**	**45°C**	**40°C**	**45°C**
55°C s dohřevem	235	227	221	195	385	229	345	216	586	573	369	45
55°C bez dohřevu	265	253	229	213	405	253	282	150	502	267	239	50
80°C bez dohřevu	632	572	512	475	1009	919	937	842	1181	1141	1109	1072



Obr. 27 *Graf výsledků – porovnání pro teplotu 45 °C*



Obr. 28 *Graf výsledků – porovnání pro teplotu 40 °C*

Závěrem lze říci, že nelze jednoznačně vyhodnotit nejlepší integrovanou přípravu teplé vody. Vše záleží na okrajových podmínkách a požadavcích, jakými jsou především předpokládaná provozní teplota v akumulační nádrži, požadavek na ochranu proti bakterii Legionella, požadovaná výstupní teplota i její průtok. Z uvedených grafů vyplývá, že důležité je správně umístit a zapojit zdroje tepla do akumulační nádrže, stejně tak i otopnou soustavu a přípravu teplé vody, případně správně spínat a vypínat zdroje tepla.

SEZÓNNÍ HORIZONTÁLNÍ ZÁSOBNÍK TEPLA V PODLOŽÍ BUDOVY

Petr Kramoliš[1], Pavel Kopecký[2]

[1]Projektant solárních zařízení, Projekce OZE
[2]ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb
kramolis.petr@seznam.cz, pavel.kopecky@fsv.cvut.cz

ANOTACE

Tento příspěvek se zabývá zemním zásobníkem tepla umístěným pod budovou. Zemní zásobník tepla umístěný pod budovou může představovat způsob jak dlouhodobě akumulovat sezónní přebytek tepla. Takové řešení zásobníku může snížit investiční náklady na jeho vybudování a zároveň ušetřit obestavěný prostor budovy. S návrhem i provozováním zemních zásobníků umístěných pod základovou deskou však chybí praktické zkušenosti. Při návrhu takového zásobníku se zejména jedná o navržení vhodné velikosti zásobníku vzhledem k velikosti očekávaného přebytku tepla, navržení způsobu jeho tepelné izolace a návrh vedení potrubí výměníku tepla uvnitř zásobníku. Dalším důležitým problémem je vzájemný vztah zásobníku a budovy nad ním. Pro předpověď přenosu tepla v rámci zemního zásobníku a jeho okolí byl vyvinut matematický model. Výsledkem z modelu je rozložení teplot pod budovou a v jejím okolí, tepelná bilance zásobníku a teplota kapaliny na výstupu. Numerický model tak pomáhá optimalizovat návrh zásobníku.

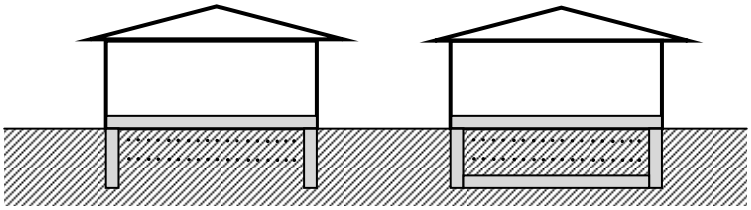
ÚVOD

V současné době se realizují nové koncepce obytných domů, jako například nízkoenergetické, pasivní a téměř nulové domy. Pro řadu investorů jsou velmi zajímavé budovy s roční potřebou tepla na vytápění 40 až 45 kWh/m^2 se solárními tepelnými soustavami, přičemž využití solární energie nezvyšuje emise CO_2 a snižuje energetickou závislost na fosilních palivech. K překlenutí časové neshody mezi energetickým ziskem a poptávkou slouží zásobníky tepla. Obecně platné požadavky na zásobníky tepla jsou známé. Zásobník by za danou dobu měl přijmout anebo vydat požadované množství energie. Proces akumulace tepla by měl být spojený s co nejmenšími tepelnými ztrátami. Zařízení zásobníku by zároveň mělo být cenově únosné.

Jako dlouhodobé zásobníky pro menší solární soustavy se v současné době používají vodní tlakové i beztlaké zásobníky o obsahu několik desítek až stovek m^3. Nevýhodou je jejich umístění v budově, kde zabírají cenný prostor. Z tohoto důvodu se tento příspěvek zabývá koncepcí sezónního horizontálního zásobníku, který využívá zeminu v podloží staveb pro akumulaci tepla. Oproti zemním zásobníkům s vertikálními vrty určenými pro soustavy dálkového zásobování teplem, se jedná o zásobníky malé s objemem cca 100 - 900 m^3, určené pro jednotlivé budovy.

Sezónní horizontální zemní zásobník je umístěn v podloží budovy mezi obvodovými základovými pásy (viz obrázek 1). Po obvodě i v horní části je uložena tepelná izolace z pěnového skla. Většinou se využívá původní zemina, pouze v případě lehčích a provzdušněných půd se může použít kvalitnější zemina z blízkých lokalit. Trubkový registr bývá uložen v jedné nebo dvou horizontálních rovinách. Rozteč potrubí se pohybuje v rozsahu 500 až 700 mm v závislost na druhu zeminy, požadovaném výkonu a teplotním spádu. Pokládání trubek může být prováděno buď pomocí rýh, eventuálně při menších roztečích vyjmutím zeminy v celé ploše. Kvůli tlakové ztrátě by délka jedné větve potrubí neměla přesáhnout 100 m. V horní části zásobníku mohou být položeny trubky pro

zvlhčování zeminy a udržování vysoké vodivosti a tepelné kapacity zeminy. Maximální teplota zeminy v zásobníku se pohybuje v rozsahu 65 až 75 °C. Využití tepla až do teplot okolo 10 °C umožňuje tepelné čerpadlo.



Obr. 1 *Zásobník tepla umístěný pod domem (vlevo - bez tepelné izolace spodní strany zásobníku, vpravo - s tepelnou izolací spodní strany zásobníku).*

Přepočteme-li měrnou potřebu tepla budovy na vytápění na metr čtvereční zastavěné plochy, kde je možné umístit zásobník, a porovnáme-li ji s maximální reálnou tepelnou kapacitou zemního zásobníku přepočtenou také na metr čtvereční zastavěné plochy, můžeme porovnat možnosti umístění zemního zásobníku v různých budovách (viz tabulka 1). U pasivních domů by postačila přibližně jedna pětina možné plochy zásobníku, eventuelně by mohla být zásobována i vícepodlažní pasivní budova. U nízkoenergetických staveb by mohly být použity dvě podlaží nebo při jednom podlaží pouze polovina plochy zásobníků. Z prvního přiblížení vyplývá, že tento zásobník postačuje jako sezónní pro uvedený typ staveb a přitom nezabírá žádnou užitečnou plochu stavby. Definitivní závěry je možno udělat po individuálním výpočtu podle druhu zeminy, zapojení do otopné soustavy a charakteru stavby.

Tab. 1 *Potřebná plocha zemního zásobníku podle měrné potřeby tepla na vytápění budovy.*

	Jednotka	**Jednopodlažní**		**Dvoupodlažní**	**Poznámka**
		PD	LE	LE	
Měrná potřeba tepla domu	kWh/m^{2}a	15	40	65	přepočteno na m^2 zastavěné plochy
Měrná potřeba tepla domu (75%)	kWh/m^{2}a	11	30	49	říjen-leden
Kapacita zásobníku	kWh/m^{2}a	81	81	81	při ΔT = 55 ^{o}C, hloubce 2 m
Tepelná ztráta zásobníku	kWh/m^{2}a	36	35	34	Přibližně 45 % z maxima
Využitelná kapacita	kWh/m^{2}a	45	46	47	
Uvažovaný počet podlaží stavby	−	1 (4)	1 (2)	2	V závorce je uvedený možný počet podlaží
Využití půdorysné plochy	%	24	65	104*	*4% plochy chybí
PD - pasivní domy, LE - nízkoenergetické domy					

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ ZEMNÍHO ZÁSOBNÍKU EKOPARK ODOLENA VODA

Energetické centrum pro EKOPARK Odolena Voda (základní informace o projektu viz [1]) je umístěno v SO 01, pod kterým bude realizován také zemní zásobník. V tomto případě se uvažuje rozměr zásobníku 12,6 x 18,4 m, hloubka cca 2 m (rozměry bez izolací). Tepelná izolace zásobníku bude provedena z pěnového skla v tloušťce 500 mm (případně 600 mm). Trubkový registr se uloží do dvou výškových úrovní o vzájemné vzdálenosti 700 mm. Celkový počet větví registru je deset v obou úrovních. Pro vyčerpání tepelné kapacity z úrovně 35 °C na hladinu přibližně 10 °C je navrženo speciální tepelné čerpadlo o jmenovitém výkonu 15 až 20 kW, s maximální teplotou na zdrojové straně 35 až 38 °C.

Nabíjení zásobníku bude prováděno solárním teplem v kombinaci s odpadním teplem z kogenerační jednotky na rostlinný olej. V objektu je navrženo absorpční chlazení. Solární teplo bude v době chlazení na úrovni 95 až 98 °C přednostně použito pro chladicí jednotku. Ve zbývající době bude ukládáno do zemního zásobníku společně s krátkodobými přebytky odpadního tepla z kogenerace.

Vytápění objektu i celého EKOPARKU je nízkoteplotní, což umožňuje částečně využívat teplo ze zásobníku přímo, částečně přes tepelné čerpadlo při poklesu teplot zásobníku pod 35 °C. V energetickém centru, umístěném přibližně 10 m od napojovacího uzlu zemního zásobníku, je osazen vyrovnávací zásobník, který akumuluje tepelnou energii z více zdrojů. Uplatněna je stratifikace, tj. teplo je ukládáno podle teploty do odpovídajících vrstev. Na výstupu ze stratifikačního zásobníku bude teplota ekvitermně regulována. Za zmínku stojí, že pro dvanáct objektů EKOPARKU je navrženo malá solární soustava pro CZT.

SIMULACE ZEMNÍHO ZÁSOBNÍKU

Popis modelu

V matematickém modelu se předpokládá, že známé jsou základní rozměry a geometrie zásobníku, rozdělení potrubí do jednotlivých větví, tepelné vlastnosti materiálu zeminy a potrubí, způsob nabíjení a vybíjení zásobníku (časový průběh, průtok jednotlivými větvemi, teplota kapaliny na vstupu do zásobníku). Z modelu chceme získat tepelnou bilanci zásobníku a časové průběhy teploty kapaliny na výstupu a teploty zeminy v zásobníku a jeho okolí.

Zjednodušující předpoklady modelu jsou:

- pole teplot v zásobníku se uvažuje pouze v jednom charakteristickém 2D řezu vedeném středem zásobníku;
- mezi teplotou kapaliny na vstupu a výstupu se předpokládá lineární průběh;
- vlastnosti zeminy a materiálu potrubí jsou konstantní;
- zanedbává se schopnost akumulace tepla v materiálu tepelné izolace zásobníku.

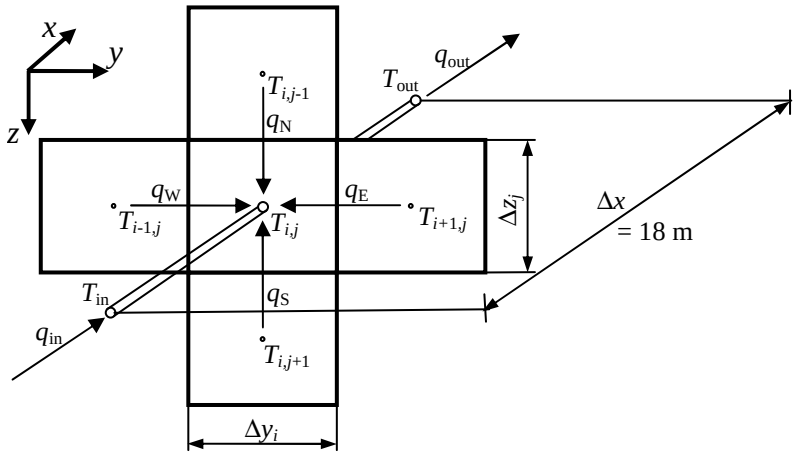
První zjednodušující předpoklad vede k podhodnocení celkových tepelných ztrát zásobníku, neboť dvojrozměrný výpočet neuvažuje tepelné toky přes přední a zadní stranu zásobníku, přídavné tepelné toky kolem koutů a možné další tepelné mosty. Předpoklad lineárního průběhu teploty kapaliny po délce potrubí patrně není splněný pouze v obdobích těsně po skokové změně (například po zapnutí průtoku kapaliny při nabíjení). Vlastnosti zeminy ve skutečnosti nejsou konstantní, a jsou závislé na teplotě a vlhkosti zeminy. Větší vliv zde patrně má závislost součinitele tepelné vodivosti a objemové tepelné kapacity na vlhkosti. Z výše uvedeného je zřejmé, že použití uvedených zjednodušujících předpokladů k určitým chybám, ale ty by neměly zásadně ovlivnit výsledky.

Výpočetní aplikace byla naprogramována v prostředí Matlab [2]. Algoritmus řešení je založený na následujícím postupu. Pro každý časový krok výpočtu se nejprve vypočte pole teplot v rámci charakteristického řezu. Numerickou metodou se řeší diferenciální rovnice dvojrozměrného vedení tepla v neustáleném stavu s vlivem zdroje tepla v místech potrubí. Po diskretizaci této rovnice v prostoru a čase dostaneme (viz obrázek 2):

$$\Delta y_i \Delta z_j \rho c \frac{T_{i,j}^{\text{new}} - T_{i,j}^{\text{old}}}{\Delta \tau} = \frac{G c_\text{f} T_\text{in}}{\Delta x} - \frac{G c_\text{f} T_\text{out}}{\Delta x} + q_\text{W} \Delta z_j + q_\text{E} \Delta z_j + q_\text{N} \Delta y_i + q_\text{S} \Delta y_i \,(\text{W/m}) \quad (1)$$

kde ρ (kg/m^3) je objemová hmotnost zeminy, c (J/kg·K) je měrná tepelná kapacita zeminy, G (kg/s) je průtok kapaliny, c_f (J/kg·K) je měrná tepelná kapacita kapaliny, $T_{i,j}$ je teplota zeminy v pozici i, j, $\Delta\tau$ (s) je délka časového kroku, T_in je teplota kapaliny na vstupu do

příslušné části potrubí, T_{out} je teplota na výstupu z příslušné části potrubí, q (W/m^2) je hustota tepelného toku. Index old označuje hodnotu v čase o krok zpět. Index new označuje neznámou, která se právě počítá. Pro buňky charakteristického řezu, kterými potrubí neprochází, jsou první dva členy na pravé straně rovnice (1) nulové.



Obr. 2 *Tepelná bilance kontrolního objemu*

Po výpočtu pole teplot v charakteristickém řezu se vypočítá teplota kapaliny na výstupu ze zásobníku, kdy se využije předpoklad lineárního průběhu teploty kapaliny po délce potrubí:

$$T_{out} = 2T_{i,j} - T_{in} \tag{2}$$

kde $T_{i,j}$ je teplota kapaliny v pozici, v které potrubí prochází přes charakteristický řez.

Případová studie

Uvažovaná šířka zásobníku je 12,58 m. Uvažovaná délka zásobníku je 18 m. Tepelná izolace bočních stran zásobníku je umístěna do hloubky 2,0 m pod úroveň terénu. Potrubí o vnějším průměru 0,025 m je v zásobníku umístěno ve dvou výškových úrovních - 0,7 m a 1,4 m pod úrovní tepelné izolace podlahy, a je rozděleno na deset paralelních smyček. Boční odstup jednotlivých trubek je 0,6 m. Další vstupní údaje do simulace jsou uvedeny v tabulce 2 a 3. Studie uvažuje dvě varianty: a) s tepelnou izolací spodní strany zásobníku, b) bez tepelné izolace spodní strany zásobníku.

Tab. 2 *Způsob nabíjení a vybíjení zásobníku.*

	Průtok jednou větví potrubí	**Teplota kapaliny na vstupu do zásobníku**[+]	**Časový průběh**
	[kg/s]	**[°C]**	**[h]**
Nabíjení	0,08	80	VII. - IX.: 10/4/10*
Vybíjení	0,08	X. - XII.: 30 I. - II.: 10	Každý měsíc různě - podle potřeby tepla

Nabíjení a vybíjení zásobníku bylo zvoleno tak, aby přibližně odpovídalo množství tepla produkovaného solárním systémem a předpokládanému odběru tepla, tj. rozložení potřeby tepla na vytápění dvou nízkoenergetických rodinných domů.

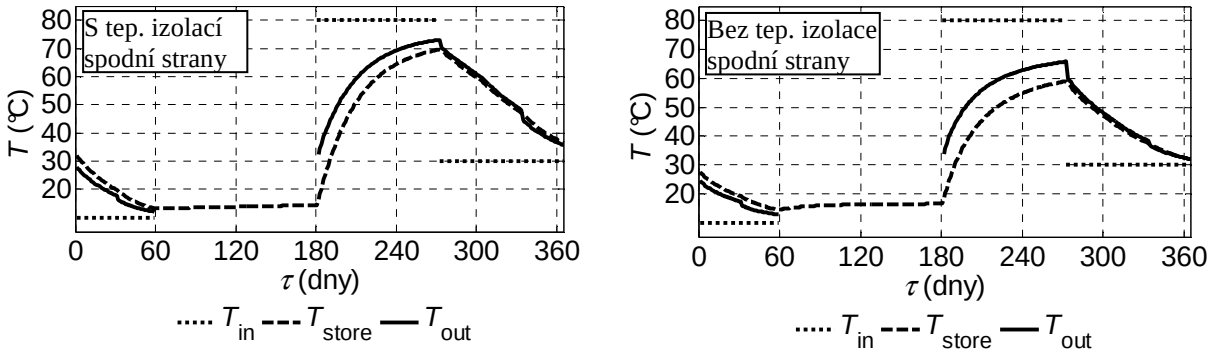
[+]Nižší teplota v případě režimu s tepelným čerpadlem

[*]x/y/z označuje počet hodin ve dne, kdy je nabíjení nebo vybíjení vypnuto/zapnuto/vypnuto

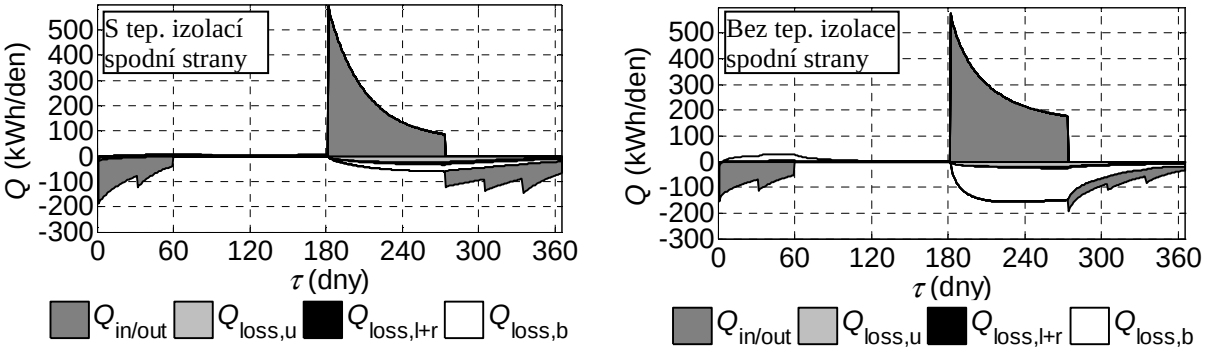
Tab. 3 *Uvažované vlastnosti materiálů.*

	Součinitel tepelné vodivosti [W/(m·K)]	**Objemová tepelná kapacita [J/(m³K)]**	**Tloušťka [m]**
Zemina	1,5	1200 × 2000	-
Tepelná izolace zásobníku	0,05	zanedbává se	0,50
Tepelná izolace podlahy domu	0,05	zanedbává se	0,50
Plastové potrubí	0,40	zanedbává se	0,0023

Obrázek 3 zobrazuje průměrnou teplotu zemního zásobníku během roku. Je zřejmé, že během tří letních měsíců se zásobník při zadaném způsobu nabíjení ohřeje téměř na 70 °C, resp. na 60 °C v případě bez tepelné izolace spodní strany. Během podzimního období a posléze v zimních měsících je toto teplo odváděno do otopné soustavy. Zásobník je tak ke konci února ochlazený téměř na 10 °C a další energii již z něj není možné odebírat. Nižší teplotní úroveň v zásobníku bez tepelné izolace spodní strany vede k nižšímu odběru uloženého tepla v průběhu podzimu, tj. v režimu bez tepelného čerpadla. Obrázek 3 také zobrazuje teplotu kapaliny na vstupu do zemního zásobníku a průměrnou teplotu kapaliny na výstupu ze zemního zásobníku (průměr ze všech paralelních smyček). Nižší teplota v zásobníku bez tepelné izolace spodní strany zároveň vede k nižší teplotě kapaliny na výstupu.



Obr. 3 *Teplota kapaliny na vstupu do zásobníku T_{in}, teplota kapaliny na výstupu ze zásobníku T_{out} a průměrná teplota zásobníku T_{store}. Jedná se o denní průměry.*



Obr. 4 *Tepelná bilance zemního zásobníku během roku. $Q_{in/out}$ je dodávané (+) nebo odebírané teplo (-). Q_{loss} jsou tepelné ztráty přes boky (l+r), přes podlahu domu (u) a přes spodní stranu zásobníku (b).*

Obrázek 4 zobrazuje tepelnou bilanci zásobníku. Je zřejmé, že přítomnost tepelné izolace spodní strany zásobníku značně ovlivňuje jeho tepelnou bilanci. Roční součty dodávaného a odebíraného tepla jsou uvedeny v tabulce 3. Poměr mezi teplem odebraným ze zásobníku a teplem dodaným do zásobníku nicméně není ovlivněný samotnou konstrukcí zásobníku. Významnou roli hraje i způsob nabíjení a vybíjení. Například pokud by existoval vyšší odběr už v průběhu podzimu, tak by odebrané množství ze zásobníku bylo vyšší, a tím by poměr mezi odebraným a dodaným teplem stoupnul.

Tab. 3 *Roční součty dodávaného a odebíraného tepla.*

Varianta	**Teplo dodané [MWh/rok]**	**Teplo odebrané [MWh/rok]**	**Účinnost akumulace* [-]**
S tepelnou izolací spodní strany	20,5	11,6	0,57
Bez tepelné izolace spodní strany	25,6	8,3	0,32
*Jedná se o poměr mezi odebraným a dodaným teplem			

ZÁVĚR

Pro úplnější obrázek o chování celého systému bude v budoucnu vhodné simulovat celou soustavu, která by obsahovala model solárního kolektoru, budovy, otopné soustavy, tepelného čerpadla a model regulace celého systému. Výsledky předběžných výpočtů nicméně ukazují, že představený koncept sezónní akumulace tepla je nadějný. Pro reálné využití je ovšem nutné dořešit řadu praktických otázek, zejména otázku ceny, která souvisí s konkrétním technickým řešením spodní stavby domu a zemního zásobníku.

LITERATURA

[1] KRAMOLIŠ P. Zkušenosti z projektu Ekoparku Odolena Voda. *Vytápění, větrání, instalace,* 5/2011.

[2] MATHWORKS. *Matlab R2008a*, 2008.

[3] SCHULZ H. Teplo ze slunce a země, *Hel*, 1999.

REALIZACE 100% POKRYTÍ POTŘEBY TEPLA Z OZE V SOUSTAVĚ CENTRÁLIZOVANÉHO ZÁSOBOVÁNÍ TEPLEM V MARSTALU

David Borovský, Jana Caletková

CityPlan spol. s r.o.
david.borovsky@afconsult.com, jana.caletkova@afconsult.com

ANOTACE

Příspěvek popisuje projekt SUNSTORE 4, který je zaměřen na realizaci změny zdrojové základy v soustavě zásobování teplem (SZT) v dánském městě Marstal. Náhrada stávajícího hlavního zdroje tepla pro soustavu zásobování teplem spočívá v rozšíření solární soustavy o 15 000 m^2 solárních kolektorů, výstavbě kotle na biomasu s ORC o výkonu 4 MW, instalace tepelného čerpadla o výkonu 1,5 MW a doplnění systému o sezónní vodní výkopový zásobník o objemu 75 000 m^3. Projekt je spolufinancován ze Sedmého rámcového programu Evropské komise.

ÚVOD

Evropský projekt SUNSTORE 4 představuje koncept centrálního zásobování teplem z obnovitelných zdrojů energie realizovaný v dánském městě Marstal na ostrově Ærø. Předpokládá se, že veškerá spotřeba tepla bude kryta z obnovitelných zdrojů energie, kdy 55 % spotřeby tepla zajistí rozšířená solární soustava a zbytek tepla bude dodávat kotel na biomasu, která bude pocházet z lokální produkce rychlerostoucích vrb. Projekt zahrnuje využití organického Rankinova cyklu (ORC) pro kombinovanou výrobu tepla a elektřiny z fytomasy.

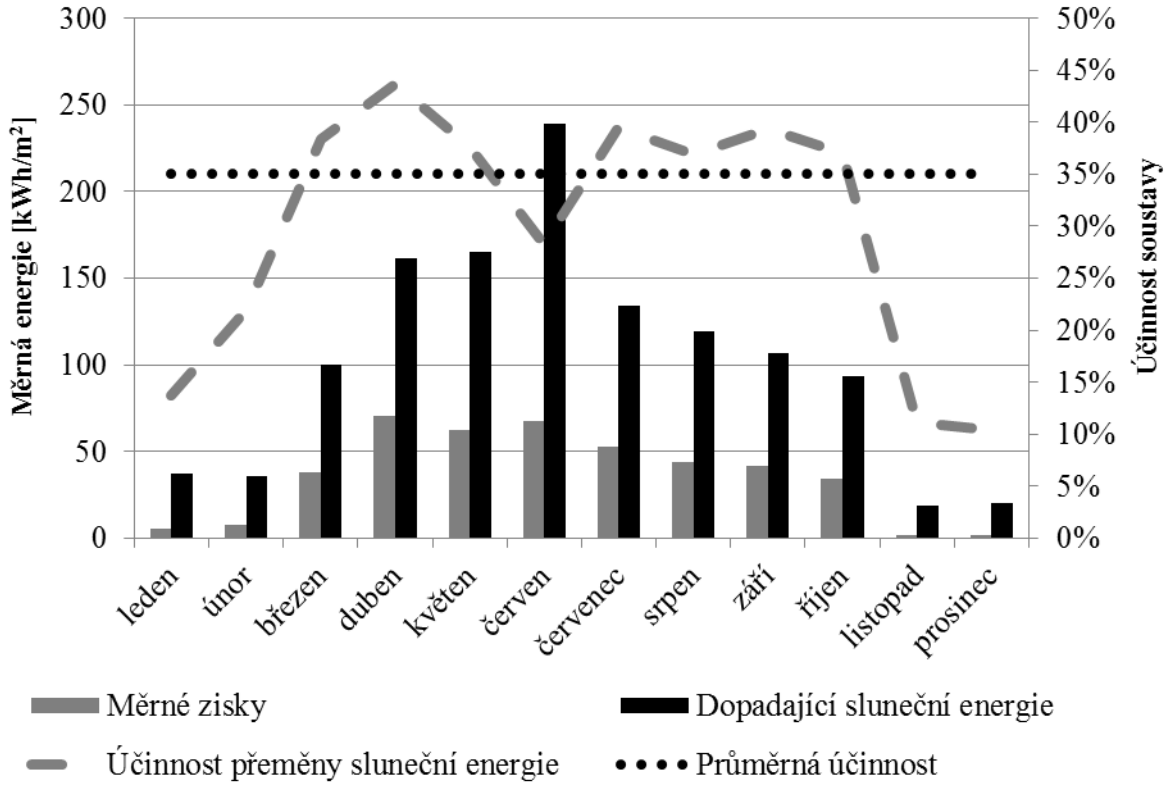
HISTORIE SZT V MARSTALU A STÁVAJÍCÍ STAV

SZT je v provozu od roku 1962, přičemž roční produkce tepla je zhruba na úrovni 28 000 MWh (100,8 tisíc GJ). Provozovatelem SZT je společnost Marstal Fjernvarme A.m.b.A. jako společnost vlastněná odběrateli tepla – obyvateli města Marstal. Počet odběrných míst v SZT je téměř 1 500, což představuje 95 % spotřeby tepla ve městě. Palivová základna se v průběhu času měnila a samozřejmě je značně ovlivněna tím, že se město nachází na ostrově a dovoz veškerých surovin je poměrně složitý, respektive nákladný. V současnosti je hlavním zdrojem tepla kotel o výkonu 18,3 MW, který od počátku provozu v rámci různých modifikací spaloval různé topné oleje, přičemž v současnosti je využíván bioolej. Zhruba 30 % tepla je do systému dodáváno solární soustavou s plochou apertury 18 365 m^2, která je doplněna vodním denním zásobníkem o objemu 2 100 m^3, štěrkovodním zásobníkem o objemu 3 500 m^3 a sezónním vodním výkopovým zásobníkem s kapacitou 10 000 m^3.

Provozní parametry solární soustavy v průběhu roku 2011 jsou shrnuty v následující tabulce a grafu.

***Tab. 1** Hodnoty měsíční výroby tepla, zisků a účinnosti solární soustavy*

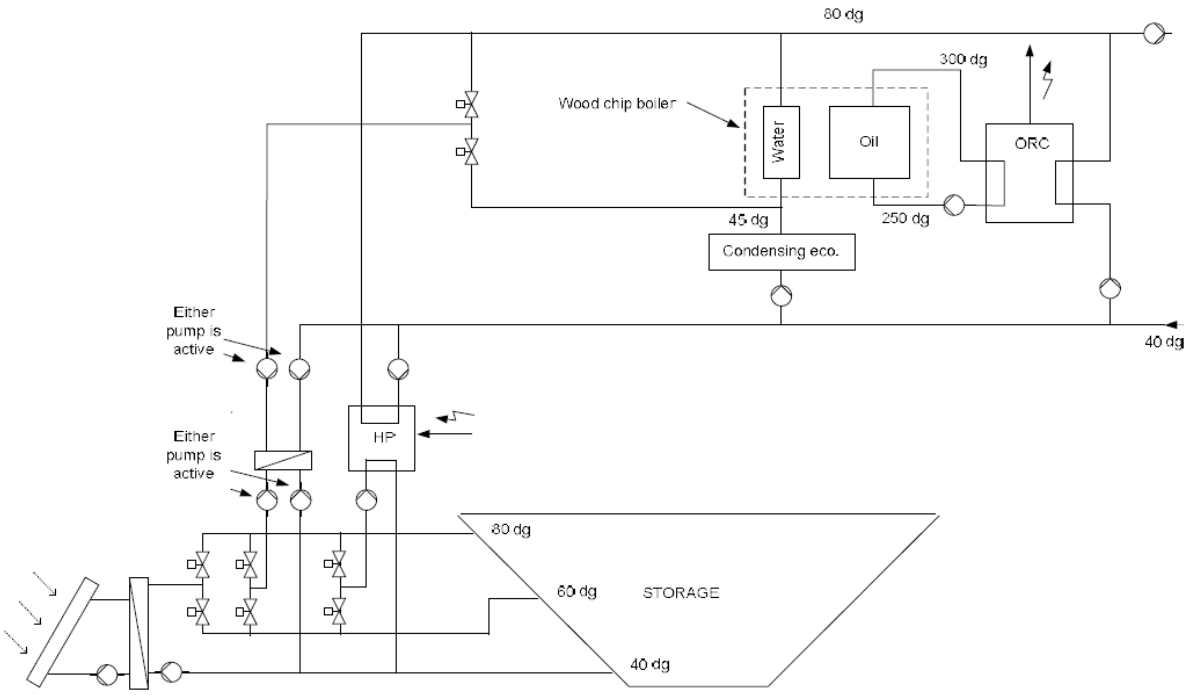
2011	Výroba tepla	Měrné zisky	Dopadající sluneční energie	Účinnost přeměny sluneční energie
	[MWh]	[kWh/m^2]	[kWh/m^2]	[-]
leden	92,2	5,1	37,3	0,14
únor	141,7	7,9	36,0	0,22
březen	687,4	38,3	99,9	0,38
duben	1 267,3	70,6	161,8	0,44
květen	1 114,9	62,1	165,2	0,38
červen	1 208,2	67,3	238,8	0,28
červenec	949,8	52,9	134,1	0,39
srpen	789,7	44,0	119,1	0,37
září	753,7	42,0	106,8	0,39
říjen	621,0	34,6	93,5	0,37
listopad	37,6	2,1	18,8	0,11
prosinec	37,0	2,1	19,9	0,10
Celkem	**7 700,5**	**429,2**	**1 231,1**	**0,35**



***Obr. 1** Měrné zisky soustavy v porovnání s dopadající sluneční energií a účinnost přeměny sluneční energie*

NAVRHOVANÝ STAV ZDROJOVÉ ZÁKLADY SZT

V rámci realizace projektu SUNSTORE 4 se předpokládá dosažení 100% pokrytí spotřeby tepla v SZT z místních obnovitelných zdrojů energie. Toho má být dosaženo doplněním stávající solární soustavy o dalších 15 000 m^2 solárních kolektorů, výstavbou kotle o tepelném výkonu 4 MW a doplněním systému o výkopový vodní zásobník s objemem 75 000 m^3. Teplo ze zásobníku bude dodáváno do systému také s využitím tepelného čerpadla o výkonu 1,5 MW. Stávající kotel na bioolej by měl v budoucnu sloužit pouze jako záložní zdroj tepla v případě, že by takto koncipovaný systém zdrojů nebyl schopen pokrýt spotřebu tepla v SZT. Část tepelné energie z kotle na biomasu bude využívána pro výrobu elektrické energie v organickém Rankinově cyklu s elektrickým výkonem 0,75 MW. Toto zařízení může být využíváno dle poptávky po elektrické energii v distribuční soustavě a to i v případech, kdy nebude v daném okamžiku poptávka po teple. Přebytky tepelné energie mohou být ukládány do zásobníků.



Obr. 2 *Schéma zdroje SZT realizovaného v rámci projektu SUNSTORE 4*

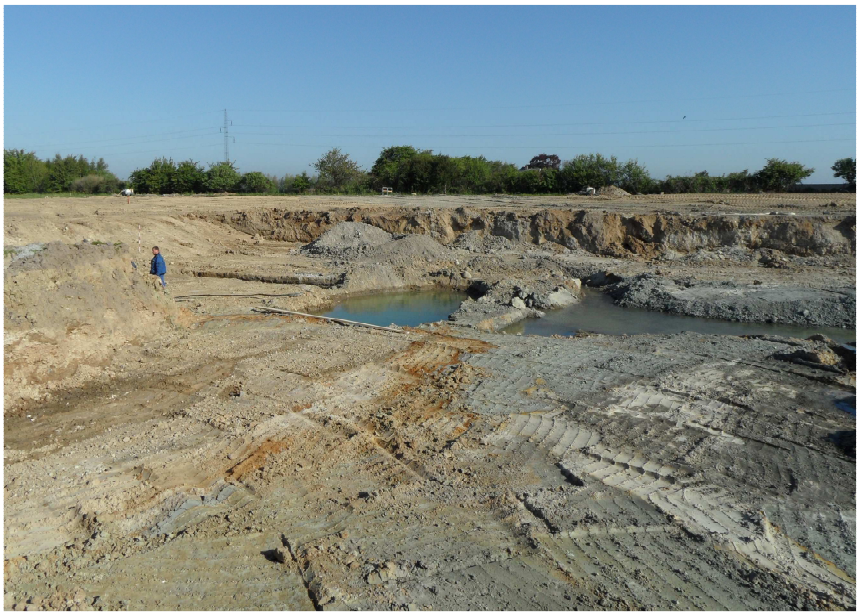
Předpokládanou bilanci zdrojů energie po realizaci projektu naznačuje následující tabulka.

Tab. 2 *Vypočtená bilance energie po realizaci projektu v prvním roce provozu*

Solární soustava	Tepelné čerpadlo	Kotel na biomasu	Stávající kotel na bioolej	Ztráty tepla v zásobníku	Produkce elektřiny
[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]
13 400	1 300	19 500	1 000	3 200	3 250

Sezónní zásobník tepla

Pozoruhodným prvkem nové části systému je výkopový sezónní zásobník tepla o objemu 75 000 m^3, koncepčně vychází z již provozovaného zásobníku. Zemní práce související s realizací sezónní akumulace tepla se neobešly bez problémů. Již v úvodu realizace bylo nutné řešit problém s vysokou hladinou spodní vody, která byla odčerpávána do moře. Během léta roku 2011 pak spadlo v Marstalu nadprůměrné množství srážek, které způsobilo sesuv půdy v téměř hotovém výkopu. Uvedená skutečnost neměla vliv na konečnou cenu zásobníku díky pojištění, ale způsobila zhruba tříměsíční zpoždění v realizaci stavby.



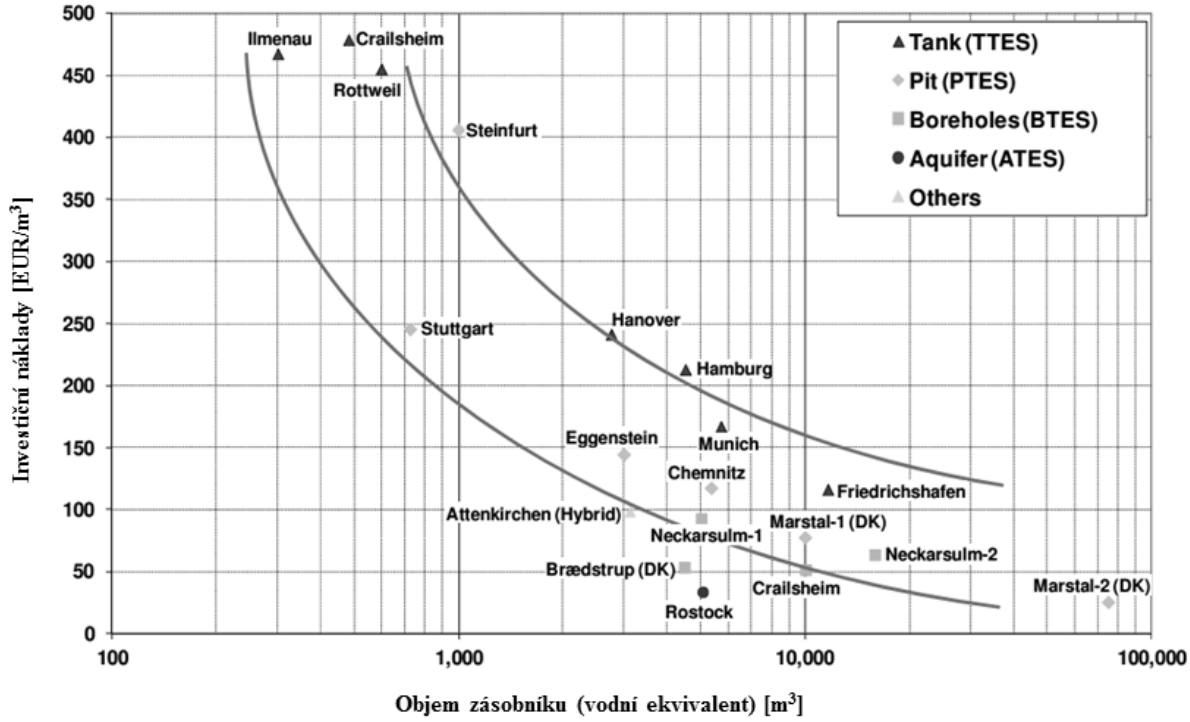
Obr. 3 *Problémy s vysokou hladinou spodní vody*

Materiály použité jako hydroizolační vrstvy ve výkopových zásobních obvykle nedovolují dlohodobé překračování teploty akumulační látky 85 °C. Během dosavadního provozu stávajícího výkopového zásobníku bylo ověřeno, že použité materiály i při delším mírném překročení této teploty nedegradují, což má pozitivní vliv na celkovou energetickou bilanci systému. Pro provoz rozšířeného soustavy jsou předpokládány provozní teploty v zásobnících podle tabulky 3, ale je pravděpodobné, že i nový zásobník bude v určitém omezeném časovém období využíván při teplotách akumulační látky mezi 85 a 90 °C.

Tab. 3 *Vypočtená bilance energie po realizaci projektu v prvním roce provozu*

Zásobník		**Výkopový 75 000 m^3**	**Výkopový 10 000 m^3**	**Vodní ocelový 2 100 m^3**
t_{max}	[°C]	85	90	84
t_{min}	[°C]	28	20	37

Sezónní zásobník realizovaný v Marstalu není zajímavý pouze svojí velikostí (jedná se o největší výkopový vodní zásobník v Evropě), ale i cenou. Původní cena, která vycházela z nabídek dodavatelů ve výběrovém řízení, byla dokonce 22 EUR/m^3. Měrné náklady spojené s realizací zásobníku, ale nakonec vzrostly na 41 EUR/m^3 z důvodu vyšších nákladů na vodu jako akumulační látku, nutnost odčerpání spodních vod v místě realizace a náklady spojené s vývojem konstrukce a materiálu víka zásobníku, které v těchto rozměrech doposud nebylo realizováno.



Obr. 4 *Investiční náklady sezónních zásobníků tepla*

ZÁVĚR

Projekt představuje jeden z možných konceptů realizace 100% pokrytí potřeby tepla z lokálních obnovitelných zdrojů v soustavách zásobování teplem. V rámci omezených možností ostrova Ærø je realizován systém, který využívá v nadprůměrné míře sluneční energii, která je doplňována energií fytomasy z rychlerostoucích dřevin. Pro potřeby instalovaného zdroje budou rychlerostoucí vrby pěstovány zhruba na 280 ha zemědělské půdy, což odpovídá asi 3 % rozlohy ostrova. Výsledná produkční cena tepla by se měla pohybovat mezi 280 a 420 Kč za GJ. Cena vyráběné elektrické energie by pak neměla přesáhnout 2 500 Kč za MWh.

LITERATURA

[1] SCHMIDT T. Solar district heating guidelines. Domovská stránka projektu SDHtake-off. Dostupné z: <http://www.solar-district-heating.eu/>

[2] BATTISTI R. "SUNSTORE4" 100% renewable district heating plant – Concept and advantages. Domovská stránka projektu SUNSTORE 4. Dostupné z: <http://wk.bakuri.dk/filarkiv/solarmarstal.bakuri.dk/file/Sunstore4_WP6_sunstore4plant_concept.pdf>

Příspěvek vznikl v rámci projektu SUNSTORE 4, který je podpořen ze 7. Rámcového programu evropské unie. Výhradní odpovědnost za obsah článku spočívá na autorech. Uvedené texty nemusí nutně vyjadřovat názor poskytovatele finanční podpory. Poskytovatel finanční podpory není odpovědný za jakékoli užití, informací v článku uvedených.

SOLÁRNÍ SYSTÉM S DLOUHODOBOU AKUMULACÍ TEPLA VE SLATIŇANECH – ANALÝZA PROVOZU

Martin Kny, Miroslav Urban

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov
martin.kny@fsv.cvut.cz, miroslav.urban@fsv.cvut.cz

ANOTACE
Článek se zabývá využitím dlouhodobé akumulace tepla do vodního zásobníku na zatím největším realizovaném projektu v ČR. Předkládá podrobnou analýzu provozu tohoto systému, upozorňuje na slabá místa a přináší jejich možná řešení s důrazem na vyšší efektivitu systému.

ÚVOD
Využití solárních systémů s dlouhodobou akumulací tepla přináší další možnosti jak dále snižovat spotřebu energie z neobnovitelných zdrojů. Systémy jsou schopny zachytit přebytky energie (v tomto případě solární) z letního období a účelně je využít v období zimním (vytápění, příprava teplé vody). Dochází tak ke snížení energetické závislosti objektů na primární energii dodané do budovy. Využitím akumulace lze dosáhnout standardu budovy s „téměř nulovou spotřebou“, kdy potřeba energie je ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů.

K hodnocení efektivity celého systému je možno použít, stejně jako u běžných solárních systémů, koeficient solární pokrytí, který vyjadřuje, kolik procent z celkové spotřeby tepla systému zajišťuje solární energie. Na rozdíl od Německa a Rakouska, kde tyto systémy dodávají teplo pro několik desítek tisíc obyvatel, je rozšíření systémů v ČR zatím velmi malé.

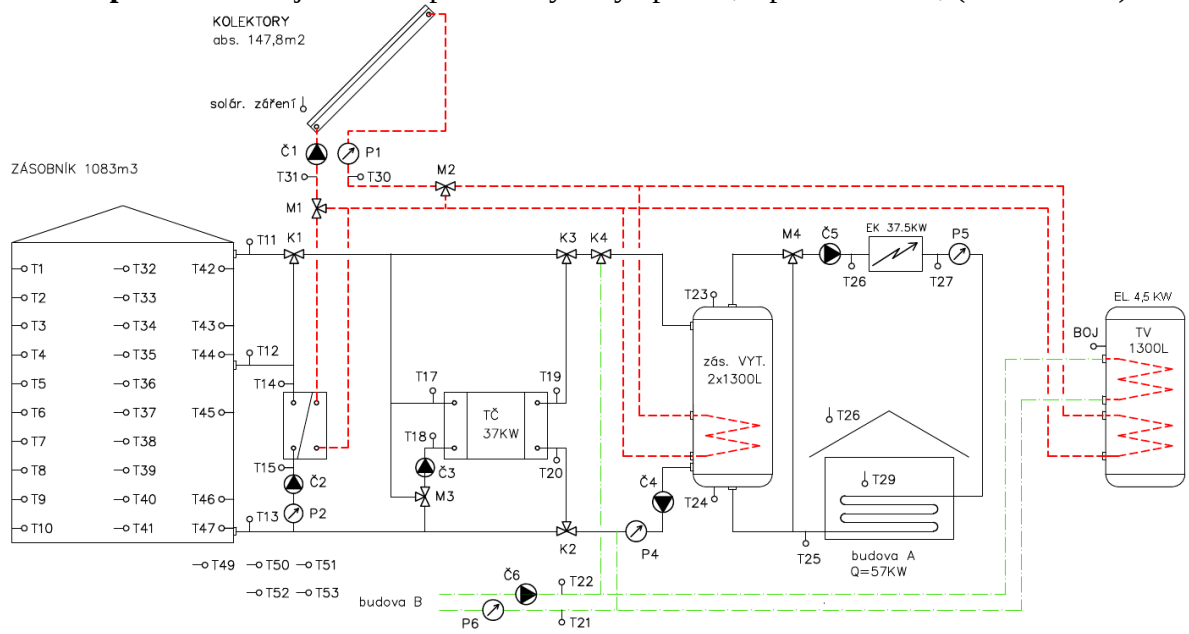
ANALÝZA PROVOZU
Systém byl realizován v letech 1995 až 1996 v Domově sociálních služeb ve Slatiňanech, kde zajišťuje dodávku tepla pro objekt chráněných dílen (objekt A). K areálu chráněných dílen náleží také objekt B, který je již vytápěn kotlem na biomasu. Oba objekty byly ve stejném období modernizovány do současné podoby. Objekt chráněných dílen s vytápěnou plochou přes 800 m^2 má výpočtovou tepelnou ztrátu 57 kW (t_e = -15 °C).

Obr. 1 *Pohled na objekt od JZ a na akumulační zásobník uvnitř areálu*

Technické řešení

Systém kombinuje několik zdrojů tepla pro vytápění a přípravu teplé vody (dále TV). V současné době jej tvoří [1]:

- **Solární kolektory**, Heliostar H 325N s hliníkovým absorberem a selektivní vrstvou, instalované na střešním plášti (plocha absorberu je 147,8 m^2, sklon 38°, azimut + 10°, průtok P1 - 4,5 m^3/h).
- **Zásobník tepla** je nadzemní válcový, ocelový o průměru 12 m a výšce 10 m, užitečný objem je 1 083 m^3, expanzní 22 m^3. Tepelná izolace z minerálních vláken má u stěn i víka tl. 700 mm (U = 0,08 W/m^2.K - teoretická hodnota). Dno zásobníku je tepelně izolováno pomocí lehčeného betonu (tl. 0,5 m, U = 0,34 W/m^2.K - teoretická hodnota).
- **Tepelné čerpadlo** (dále TČ) o jmenovitém výkonu 37 kW, má topný faktor 4,0 (dle výrobce pro teploty 18 °C /44 °C).
- **Elektrický kotel** má výkon 37 kW. Slouží jako náhradní zdroj pro případ, kdy je hlavní akumulátor vybit, případně je výkon TČ nedostatečný.
- **Pohotovostní zásobníky** tepla, 2 x 1,3 m^3 s integrovanými výměníky solárního okruhu (průtok P4 - 3,5 m^3/h).
- **Zásobníkový ohřívač** o objemu 1,3 m^3 s integrovaným solárním výměníkem a elektrickou topnou vložkou slouží pro přípravu TV.
- **Deskový výměník tepla** o účinné ploše cca 8,5 m^2 hydraulicky odděluje okruh s kolektory od vlastní akumulační nádrže naplněné neupravenou vodou (P2 - 3 m^3/h).
- **Otopná soustava** je tvořena podlahovým vytápěním, spád 37/31 °C, (P5 - 5 m^3/h).



Obr.2 *Schéma systému. Vyznačené veličiny jsou měřeny a zaznamenávány minutovém kroku v řídicím PC (mimo T22, T21, P6 a P1 do 2009).*

Provoz systému

V případě ročního provozu systému je možné rozlišit několik základních provozních stavů, které definují okrajové podmínky pro provoz jednotlivých komponent systému.

V případě dostatečné teploty v akumulačním zásobníku (cca 38 °C) je objekt přímo vytápěn vodou z tohoto zásobníku, která vstupuje do systému podlahového vytápění přes pohotovostní zásobníky. Voda z akumulačního zásobníku je odebírána u hladiny nebo ze středu a ochlazená je přiváděna u dna.

Při nižších teplotách, kdy je již teplota pro přímé napojení podlahového vytápění nedostatečná (cca 38 °C až cca 12 °C), je do provozu uvedeno tepelné čerpadlo, které nabíjí pohotovostní zásobníky. Voda z akumulačního zásobníku je odebírána u dna a ochlazená přiváděna u hladiny, případně do středu zásobníku. Ke spuštění TČ dochází nejčastěji v prosinci.

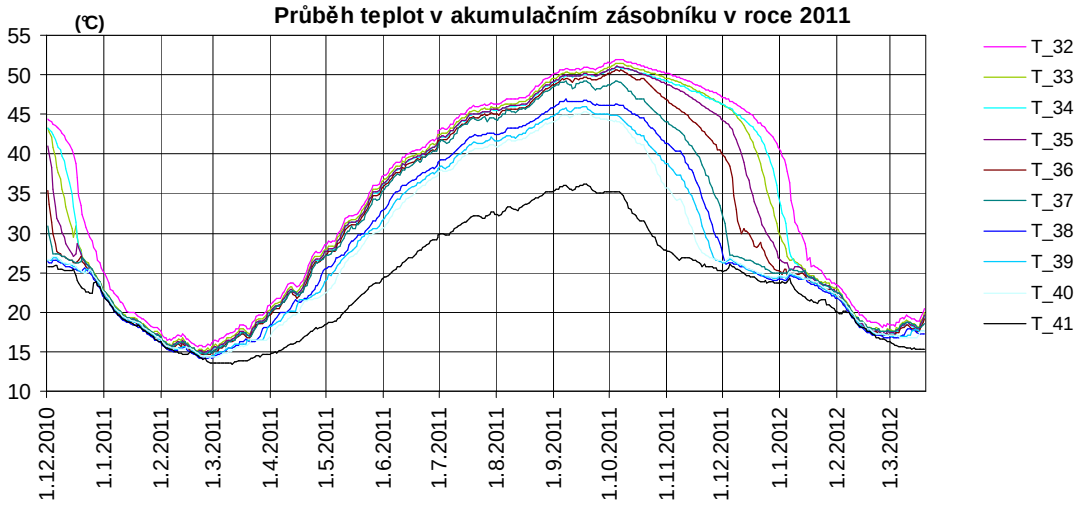
Při poklesu teploty v zásobníku pod cca 12 °C je TČ odstaveno a vytápění zajišťuje elektrokotel. Přesná vypínací teplota závisí na nastavení regulace, v průběhu let se pohybovala v rozmezí 14 °C až 9 °C. Při nižší teplotě by mohlo dojít k nežádoucí kondenzaci vzdušné vlhkosti na plášti zásobníku. Ke spuštění elektrokotle v některých letech vůbec nedochází.

V roce 2001 byla do systému připojena budova B, kde je instalován jako zdroj tepla kotel na biomasu. V zimním období kotel nabíjí zásobník TV, pro vytápění budovy A se nepoužívá.

Tab. 1 *Chování systému v letech 2001 až 2011*

Rok	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**
t_{max} (°C) (hladina/dno)	43,6 27,1	50,0 31,1	51,9 33,3	43,2 27,1	45,8 26,0	44,2 23,6	39,9 23,8	40,0 20,7	cca 48 cca 33	48,6 34,6	52,0 36,0
t_{min} (°C) (hladina/dno)	11,9 10,9	14,7 12,5	10,6 9,7	11,0 9,7	12,7 11,6	8,9 8,2	19,9 18,2	14,5 13,2	12,5 12,0	14,1 13,1	14,7 13,5
Doba slun. svitu (h/rok)	1571	1778	2283	1791	2003	1939	1876	1782	1709	1511	1981
t_e (°C) (listopad-březen)	0,7	2,3	1,1	1,2	0,7	0,8	3,4	3,5	1,5	0,2	2,1
Solární pokrytí pro vytápění (%)	**63,2**	**58,9**	**64,5**	**61,2**	**69,4**	-	-	-	-	**64,5**	**76,9**

t_{max} (°C) – max. teplota dosažená v akum. zásobníku během roku u hladiny a u dna [2], [3].
t_{min} (°C) – min. teplota dosažená v akumulačním zásobníku u hladiny a u dna [2], [3].
doba slunečního svitu (h/rok) – doba, kdy je k dispozici přímé sluneční záření (je vidět sluneční kotouč) a jeho hodnota je vyšší než 120 W/m^2 [5].
t_e (°C) – průměrná teplota exteriéru v listopadu až březnu [5].



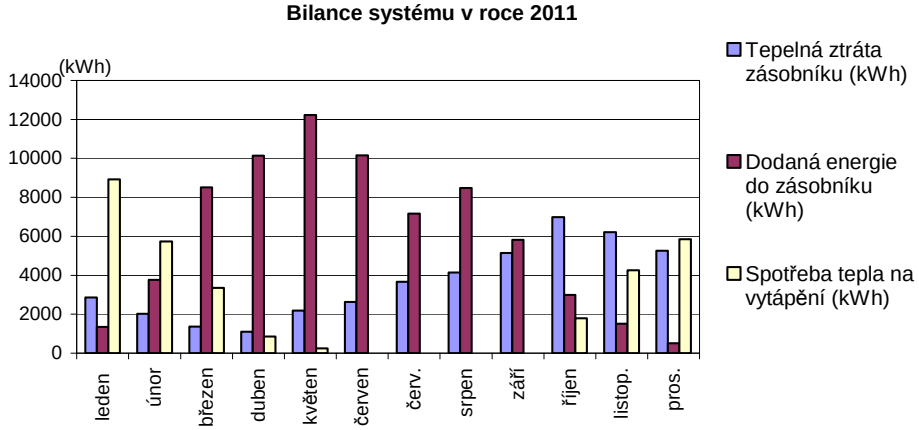
Obr. 3 *Průběh teplot v akumulačním zásobníku v roce 2011 [2]*

Energetická bilance systému

Z energetické bilance vyplývá, že spotřeba energie na vytápění je relativně nízká, v průběhu let nevykazuje velké výkyvy a pohybuje se v rozmezí 31 až 43 MWh/rok (měrná roční spotřeba tepla na vytápění 39 až 54 kWh/m^2.rok). Bilance pro vybrané roky je uvedena v tabulce 2.

Tab. 2 *Energetická bilance systému ve vybraných letech – 2001, 2003, 2010 a 2011 [2].*
** V letech 2010 a 2011 se jedná o zisky samotného kolektorového pole.*

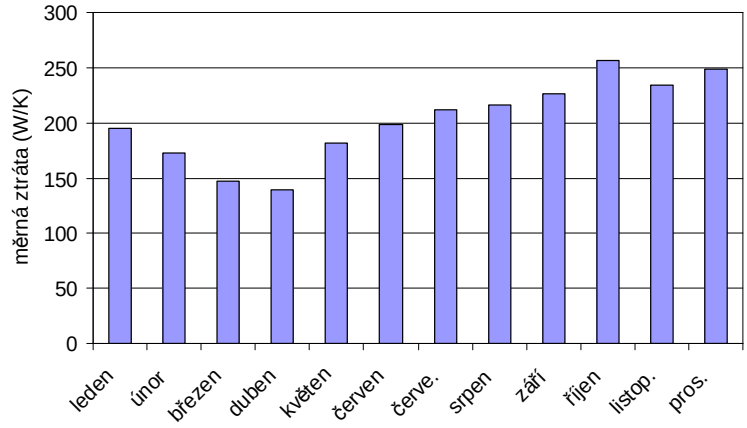
Rok	Měsíc	Solární energie dodaná do zásobníku (kWh)*	Spotřeba tepla na vytápění (kWh)	Spotřeba elektr. energie pro elektrokotel (kWh)	Spotřeba elektr. energie pro TČ (kWh)	Spotřeba elektr. energie pro příp. TV (kWh)	Spotřeba el. energ. pro oběh. čerp. sol. systému (kWh)	Tepelná ztráta akumulačního zásobníku (kWh)	Prům. teplota v akumulačním zásobníku (°C)	Prům. teplota v exteriétu (°C)	solární pokrytí - vytápění (%)
2001		**59 535**	**41 475**	**1 147**	**12 980**	**9 856**	**1 124**	**36 281**	**25,6**	**8,1**	**63,2**
2003		**73 450**	**43 120**	**2 060**	**11 897**	**10 858**	**1 330**	**40 410**	**29,1**	**8,4**	**64,5**
2010		**69 942**	**42 513**	**5 127**	**8 815**	**19 126**	**1 159**	**44 550**	**30,6**	**8,4**	**64,5**
2011	leden	1 345	8 923	76	2 483	0	27,2	2 846	19,5	-0,1	
	únor	3 871	5 746	48	1 677	0	60,5	2 017	16,5	-0,9	
	březen	8 801	3 346	28	1 017	130	130	1 361	16,9	4,5	
	duben	10 633	860	9	270	1 507	166	1 092	22,4	11,5	
	květen	13 018	231	137	46	1 351	198	2 181	29,9	14,5	
	červen	11 000	0	0	0	995	175	2 626	37,1	18,7	
	červenec	7 927	0	0	0	825	130	3 652	41,7	18,5	
	srpen	9 438	0	0	0	894	146	4 146	45,1	19,4	
	září	6 720	0	0	0	917	107	5 142	47,4	15,9	
	říjen	3 593	1 781	21	0	1 261	58	6 983	45,6	9	
	listopad	1 727	4 267	40	0	300	30	6 217	39,8	2,9	
	prosinec	531	5 848	77	0	240	8,8	5 266	32,1	3,7	
	celkem	**78 604**	**31 002**	**435**	**5 493**	**8 420**	**1 237**	**43 529**	**32,8**	**9,8**	**76,9**



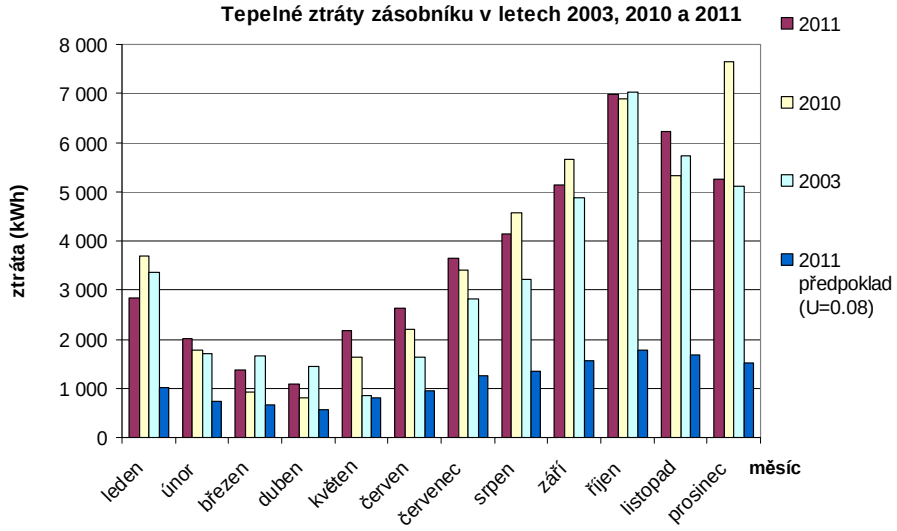
Obr. 4 *Energetická bilance systému v roce 2011 [2]*

Velmi vysoké jsou tepelné ztráty akumulačního zásobníku, dosahují přibližně velikosti, kterou objekt spotřebuje na vytápění. Stanovené tepelné ztráty nekorespondují s parametry zateplení akumulačního zásobníku. Zjištěný součinitel prostupu tepla stěn zásobníku dosahuje průměrné roční hodnoty U = 0,35 W/m^2.K. Měrné tepelné ztráty, vztažené k průměrné vnitřní teplotě a teplotě exteriéru, nejsou v průběhu roku konstantní a pohybují se v rozmezí cca 140 až 260 W/K (viz obrázek 5). Průměrný součinitel prostupu tepla stěn a víka zásobníku pro rok 2011 (U = 0,35 W/m^2.K) je tak cca 4krát horší oproti předpokladům.

Měrné zisky kolektorů se v jednotlivých letech přibližně pohybovaly v rozmezí 380 až 530 kWh/m^2.rok (vztažených k ploše absorberu).



Obr. 5 *Měrné tepelné ztráty zásobníku v roce 2011 [2]*



Obr. 6 *Průběhy tepelných ztrát zásobníku ve vybraných letech [2]*

Energetická bilance přípravy teplé vody

Spotřeba elektrické energie pro přípravu TV dosahuje v jednotlivých letech hodnoty 10 MWh až 19 MWh. Energie, dodaná pro přípravu TV ze solárního systému, není měřena. Pro ověření skutečné hodnoty solárního pokrytí pro přípravu TV bylo v období od 20. 6. do 27. 6. 2011 provedeno měření [4]. Dávka ozáření kolektorů v tomto období (5,1 kWh/m^2.den) zhruba odpovídala průměrné hodnotě z celého měsíce (5,7 kWh/m^2.den). Energetická bilance získaná měřením, je zobrazena v tabulce 3.

Tab. 3 *Energetická bilance přípravy TV v období od 20. 6. (15:00) do 26. 6. 2011 (10:00) [4].*

Celková spotřeba (kWh)	Solární energie (kWh)	Elektrická energie (kWh)	Průtok výměník. TV (l/h)	Solární pokrytí (%)
361,7	132,4	229,4	340	37

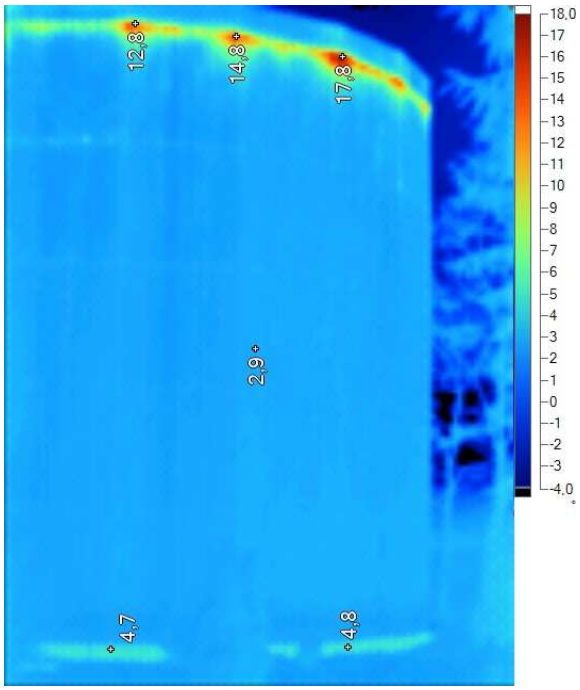
Maximálního denního solárního pokrytí 47 % bylo dosaženo 23. 6. 2011. Podmínky byly relativně příznivé (skoro jasno, pouze odpoledne oblačno). Solární systém byl v provozu po dobu 9 h 10 min. a celková denní dávka ozáření plochy kolektorů dosáhla 6,5 kWh/m^2.den.

Z provedeného měření a průběhů spotřeb elektrické energie v roce 2011 bylo možné odhadnout roční solární pokrytí pro přípravu TV na cca 20 %, při celkové spotřebě tepla cca 21 MWh. Celková energetická náročnost přípravy TV dosahuje cca 50 % z potřeby tepla na vytápění a je tak relativně vysoká.

PROBLEMATIKA KONSTRUKCE AKUMULAČNÍHO ZÁSOBNÍKU

Za účelem stanovení hlavní příčiny nadměrných tepelných ztrát akumulačního zásobníku bylo dne 7. 12. 2011 provedeno jeho termovizní snímkování. Teplota v zásobníku u hladiny dosahovala 45 °C, u dna 25 °C. Venkovní teplota vzduchu byla 2 °C až 3 °C.

Ze snímku východní poloviny zásobníku (viz obrázek 7) je patrné, že na většině pláště je povrchová teplota vyrovnaná a dosahuje cca 3 °C. Pouze v horní třetině je slabě patrné „rastrování“, dané nosnou konstrukcí, ke které jsou přikotvené trapézové plechy (konstrukce pláště viz obrázek 8). Ve spodní části snímku je patrný betonový základ pro konstrukci obvodového pláště s teplotou okolo 5 °C. V horní části pláště, v místech kde přecházejí trapézové plechy do oplechování střechy, jsou patrná místa s výrazně zvýšenou povrchovou teplotou (17 °C). Nejteplejší oblasti jsou v místech, kde se lámou jednotlivé segmenty pláště, tedy v místech, kde jsou umístěny ocelové sloupky nosné konstrukce.



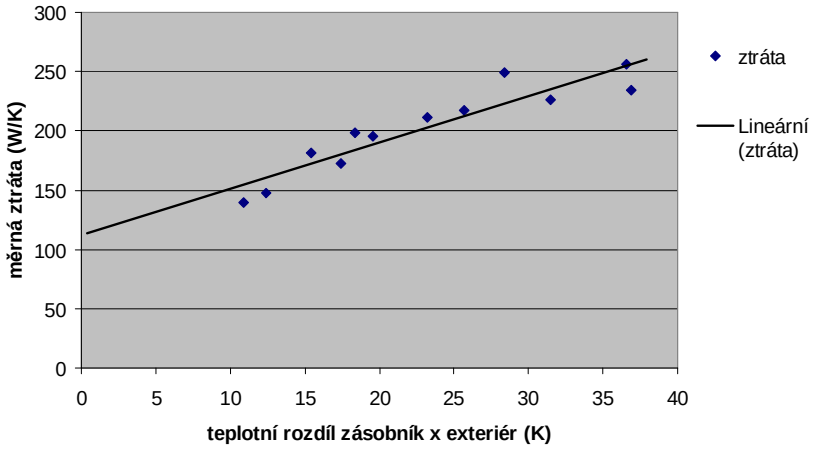
Obr. 7 *Termovizní snímek východní poloviny zásobníku [6]*

Na základě termovizního měření, energetické bilance zásobníku a poskytnuté výkresové dokumentace, bylo možné určit pravděpodobné příčiny zvýšených tepelných ztrát. Hlavní příčinou je zřejmě proudění vzduchu uvnitř souvrství obvodového pláště. Studený vzduch je v důsledku podtlaku nasáván netěsnostmi v obvodovém plášti, proniká přes souvrství pláště k vlastnímu zásobníku, kde se ohřívá, dále stoupá a vystupuje v místě přechodu obvodového pláště do střechy. Tomuto předpokladu odpovídá také velká závislost měrné ztráty zásobníku na rozdílu teplot mezi zásobníkem a exteriérem (viz obrázek 9).

Pro vznik podtlaku a tedy i proudění v obvodovém plášti je nutná přítomnost dutin, kde může dojít k ohřátí vzduchu (zvláště vertikálních). Takovéto dutiny mohly v plášti vzniknout v místech sloupků nesoucích obvodový plášť. Při rozdílu teplot okolo 40 °C, a výšce dutiny 10 m zde může vznikat tlakový rozdíl až 15 Pa. Vzduch v těchto dutinách, které jsou přímo v

kontaktu s teplou stěnou zásobníku, stoupá a ohřátý vystupuje v horní části zásobníku v místech přechodu pláště a střechy. Vzduch do souvrství pláště je nasáván v místech přechodu pláště do základu. Do vlastních vertikálních dutin se pravděpodobně dostává netěsnostmi v tepelné izolaci v místech jednotlivých dřevěných „podlážek“. Kritická místa jsou vyznačena na obrázeku 8. Vliv větru může nadále tento stav zhoršovat.

Obr. 8 *Pohled na konstrukci pláště zásobníku v době montáže. Po doplnění tepelné izolace bude souvrství zakryto trapézovými plechy. [1]*



Obr. 9 *Měrné tepelné ztráty zásobníku v závislosti na rozdílu teplot v roce 2011 [2]*

OPATŘENÍ KE ZVÝŠENÍ EFEKTIVITY SYSTÉMU

Opatření vedoucí k vyšší efektivitě systému lze rozdělit do dvou skupin. Jedná se o úpravy současného systému vyžadující minimální ekonomickou náročnost a zásahy do systému. V druhé řadě se jedná o koncepční úpravu vyžadující zásah do hydrauliky a zapojení soustavy.

Úpravy současného systému

Tyto úpravy by spočívaly v uvedení všech prvků systému do funkčního stavu (byla prokázána netěsnost některých klapek, případně nefunkčnost jejich pohonů). Není proto možné některé části systému optimálně regulovat, případně dochází k nežádoucímu směšování a tím k poklesu účinnosti. Bylo by také možné provést dílčí změny v systému regulace (teploty spínání oběhových čerpadel, okamžik zapnutí TČ, zprovoznění regulace nabíjení zásobníků

TV). Vhodné by bylo dále upravit průtoky v jednotlivých částech systému (P1, P2, P4) tak, aby se zvýšily zisky kolektorového pole a bylo dále možné lépe využít akumulované energie (při malém průtoku P4 může dojít k předčasnému zapnutí TČ).

Uvedené úpravy by mohly přinést zvýšení solárního pokrytí pro vytápění až o 5 % [7], v přípravě TV až o 10 % [8].

Koncepční úpravy systému

Rozhodujícím prvkem, který snižuje účinnost systému, je tepelná ztráta akumulačního zásobníku. Takto ztracená energie dosahuje až 60 % ze zisků kolektorového pole. Při snížení součinitele prostupu tepla pláště zásobníku na poloviční hodnotu, by solární pokrytí pro vytápění vzrostlo o 14 až 20 % (pro rok 2010 o cca 18 % [7]). Úprava by byla technicky náročná a finančně velmi nákladná.

Další úpravy by měly směřovat k lepšímu využití solární energie v jarním období tak, aby byla energie využívána a nebyla ukládána do akumulačního zásobníku (paralelní připojení pohotovostních zásobníků, možnost jejich samostatného nabíjení).

Velký přínos by dále měla úprava koncepce přípravy teplé vody (větší zásobník TV, použití vnějších deskových výměníků, přednostní nabíjení zásobníků TV). Solární pokrytí by v tomto případě mohlo vzrůst až o 25 % [8].

Před vlastní úpravou by bylo třeba podrobně stanovit dobu návratnosti jednotlivých opatření. Ne všechna opatření mohou být z tohoto hlediska reálná.

ZÁVĚR

Solární systém ve Slatiňanech je do dnešních dnů ojedinělým projektem realizovaným v podmínkách ČR. Systém v uplynulých letech běžně pracoval se solárním pokrytím 60 až 70 % (při příznivých klimatických podmínkách v roce 2011 až 77 %) pro vytápění a 20 až 30 % pro přípravu TV. Solární pokrytí je v obou případech nižší než předpokládal projekt. Hlavním důvodem jsou velké tepelné ztráty akumulačního zásobníku a mnohem vyšší spotřeba tepla pro přípravu TV. Systém obsahuje zajímavá technická řešení a byl, s ohledem k době vzniku, dobře navržen. V systému a jeho provozu by bylo možné provést určité změny vedoucí ke zvýšení solárního pokrytí. Bez nadměrných finančních nákladů by bylo možné zvýšit solární pokrytí pro vytápění až o 5 %, v případě přípravy TV o cca 25 %.

V souvislosti se zaváděnými požadavky, kdy od roku 2018 budou muset být všechny nové budovy veřejné moci a od roku 2020 všechny nové budovy takzvaně budovy s téměř nulovou spotřebou energie, může být popsaný systém v určitých případech cestou pro jejich naplnění.

LITERATURA A ZDROJE

Veškeré podklady za Domov sociálních služeb ve Slatiňanech poskytl Ing. Křivský.

Všechny obrázky a grafy byly vytvořeny autorem.

[1] RYCHTAŘÍK, M. *Projekt solárního systému ve Slatiňanech*, 1995
[2] Minutová data z monitoringu systému z let 2001 až 2005, 2008, 2010, 2011.
[3] Ručně psané záznamy o stavu systému z let 1996 až 2008.
[4] Přístroje: průtokoměr PortaSonic 7000, dataloger Ahlborn MA2590-4S, 2 teplotní čidla.
[5] Klimatická data ČHMÚ ze stanice Hradec Králové, [online]. < http://www.chmi.cz >
[6] Použita kamera Fluke Ti 40. Měřeno 7. 12. 2011 okolo 19:00, západní vítr 5 až 8 m/s.
[7] Ruční výpočet v tabulkovém procesoru.
[8] Odhadnuto na základě naměřených hodnot a současného technického stavu systému.

[9] KNY, M.; URBAN, M. Dlouhodobá akumulace tepla – analýza provozu. *Sborník přednášek 9. letní školy TZB 7 — 9. Září 2011*. Společnost pro techniku prostředí, Český Šternberk, 2011. s. 32 – 38. ISBN 978-80-02-02334-0

Prezentované výsledky vznikly za podpory SGS12/111/OHK1/2T/11, Solární systémy s dlouhodobou akumulací tepla - analýza a optimalizace.

VYUŽITÍ OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE PRO VÝROBU ELEKTŘINY A TEPLA A VLIV NA DISTRIBUČNÍ SÍTĚ

František Vybíralík

EEC ElectroEngineerConsulting
vybiralifra@gmail.com

ANOTACE

V současné době dochází k velkému rozvoji obnovitelných zdrojů energie. Tyto zdroje se připojují do distribučních sítí. Pasivní distribuční sítě se přeměňují na sítě aktivní. Návrh a provoz těchto sítí je nutno tomuto novému trendu přizpůsobit. Mezi těmito zdroji se velmi často vyskytují kogenerační jednotky, které vyrábějí elektřinu a teplo. V tomto příspěvku jsou uvedeny dopady těchto zdrojů na řešení a provoz distribučních sítí a na výrobu tepla. Další vlivy mají tyto zdroje na řízení odběrů, skladování energie a v nejbližší budoucnosti i na elektromobilitu.

ÚVOD

Rostoucí využívání obnovitelných zdrojů energie se projevuje v decentralizaci výroby elektrické energie a decentralizaci kombinované výroby elektřiny a tepla. Obnovitelné zdroje energie (zejména sluneční a větrná energie) jsou charakterizovány proměnlivostí a nekontrolovatelností výroby. V distribuční síti proto dochází ke stavům, při kterých výroba a odběry nejsou vzájemně vyrovnány. Proto je třeba aktivně zasahovat, aby byla zajištěna rovnováha v síti při proměnlivé výrobě elektřiny z obnovitelných zdrojů a zajistit nepřerušované napájení elektřinou.

Tyto nové požadavky vyžadují i nové typy distribučních sítí. V současné době se rozvíjí mikrosítě, které v budoucnu nahradí „smart grids“ – chytré sítě. Mikrosítě jsou nízkonapěťové distribuční systémy s rozptýlenými zdroji energie, skladovacím zařízením a řízenými odběry, které jsou provozovány paralelně s distribuční sítí a řízeným postupem přecházejí do ostrovního provozu. Provoz mikrosítí nabízí výhody pro zákazníky a distributory, např. zvýšení efektivnosti při distribuci elektřiny, minimalizací celkové spotřeby energie, snížení vlivu na životní prostředí, zvýšení spolehlivosti zásobování elektřinou, přínosy při provozování sítí jako je snížení ztrát, omezení přetížení sítí, řízení napětí nebo bezpečnost zásobování a náhrada stávajícího rozvodného zařízení zařízením s nižšími náklady. Mikrosítě zabezpečí podmínky pro integraci velkého počtu malých rozptýlených zdrojů do distribučních sítí nízkého napětí.

Integrace skladovacích systémů do mikrosítí má velký význam, protože umožní plánované rozšíření využívání obnovitelných zdrojů a současně, aby byla zajištěna spolehlivost v zásobování elektřinou. Mikrosítě se skladovacími systémy by měly automaticky kompenzovat chybějící nebo nadměrnou dodávku elektřiny. Využití tepelných skladovacích zařízení nabízí možnost vyrovnávat zatížení sítě provozem tepelných čerpadel a kogeneračních jednotek a tak zajistit spolehlivost a stabilitu zásobování teplem.

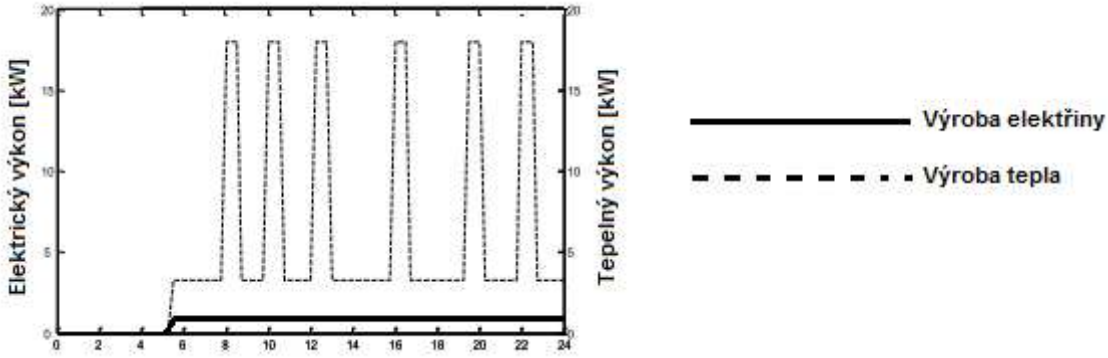
MODELOVÁNÍ VÝROBEN ELEKTŘINY A TEPLA

Decentralizované zdroje elektřiny jsou připojovány do sítí v blízkosti odběrů, zejména v distribučních sítích nízkého napětí. Jednotlivé výrobní jednotky, připojené do distribuční

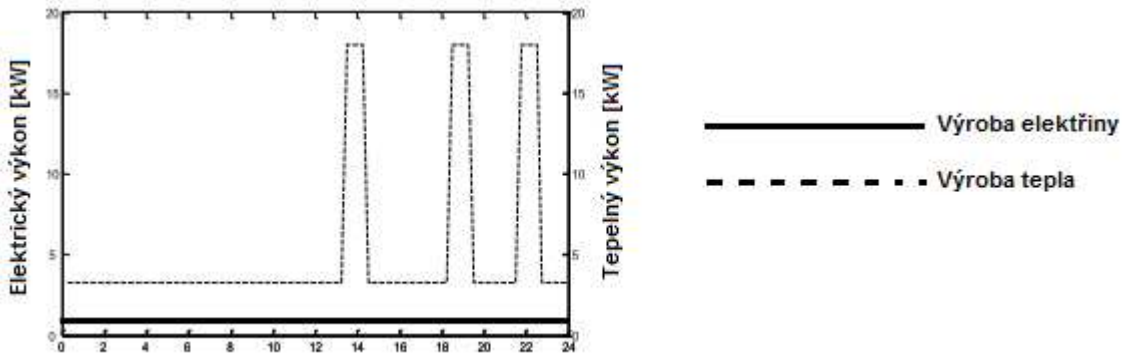
sítě se obvykle provozují nezávisle jedna na druhé. Systém kombinované výroby elektřiny a tepla pracuje obvykle v režimu, kdy přednost má výroba tepla pro vytápěné objekty. Výzkum vlivu připojení zvýšeného počtu decentralizovaných výroben do stávajících sítí byl podroben ekonomickým a ekologickým analýzám. Modelování různých variant technologií decentralizovaných výroben je nezbytné pro stanovení vlivu na provoz distribuční sítě. Cílem studie je pravděpodobnostní model zátěže a výroby pro individuální decentralizované systémy. Využití akumulace elektřiny a tepla v inteligentních distribučních sítích je zkoumáno v různých provozních režimech. Dále jsou ve studii zahrnuty výrobny využívající obnovitelné zdroje energie a zařízení pro skladování elektřiny [4].

Kogenerační jednotky

Jmenovitý výkon kogeneračního zařízení je v modelu uvažován s ohledem na odběr tepla v předpokládaném režimu provozu. V každé výrobně elektřiny a tepla s kogeneračními jednotkami je uvažováno s akumulátorem tepla, který je dimenzován na nejvyšší zatížení pro nejchladnější dny roku. Výstupním parametrem je průběh tepelného zatížení budovy, který závisí na typu budovy, době její výstavby, následné rekonstrukce. Velikost akumulátoru tepla a požadavky na odběr tepla se liší objekt od objektu. Na obrázku 1 je uveden příklad průběhu výroby elektřiny a tepla dvou kogeneračních jednotek pro domy v zimním dni. Elektrický výkon je 1 kW a tepelný výkon 3,25 kW. Provoz jednotlivých výroben je vidět na obrázku. Kogenerační jednotka na horním obrázku se zapíná v 5 hodin, druhá jednotka na dolním obrázku je v provozu celý den. Špičky v průběhu tepelného výkonu jsou pokryty z akumulátoru tepla.



Obr. 1 *Průběh výroby elektřiny a tepla u KG 1*



Obr. 2 *Průběh výroby elektřiny a tepla u KG 2*

Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla mohou stejně jako kogenerační jednotky také pracovat v režimu výroby tepla a náhodně se vypínat a zapínat. Hlavním rozdílem mezi tepelnými čerpadly a kogeneračními jednotkami je to, že tepelná čerpadla při svém provozu představují elektrický odběr. Účinnost tepelných čerpadel závisí na rozdílu teplot mezi zdrojem tepla a teplotou otopné vody. To znamená, že elektrický výkon, který je potřebný pro produkci potřebného množství tepla, závisí také na zdroji tepla a jeho teplotní úrovni.

Obnovitelné zdroje energie

Obnovitelné zdroje energie jsou v modelu zastoupeny fotovoltaickými elektrárnami a malými větrnými elektrárnami. V následujícím modelu je uvažována malá fotovoltaická elektrárna o výkonu 3 až 8 kW, instalovaná na střeše rodinného domu a malá větrná elektrárna o výkonu 1 až 10 kW instalovaná na zahradě. Na rozdíl od kogenerační jednotky a tepelného čerpadla je výkon těchto zdrojů proměnlivý a jejich výstupní výkon závisí nejen na technických parametrech (plocha fotovoltaických panelů, výška budovy, průměr rotoru větrné elektrárny), ale také na povětrnostních podmínkách.

Skladovací systémy

Rozsah technologií je vhodný pro skladování tepelné energie. Avšak, při použití současných znalostí pouze systém založený na choulostivém skladování tepelné energie je ekonomicky proveditelný. Při teplotách, které jsou vhodné pro domácí vytápění typickým technickým řešením může být izolovaná nádrž na vodu. Ve srovnání s jinými materiály jako je beton nebo písek, vysoká tepelná kapacita vody (1,17 Wh/kg.K) vede k dostatečně kompaktnímu provedení. Latentní systémy pro akumulaci tepla, které využívají změnu skupenství materiálů nebo systému založené na reverzibilních chemických procesech nejsou v tomto modelu obsaženy, protože mají vysoké náklady a omezenou dostupnost na trhu. Avšak tyto mohou být snadno dodány do modelu při použití nových parametrů pro náklady, ztráty a provozní vlastnosti.

Pro skladování elektrické energie se v současné době využívají přečerpávací elektrárny. Tyto elektrárny mají velké instalované výkony (stovky MW) a proto se využívají pro vyrovnávání denního diagramu zatížení energetického systému. Proto nemohou být považovány za vhodnou technologii pro aplikace v distribuční síti. Skladovací systémy pro skladování elektrické energie, jsou limitovány různými typy akumulátorových systémů s individuálními investičními náklady, efektivností a ztrátami při pohotovostním provozu.

Techniky skladování elektrické energie mohou hrát významnou roli v rozvoji mikrosítí [2]. Skladování elektrické energie má význam ve vyrovnávání nepravidelné výroby elektřiny z OZE, zvyšuje efektivitu využití elektřiny a stabilizuje provoz mikrosítě. Požadavky mikrosítí na skladovací techniky jsou následující:

- zvýšení kvality napájení elektřinou;
- možnost rychlé dodávky činného i jalového výkonu v okamžiku, kdy mikrosíť přechází z paralelního provozu s distribuční sítí do ostrovního provozu;
- zvýšení spolehlivosti napájení, což umožňuje stálý a kontrolovatelný zdroj elektrické energie při ostrovním provozu;
- zvýšení výstupního výkonu z OZE, zejména vyrovnání proměnlivého výkonu větrných a fotovoltaických elektráren;
- pomáhá optimalizovat energetický management mikrosítě, např. skladováním nadbytečné energie při malém zatížení a její uvolnění v době špiček.

Skladovací zařízení, které přispívá ke zlepšení kvality napájení, musí mít krátkou dobu odezvy, aby rychle reagovalo a mohlo být využito pro dynamickou kompenzaci napájení. Skladovací zařízení, které má zajistit nepřerušované napájení musí reagovat na požadavky na výkon a energii. Skladovací zařízení, které má zajistit vyšší využití obnovitelných zdrojů, by měla mít schopnost rychlé odezvy stejně jako přiměřenou energetickou kapacitu. Při použití optimalizace energetického managementu v mikrosíti je důležité, aby byla skladovací kapacita navržena tak, aby umožňovala pokrytí špičkového zatížení. Bohužel, neexistuje jediné skladovací zařízení, které může splnit všechny uvedené požadavky. V mikrosíti je proto nutno kombinovat různé druhy skladovacích zařízení.

***Tab. 1** - Charakteristiky skladovacích technologií*

Druh technologie skladování	Typický výkon [kW, MW]	Trvání výkonu	Doba reakce	Energetická účinnost [%]	Životní cyklus
Setrvačníky	5 kW až 1,5 MW	Sekundy až 15 minut	1 až 20 ms	90	30 000
Superkapacitor	1 kW až 100 kW	Sekundy	1 až 5 ms	95	50 000
Olověné akumulátory	1 kW až 50 MW	Minuty až 3 hodiny	20 ms až několik sekund	85	1 500
NaS baterie	kW až MW	Sekundy až hodiny	20 ms až několik sekund	75 – 85	5 000
Lithiové baterie	kW až MW	Sekundy až hodiny	20 ms až několik sekund	85 – 95	2 500

OPTIMALIZACE PROVOZU

Modelovaný průběh výroby reprezentuje provoz, kdy kogenerační jednotka vyrábí teplo. Provozní doba jednotky závisí na požadavku na odběr tepla objektu. V tomto provozním režimu je generovaná elektrická energie dodávána do distribuční sítě bez ohledu na aktuální potřebu elektrické energie v distribuční síti. V kombinaci s dalšími místními výrobnami elektřiny (např. fotovoltaickými) může dojít ke stavu, ve kterém přebytek elektřiny ohrožuje stabilní provoz elektrické sítě. Zavedením akumulace tepelné energie je možné přesunout provoz kogenerační jednotky do období s nedostatkem výroby elektřiny, protože akumulace tepla zajišťuje, že odběr tepla je trvale zajištěn.

Optimalizace provozu kogeneračních jednotek je vhodná pro provozování distribučních sítí s vysokým stupněm soběstačnosti. Tento distribuční systém se nazývá mikrosíť a zahrnuje nejen odběry, ale také výrobu elektřiny v místních výrobnách elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a kogeneračních jednotek, což umožňuje, že lokální distribuční síť je téměř nezávislá na přenosové síti a může být po omezenou dobu provozována zcela samostatně.

Dalším úkolem provozu mikrosítě je optimalizace toků elektrického výkonu. Optimalizace se zaměřuje na snížení maximálního zatížení prvků elektrické sítě, což povede ke snížení

přenosových ztrát. Pro tento účel je třeba uplatnit řízení výroby elektřiny pro kogenerační jednotky a řízení odběru pro tepelná čerpadla. Akumulace elektřiny je potom použita pro vyrovnání odchylky od plánované hodnoty ve výrobě nebo spotřebě elektřiny a ke zvýšení kvality elektřiny v mikrosíti.

Optimalizace toku výkonů

Záměr provozu distribuční sítě v ostrovním provozu je podmíněn rovnováhou mezi odběry a výrobou elektřiny. Dalším cílem je optimalizace toku elektrického výkonu. Pro zásobovací oblast se stanovuje předpověď výroby a odběrů. Střední hodnota výkonové bilance je cílovou hodnotou pro řízení odběrů a výroby elektřiny. Malé odchylky ve výkonové bilanci mohou být vyrovnány akumulačními systémy.

ZÁVĚR

Využitím místní výroby elektřiny založené na obnovitelných zdrojích energie a na fosilních palivech může být dosaženo nezávislého provozu na distribuční síti po určenou dobu. Pro tento účel je vhodné využít funkce pro řízení odběrů a výroby elektřiny. V dalším vývoji lze uplatnit i ekonomické hledisko, kdy výroba elektřiny a tepla a provoz distribuční sítě budou optimalizovány podle cen elektřiny a tepla.

LITERATURA

[1] VYBÍRALÍK F. *Mikrosítě – nový směr v navrhování a provozování sítí v EU*, sborník konference EGÚ Praha Engineering, Poděbrady 2010

[2] VYBÍRALÍK F. *Nové typy sítí z pohledu CIRED a CIGRÉ*, sborník konference EGÚ Praha Engineering, Poděbrady 2011

[3] VYBÍRALÍK F., VAŇKOVÁ VYBÍRALÍKOVÁ L., *Renewable energy sources in the Czech Republic*, CIRED 2012 Regional Conference, Serbia

[4] DVORSKÝ P., DVORSKÝ E., HEJTMÁNKOVÁ P., *Řízení mikrosítí s obnovitelnými zdroji*, sborník konference EPE, Dlouhé Stráně 2011

PASIVNÍ CHLAZENÍ ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY

Miloš Lain

ČVUT v Praze, Fakulta Strojní, Ústav techniky prostředí
milos.lain@fs.cvut.cz

ANOTACE

Příspěvek se zabývá návrhem, realizací a provozem kancelářských budov s pasivním chlazením. Na konkrétním případě nové budovy ČVUT v Praze jsou práce prezentovány. V příspěvku naleznete výtah z počítačových simulací realizovaných v jednotlivých stupních projektu i výsledky monitorování budovy v prvním roce provozu.

ÚVOD

Pod pojmem pasivní chlazení se rozumí především projektování takových budov, které žádné chlazení nepotřebují. Využívá se pasivních prvků snižujících tepelné zátěže, akumulace tepla a přirozeného odvodu tepla. Koncepce pasivního domu z pohledu chlazení by měla být základem i pro budovy s chlazením nízkoenergetickým nebo strojním a některé principy jako třeba přirozené noční větrání, jsou zahrnovány jak do pasivních tak do nízkoenergetických systémů. Dlouhodobě se koncepcí pasivních domů z pohledu chlazení zabývají především v jižní Evropě a USA, mezinárodně uznávaný je především výzkum v Řecku, Portugalsku, Francii a USA. V podmínkách České republiky je pasivní chlazení standardem pro řadu typů budov (obytné, výrobní, zemědělské) a vyskytuje se i řada stávajících administrativních budov, které nemají strojní chlazení.

U nově stavěných budov je problém v přístupu především architektů k pasivnímu chlazení. Pro řadu architektů se stále nové budovy dělí na klimatizované a neklimatizované. U neklimatizovaných je pak většinou letní situace řešena okrajově a velmi povrchně. Při správném návrhu je třeba provést návrh neklimatizované (strojně nechlazené) budovy s ohledem na letní tepelnou pohodu. Dle charakteru vnitřní a vnější tepelné zátěže je třeba použít principy pasivního chlazení, které umožní odvod tepelné zátěže v letních měsících při zachování tepelné pohody ve vnitřním prostředí. V poslední době se ale požadavky hygieniků zpřísňují a neklimatizované administrativní budovy mají často problémy se schválením. Při nynějších požadavcích na variabilitu a intenzivní využívání nově stavěných budov se potom většinou architekt přikloní spíše ke strojnímu chlazení. To dokáže zajistit tepelnou pohodu i v případě vyšších tepelných zátěží. Oproti tomu prokazování parametrů prostředí v neklimatizovaných budovách je poměrně obtížné a většinou vyžaduje detailní výpočty či počítačovou simulaci. Trochu jiná situace je u budov škol a universit, ty oproti administrativním budovám mají mírně nižší požadavky na variabilitu prostoru. V létě většinou nejsou příliš intenzívně využívány a i tepelné zátěže bývají v běžných posluchárnách nižší.

NOVÁ BUDOVA ČVUT V PRAZE 6

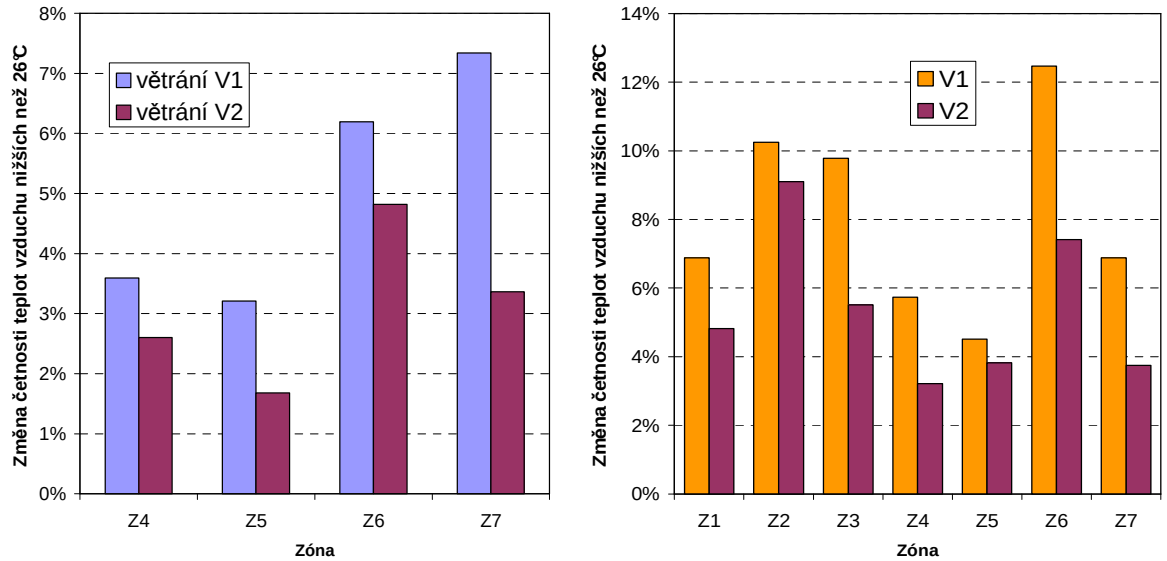
Nová budova ČVUT v Praze 6 Dejvicích byla koncipována z pohledu chlazení jako pasivní již od prvních studií. Součástí úvodního projektu bylo ověření možnosti pasivního chlazení počítačovou simulací a další detailní simulace byly zpracovány v rámci dalších stupňů projektové dokumentace. Budova je vícepodlažní objekt (8 nadzemních podlaží a 3 podzemní podlaží). Objekt je rozdělen na několik funkčních celků. V nadzemních podlažích budovy jsou umístěny posluchárny, ateliéry, učebny a kanceláře. V budově jsou integrována 3 zastřešená atria. V podzemních podlažích jsou umístěny garáže. Budovu tvoří nosný

železobetonový skelet, vnitřní stěny jsou tvořeny převážně z cihlových, nebo železobetonových příček. Vnější obvodová fasáda je středně těžká s výrazným podílem prosklených ploch.

Obr. 1 *Nová budova ČVUT- severní pohled vlevo a jižní pohled vpravo [3]*

PŘEDBĚŽNÉ POČÍTAČOVÉ SIMULACE

V rámci architektonické studie byl vypracován model vybraných sedmi typických místností. Model řeší energetickou bilanci vybraných prostor se zaměřením na letní extrémy. Simulace jsou provedeny pro dvě varianty řešení konstrukce stropů: varianta K1 s heraklitem na stropě, a varianta K2 bez heraklitu na stropě. Ve studii jsou pro fasádu použity celkem 2 typy zasklení venkovní fasády a 1 typ vnitřního zasklení. V počítačových simulacích jsou uvažovány dva režimy větrání venkovním tepelně neupraveným vzduchem. Varianta V1 v noci (od 19:00 do 8:00) intenzita větrání 3 /h a přes den (od 8:00 do 19:00) intenzita větrání 1 /h. Varianta V2 v noci (od 19:00 do 8:00) intenzita větrání 3 /h a přes den (od 8:00 do 19:00) intenzita větrání 2 /h. V zadání byly uvedeny předpokládané vnitřní tepelné zátěže se zadaným průběhem působení během dne. Hodnoty vnitřních maximálních tepelných zátěží jsou 15 W/m^2 pro kanceláře a až 50 W/m^2 pro dvoupatrové ateliery, předpokládá se působení vnitřní tepelné zátěže během provozu fakulty a to od 7:00 do 21:00.



Obr. 2 *Rozdíl četnosti výskytu teplot vzduchu pod 26 °C [2] mezi variantou bez heraklitu a s heraklitem (vlevo) a mezi variantou zasklení S1 a variantou se žaluziemi S2 (vpravo)*

Pro sedm zón a šest kombinací variant zasklení, větrání a řešení konstrukcí stropu byly vyhodnoceny výsledky počítačových simulací. Výsledkem počítačových simulací jsou potom četnost výskytu teplot vzduchu v pracovní době a četností výskytu ukazatele procenta nespokojených PPD (ČSN EN ISO 7730). Výsledky ukazují velmi výrazný vliv vnitřní tepelné zátěže, která je u sledovaných prostor výraznějším faktorem nežli orientace a geometrické řešení.

Z výsledků předběžné počítačové simulace vyplývá, že pro dodržení přijatelných pracovních podmínek v letním období je nutné maximální omezení vnějších solárních zisků a to použitím vnějšího stínění. Použití heraklitu na stropech není vhodné, bylo by vhodné použít jiný systém tlumení hluku, který umožní expozici betonových stropních desek a využití akumulace stropu pro odvod tepelné zátěže. Lepších parametrů prostředí se dosáhne při vyšší intenzitě větrání během dne. Při těchto doporučených variantách stavby a provozu je potom ve většině kanceláří a učeben po dobu více jak 90 % letního období dodržen počet nespokojených nižší než 30 %.

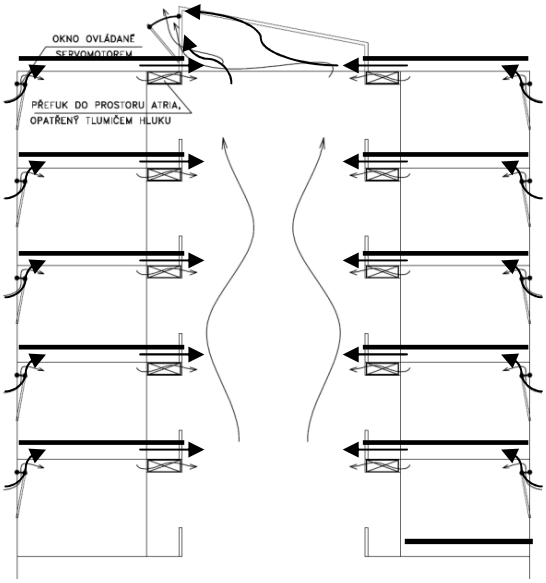
Tab. 1 *Varianty a výsledky předběžné počítačové simulace [5]*

Varianta č.			Intenzita větrání den	noc	Provedení stropu	Zasklení (g)	Počet pracovních hodin s teplotou vzduchu pod 26 °C Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
V1	S1	K1	1	3	heraklit	0.41				84 %	84 %	47 %	60 %
V2	S1	K1	2	3	heraklit	0.41				89 %	89 %	67 %	77 %
V1	S1	K2	1	3	beton	0.41	82 %	41 %	54 %	87 %	88 %	54 %	68 %
V2	S1	K2	2	3	beton	0.41	87 %	62 %	73 %	91 %	90 %	72 %	80 %
V1	S2	K2	1	3	beton	0.15	88 %	52 %	64 %	93 %	92 %	66 %	75 %
V2	S2	K2	2	3	beton	0.15	92 %	71 %	79 %	94 %	94 %	80 %	84 %

KONCEPT VĚTRÁNÍ A PASIVNÍHO CHLAZENÍ BUDOVY

Na základě výsledků předběžných simulací a nezávislých výpočtů přirozeného proudění byl vytvořen koncept větrání a pasivního chlazení budovy včetně předběžného dimenzování jednotlivých komponent systému.

Čerstvý větrací vzduch je z venkovního prostředí do místnosti přiváděn otevíratelnými hliníkovými okny. V původní koncepci se počítalo s manuálně otevíratelnými okny pro denní větrání a se servopohonem ovládanými výklopnými okny pro noční větrání. Tato koncepce zůstala zachována pouze v kancelářích u jižní fasády. Pro ateliéry a posluchárny jsou spodní pásová okna neotevíratelná a byla zvětšena plocha horních výklopných oken a doplněno jejich manuální ovládání z místnosti. Minimální volná plocha oken ovládaných servopohony je ve druhém až čtvrtém patře 0,8 m^2 a v pátém až osmém patře budovy



Obr. 3 *Schéma přirozeného větrání*

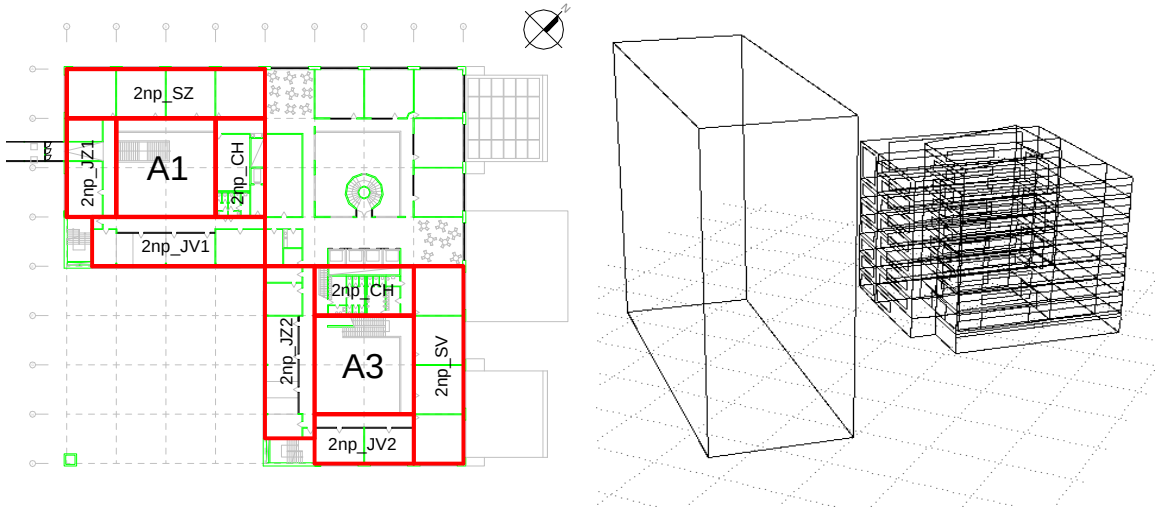
1,6 m^2. Během dne je tato okna možné otevírat manuálním nastavením z místnosti a v nočních hodinách v létě se okna otevírají centrálně. Volnou plochu oken lze plynule měnit pouze manuálním nastavením z místnosti. Při centrálním otevírání jsou okna buď plně otevřena, nebo zavřena.

Znehodnocený vzduch odchází z místnosti jedním či dvěma převodními otvory do chodby a následně do jednoho ze tří atrií. Tyto otvory jsou provedeny jako tlumiče hluku a mají i funkci požárního uzávěru. Z atria je znehodnocený vzduch odváděn otevíratelnými odvodními otvory v horní části pod střechou atria. Volná plocha odvodních otvorů pod stropem atria je 12 m^2 na atrium. Odvodní otvory jsou ovládány řetězovými servopohony a jsou provedeny tak, aby mohly zůstat otevřeny i při mírném dešti.

Samozřejmou součástí pasivního konceptu stavby je kvalitní vnější stínění na všech fasádách a masivní betonové stropy a podlahy bez podhledů, akustických či tepelných izolací na vnitřní straně.

DETAILNÍ POČÍTAČOVÉ SIMULACE

Cílem simulačního výpočtu bylo ověření parametrů vnitřního prostředí v budově bez nuceného větrání a chlazení. Simulační model zpracovaný v programu ESP-r [5] zahrnuje jak geometrický model části budovy, tak model přirozeného proudění rozdílem hustot a účinky větru a simulace řeší paralelně proudění a energetické bilance objektu. Simulací byly ověřeny velikosti větracích otvorů a jejich optimalizace s ohledem na požadované teploty v ateliérech, učebnách a kancelářích.

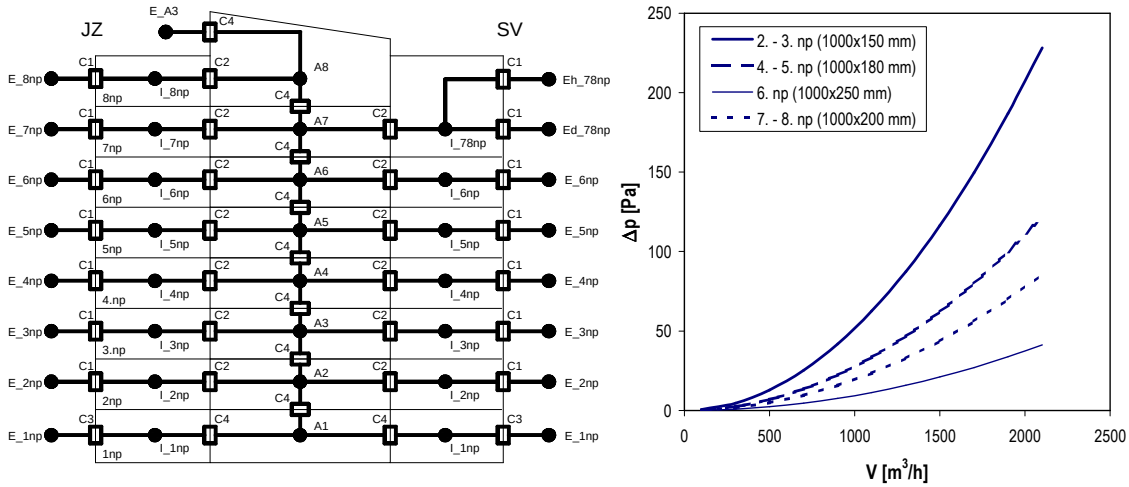


Obr. 4 *Půdorysné schéma budovy vyznačením řešených zón (vlevo), schéma modelu jednoho atria v programu ESP-r (vpravo)[5].*

Pro analýzu proudění budovou byly sestaveny dva podrobné modely atrií A1 a A3 a přilehlých místností. Vlastní atria jsou pro účely simulačního výpočtu rozděleny na zóny po patrech. V každém patře k atriu přiléhají většinou 4 zóny (spojené z několika místností) pro každou orientaci fasády jedna. Tři zóny jsou u obvodových fasád (označeny podle orientace fasády) s přirozeným větráním a jedna vnitřní zóna směrem k dalšímu atriu (označená CH jako chodba) bez přirozeného větrání okny. V rámci modelu bylo uvažováno i se zastíněním budovy stávajícím objektem na jihozápadě. Každý model atria byl celkem rozdělen na 29 zón. Simulace byly zaměřeny na letní období. Simulována byla perioda od 1. května do 30. září. Hodnoty vnitřních tepelných zátěží vycházejí ze zadání a jsou celkem 22,8 W/m^2 pro učebny, 18,6 W/m^2 pro ateliéry, 20,5 W/m^2 pro kanceláře a 105 W/m^2 pro počítačové učebny.

Energetický model byl doplněn o model přirozeného proudění zahrnující proudění způsobené rozdílem hustot a proudění způsobené účinky větru. Model vychází z koncepce přirozeného větrání zpracované na základě zjednodušeného modelu. Též bylo zahrnuto nucené větrání a klimatizace pro počítačové učebny a specifikované prostory.

Pro modelování přirozeného proudění vzduchu budovou byl použit modul programu ESP-r pro řešení proudění, tzv. „*Flow network*“. Proudění je řešen na základě zadání jednotlivých tlakových uzlů, které vyjadřují body na fasádě budovy ve venkovním prostoru nebo v řešených zónách. V modelu jsou definovány i jednotlivé prvky umožňující proudění vzduchu mezi jednotlivými tlakovými uzly jako např. okna, otvory s určením velikosti a ostatních parametrů. Vzájemným propojením uzlů přes prvky vzniknou trasy pro proudění vzduchu (viz obrázek 5).



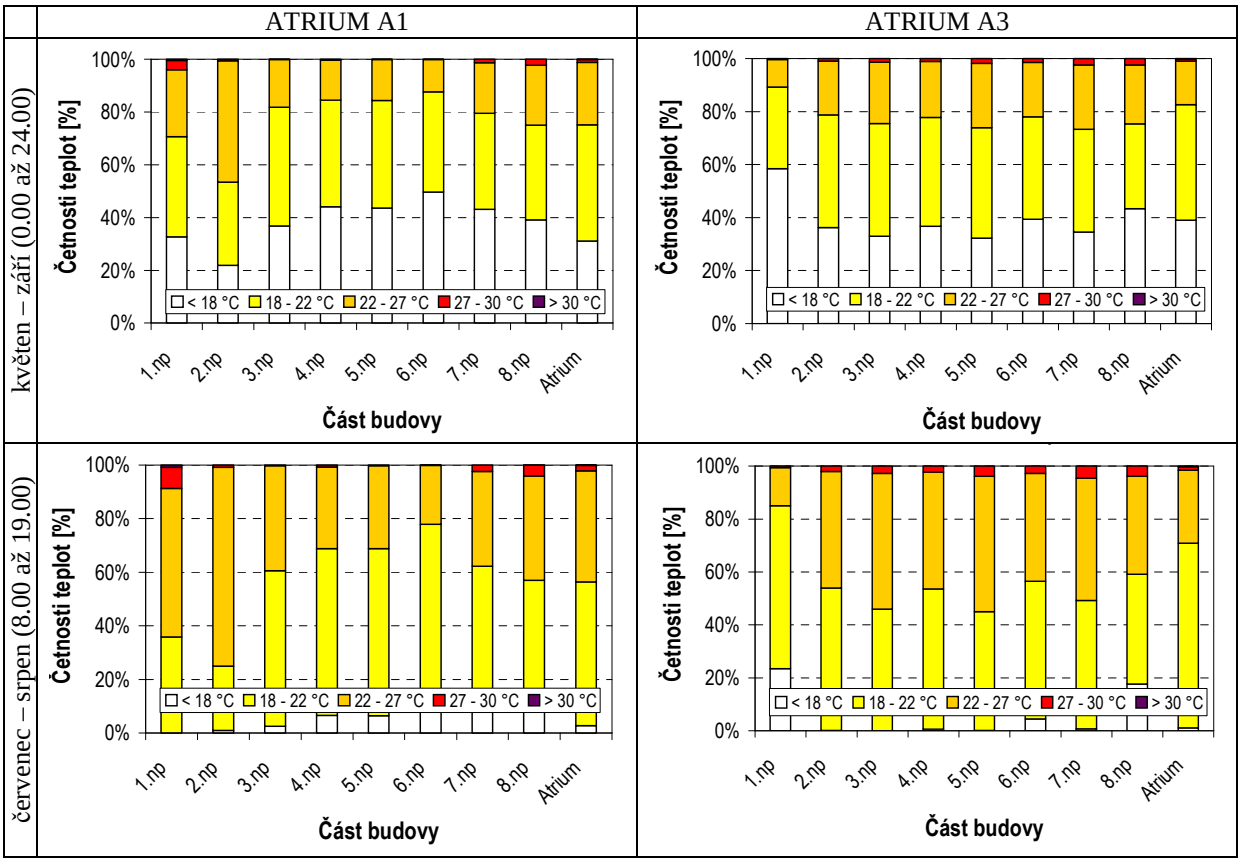
Obr. 5 *Zjednodušené schéma proudění vzduchu atriem A3 a okolními místnostmi (vlevo), průběh tlakové ztráty potrubních dílů (přefuků) v jednotlivých patrech (vpravo)[4].*

Pro výpočet účinku větru na přirozené větrání je vždy obtížné získat skutečné tlakové součinitele c_p pro jednotlivé body fasády, zahrnující vliv tvaru budovy a jejího okolí. Pro energetické výpočty byly použity tlakové součinitele vypočtené pomocí CFD [1], které jsou pak použity v počítačové simulaci.

Výsledky simulací

Vzhledem k rozsahu výsledků (hodinová data pro 58 zón) byla pro jejich analýzu použita metoda statistického vyhodnocení na základě četnosti výskytu teplot vzduchu pro vybraná období. Výsledky ukazují, že teploty vyšší než 30 °C nastávají v budově naprosto výjimečně. Pouze v 1. np SZ fasády u atria A1 jsou teploty díky větším ziskům mírně vyšší. Jinak dochází k překročení teploty 30 °C pouze krátkodobě v 8.np. Také teploty vyšší než 27 °C nejsou v budově při přirozeném větrání příliš časté, nejnepříznivější je situace v 8. np. kde jsou tyto teploty necelých 90 hodin což je cca 13 % pracovní doby léta nebo 2 % z celé simulované periody. Naprostou většinu letních pracovních hodin jsou teploty v pásmu tepelné pohody (22 až 27 °C). Dalším výsledkem počítačové simulace jsou průtoky vzduchu jednotlivými místnostmi. Simulace prokázala, že v letním období je téměř vždy intenzita větrání vyšší než 3 /h, čímž je zajištěn dostatečný průtok čerstvého vzduchu jak pro osoby, tak pro noční větrání.

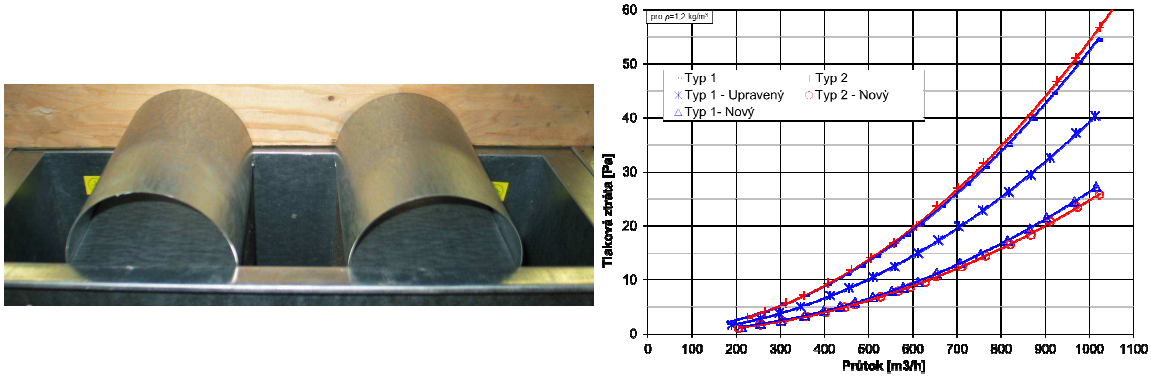
Navržený systém přirozeného větrání je dle počítačové simulace za zadaných okrajových podmínek (vnitřní tepelné zisky, referenční klimatické podmínky) schopen zajistit nočním větráním tepelnou pohodu v budově i přívod čerstvého vzduchu pro osoby.



Obr. 6 *Výsledky simulačních výpočtů [4]*

REALIZACE A UVÁDĚNÍ DO PROVODU

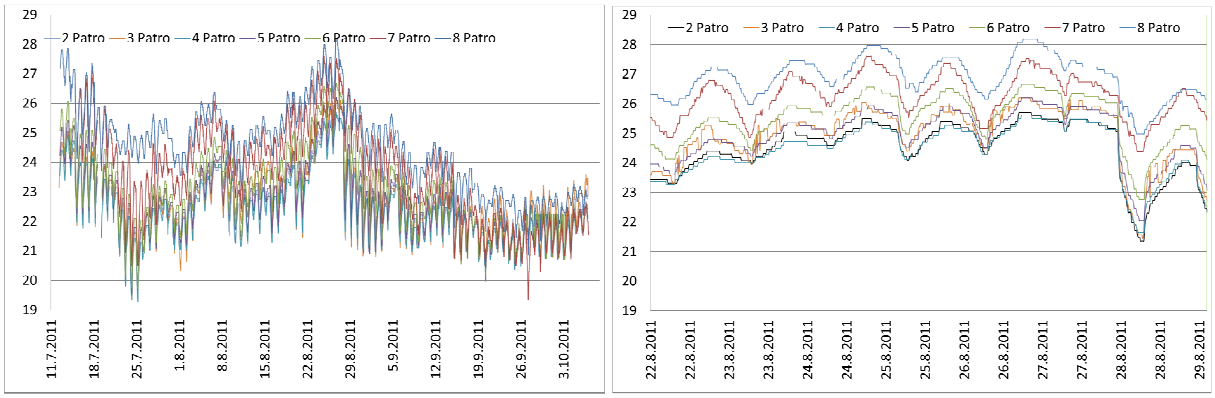
Při dokončování projektu, realizaci a uvádění do provozu se z pohledu pasivního chlazení a přirozeného větrání ukázala být zásadním problémem koncepce systému měření a regulace. Pasivní chlazení sice nevyžaduje instalaci větracího ani klimatizačního systému, ale na druhé straně musí být okna osazena servopohony. V každé místnosti je monitorována teplota a dle ní je ovládáno noční otevírání oken. Otvory pro převod vzduchu mezi místnostmi a atriem se díky vysokým požadavkům na útlum hluku a požární odolnost staly též poměrně složitým prvkem, který musel být pro tuto budovu speciálně vyvinut.



Obr. 7 *Náběhové plechy modifikovaného tlumiče hluku v převodním otvoru (vlevo) a tlakové ztráty prvku (vpravo) [6]*

PRVNÍ ROK PROVOZU BUDOVY

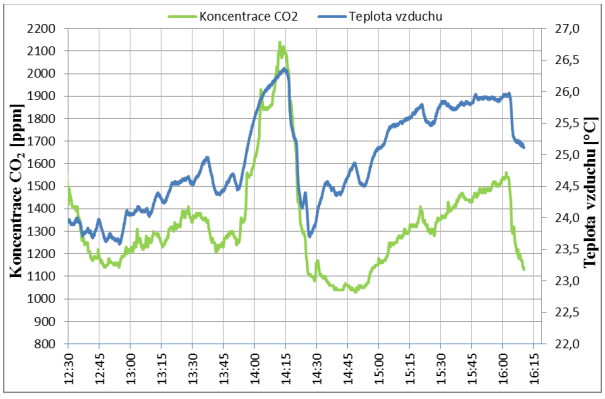
U pasivních a nízkoenergetických staveb takovéhoto rozsahu je vždy velmi důležité nezanedbat uvádění do provozu a dodržet jeden až dva roky zkušebního provozu. Zkušební provoz a optimalizace systému byl součástí požadavků na dodávku stavby nové budovy ČVUT. Bohužel byl nakonec v podstatě omezen na odstranění základních nedostatků a chyb v realizaci a zprovoznění systému měření a regulace. V rámci diplomové práce na fakultě strojní [3] byl proto v létě 2011 proveden sběr dat a jejich analýza doplněná o jednorázová měření. Bohužel systém měření a regulace neumožňuje záznam měřených teplot ve všech místnostech, proto se monitorování provozu omezilo pouze na střední teploty pro každé podlaží a fasádu. Naměřené teploty vzduchu ukazují, že po většinu léta jsou teploty v budově v požadovaném rozmezí. K tomu výrazně přispívá právě noční chlazení budovy. Porovnáme-li průběhy naměřené a vypočítané počítačovou simulací, je patrné, že ve skutečném provozu se budova v noci ochlazuje méně, než jak předpovídaly počítačové simulace. To je způsobeno především vlivem okolí budovy, teploty vzduchu kolem budovy jsou večer výrazně vyšší než teploty v otevřeném terénu, to omezuje počet hodin, kdy lze noční větrání efektivně využívat.



Obr. 8 *Průběh středních teplot vzduchu v jednotlivých patrech pro celé léto (vlevo) a pro extrémní týden (vpravo)[3]*

Bylo též provedeno měření rychlostí proudění v režimu nočního větrání. Ukázalo se, že při otevření všech oken v budově jsou velmi dobře provětrávány místnosti v nižších podlažích a v 7. i 8. np. sice nedochází k opačnému proudění z atria do místností, ale intenzity větrání jsou tam minimální. Na základě těchto měření bylo doporučeno provozovat část noci větrání pouze pro horní dvě podlaží se zavřenými okny v spodních podlažích, tento režim byl uveden do provozu koncem léta 2011 a noční chlazení se v horních podlažích výrazně zlepšilo.

Měření koncentrace CO_2 ukázalo, že i v zimních měsících je možné zajistit kvalitní prostředí v budově, ale je třeba otevírat okna, jinak koncentrace CO_2 velmi rychle rostou. Tento závěr by se mohl zdát příliš triviální, ale měření v budově ukázala na nutnost propagace těchto základních faktů. Lidé se v místnosti poměrně dobře aklimatizují a vnímají snižování kvality vzduchu poměrně omezeně, v některých místnostech se zavřenými okny byly potom naměřeny koncentrace CO_2 výrazně vyšší než 2000 ppm.



Obr. 9 *Koncentrace CO_2 a teplota vzduchu v plné učebně [3]*

ZÁVĚRY

Při návrhu budovy bez klimatizace je třeba dodržovat zásady návrhu pasivního domu z pohledu chlazení a lze doporučit použití počítačových simulací pro ověření navrhovaného řešení. Vzhledem k tomu, že takové nově stavěné stavby ještě nejsou u nás typické, je při jejich projektování a realizaci nutná úzká kooperace pracovního týmu a zpracování a dodržení základního konceptu systému. Maximální spolupráce a vstřícnost je nutná i v prvních letech provozu takovéto budovy, neboť nelze očekávat, že by byla všechny chyby a nedostatky v takto složitém systému odstraněny během testů při uvádění budovy do provozu. Stejně vlastní logika regulace systému je nestandardní a je vhodná její postupná optimalizace. Proto by realizace systémů měření a regulace a především jeho naprogramování měla být spíše kontinuálním procesem monitorování a úprav systému než jednorázovou dodávkou při realizaci stavby.

Na konkrétním případě nové budovy ČVUT lze tyto vlivy velmi dobře sledovat. Tato budova s pasivním chlazením je schopna zajistit kvalitní vnitřní prostředí s minimálními energetickými nároky. Jsem však přesvědčen, že by při lepší spolupráci jednotlivých zapojených subjektů mohly být výsledky ještě výrazně lepší a to jak v prvotní koncepci (zachování manuálně otevíratelných oken), tak při dořešení projekčních detailů (otevíratelná okna v rohových místnostech, servopohony pro spodní okna v dvoupatrových ateliérech, koncepce převodních otvorů) tak při uvádění do provozu (sběr dat a regulační algoritmy). Zpracované studie jednoznačně přispěly k správnému návrhu systému přirozeného větrání. Ukázalo se, že je třeba při simulaci více zohlednit i okolí budovy, které má na noční větrání zcela zásadní vliv.

LITERATURA

[1] JANÁK, M. Aerodynamický posudek za účelom posúdenia účinku vetra na budovu a jej okolie, prosinec 2007, NBD - Praha Dejvice.

[2] LAIN, M. Nízkoenergetické chlazení budov [Doktorská práce (Ph.D.)]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2008. 176 s.

[3] LINHART, Z. Monitorování provozu budovy, *Diplomová práce*, ČVUT v Praze, Fakulta strojní 2012

[4] ZMRHAL, V., LAIN, M., DRKAL, F. Simulace přirozeného větrání administrativní budovy, *Simulace budov a techniky prostředí*. Praha: IBPSA-CZ, 2008, s. 67-71. ISBN 978-80-254-3373-7.

[5] LAIN, M., DRKAL. F., ZMRHAL, V. Studie energetické simulace nově stavěné budovy ČVUT Praha 6, Dejvice – I. ETAPA. *Výzkumná zpráva*, ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2008

[6] LAIN, M., MAREŠ, L. Měření tlakových ztrát přefukových tlumičů hluku pro novou budovu ČVUT v Praze 6.. *Výzkumná zpráva*, ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 2010

Příspěvek byl napsán s podporou výzkumného záměru MSM 6840770011 Technika životního prostředí.

VLIV VSTUPNÍCH KLIMATICKÝCH DAT NA VÝSLEDKY ENERGETICKÉ SIMULACE ZEMNÍHO VÝMĚNÍKU TEPLA

Antonín Kolbábek, Michal Jaroš

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav, Odbor termomechaniky a techniky prostředí

ykolba00@stud.fme.vutbr.cz, jaros@fme.vutbr.cz

ANOTACE

Zemní výměník tepla (ZVT) lze použít jako alternativního zdroje tepla pro předehřev větracího vzduchu v zimě, resp. jako zdroje chladu pro jeho ochlazení v létě. Kolik tepla je schopný ZVT dodat nebo odebrat do/ze zeminy můžeme určit např. pomocí energetické simulace. Přesnost výsledku však podstatně závisí na stupni zjedno-dušení a hlavně na přesnosti (kvalitě) vstupních hodnot simulace, tj. okrajových podmínkách. Jedním z hlavních vstupních parametrů jsou klimatická data, která jsou v průběhu let velmi variabilní. Při energetických simula-cích se proto většinou využívá různých klimatických databází, jež obsahují průměrná roční klimatická data za určité časové období. Otázkou je, nakolik tato data navzájem korespondují a jak velký vliv budou mít případné rozdíly na výsledky simulace. Příspěvek se zaměřuje na reálný ZVT, vybudovaný pro nízkoenergetický dům ve městě Studénka, a porovnává výsledky energetické simulace jeho provozu založené na hodinových klimatických datech databází METEONORM a ENERGY+ pro Ostravu a měsíčních datech meteorologické stanice Mošnov.

ÚVOD

Snižování energetické náročnosti budov, které jsou jedním z největších konzumentů energie, je stálou snahou evropských orgánů. Nově přepracovaná směrnice Evropského parlamentu a Rady EU o energetické náročnosti budov [1] mimo jiné v článku 9 uvádí, že do konce r. 2020 mají být v celé EU všechny nově budované budovy koncipovány jako budovy s téměř nulovou spotřebou energie (tzv. „nulové“ nebo „plusové“ domy ve smyslu celoroční bilance s využitím vlastních alternativních zdrojů energie).

Jednou z možností, jak se tomuto cíli přiblížit, je využití zemních výměníků tepla (ZVT) pro předehřev nebo předchlazení větracího vzduchu (viz např. [2–4]). Přes jistou počáteční nedůvěru (např. [5]) jejich počet i u nás postupně roste a v současné době je v naší republice instalováno již několik desítek ZVT. Vybudování ZVT však není levnou záležitostí (cena se pohybuje cca mezi 50–100.000,- Kč), a proto je vhodné provést jeho předběžné ekonomické posouzení. To platí zejména při kombinaci ZVT se systémem zpětného získávání tepla (ZZT) – obě zařízení si do jisté míry energeticky a tím i ekonomicky konkurují [6]. Pohlížíme-li na zemní výměník jako na investici, je potřeba porovnat vynaložené náklady s energetickými a ekonomickými úsporami, které přináší.

Za nejspolehlivější nástroj stanovení předpokládané spotřeby energie v budovách je v současnosti považována komplexní energetická simulace, využívající některý z ověřených programů (ESP-r, TRNSYS, EnergyPlus apod.) [7]. Věrohodnost výsledků pak závisí nikoliv na výpočetním nástroji, nýbrž na kvalitě výpočetního modelu a zejména na správnosti vstupních dat (okrajových podmínek řešení). Energetické simulace přitom pracují většinou s hodinovými klimatickými daty. Vytvoření úplné databáze pro celé území ČR by ovšem bylo nesmírně náročné, proto se používá nějaké formy aproximace, resp. generování dat na základě dostup-

ných údajů [8, 9]. Nicméně, jsou-li takto vytvořená data skutečně reprezentativní, pohybují se odchylky výsledků vypočtených s použitím různých databází v řádu procent [8].

Autoři se ve svých předchozích pracích věnovali celoroční simulaci provozu zemního výměníku tepla, pracujícího v kombinaci s teplovzdušným vytápěcím systémem rodinného domu s rekuperačním výměníkem odpadního tepla (souhrnně viz [10]). Při simulaci byl použit zjednodušený model teplotního rozvrstvení zemského polomasivu, který předpokládá, že jeho teplota není provozem výměníku (příliš) ovlivněna a závisí tedy pouze na venkovních teplotách a vlastnostech zeminy. Cílem tohoto článku je posouzení, jak dalece jsou výsledky simulace ovlivněny použitím různých klimatických dat.

PROVEDENÍ ZEMNÍHO VÝMĚNÍKU TEPLA A JEHO SIMULAČNÍ MODEL

Simulovaný ZVT nacházející se v městě Studénka na severní Moravě je tvořen polypropylenovým potrubím průměru DN 200 s délkou 30 m, uloženým v jílovité zemině v průměrné hloubce 1,825 m (střed potrubí). Venkovní vzduch je přes nasávací šachtu s hlavicí a potrubí nasáván do teplovzdušné jednotky DUPLEX RK 1800/420 s křížovým rekuperačním výměníkem pro zpětné získávání tepla. Konečný dohřev vzduchu zajišťuje teplovodní ohřívač, vytápěný integrovaným zásobníkem tepla s elektrickými topnými patronami na noční proud. Alternativně lze venkovní vzduch do rekuperační jednotky nasávat přímo, bez průchodu ZVT. Oba režimy se přepínají motoricky ovládanou klapkou umístěnou v tvarovce typu T, zpravidla podle aktuální venkovní teploty (zejména s ohledem na možné riziko zamrznutí rekuperačního výměníku při teplotách pod bodem mrazu).

Simulační model daného ZVT byl podrobně popsán v článku [10], proto zde uvedeme pouze jeho hlavní rysy. Výměník je řešen jako přímé potrubí s konstantní teplotou stěny, rovnou teplotě zeminy v odpovídající hloubce uložení. Zanedbán je jak vliv nasávací šachty a svislé části potrubí, tak zejména změna teploty obklopující zeminy v důsledku provozu ZVT. Toto zjednodušení bylo zvoleno z důvodu jednoduchosti výpočtu; zahrnutí vlivu ZVT na okolní zeminu by vyžadovalo řešení třírozměrného vedení tepla, což je již poměrně náročná úloha. Navíc lze předpokládat, že při přerušovaném provozu nebude vliv výměníku na teplotu zeminy tak významný.

Za těchto předpokladů je teplota vzduchu vystupujícího z výměníku $T_{a,out}$ dána vztahem

$$T_{a,out} = T_g(z,d) + (T_{a,in} - T_g(z,d)) \cdot exp\left(- \frac{\alpha_{a,mod} \cdot P_p}{\dot{m}_a \cdot c_{p,a}} \cdot L \right) \qquad (1)$$

kde

$T_g\,(z,d)$ je teplota zeminy v hloubce z [m] ve dni d od počátku roku [ºC],
$T_{a,in}$ vstupní teplota vzduchu do ZVT (rovná venkovní teplotě vzduchu) [ºC],
$\alpha_{a,mod}$ střední hodnota součinitele přestupu tepla na vnitřním povrchu potrubí [W/(m^2·K)], modifikovaná započtením tepelného odporu stěny podle [11],
P_p vnitřní obvod potrubí [m],
$\dot{m}_a$ hmotnostní průtok vzduchu výměníkem [kg/s],
$c_{p,a}$ měrná tepelná kapacita vzduchu při konstantním tlaku [J/(kg·K)],
L délka výměníku [m].

Pro výpočet výstupní teploty vzduchu je tedy nutné znát – mimo jeho vstupní teploty a průtoku, které určují i hodnotu součinitele přestupu tepla v potrubí – rovněž teplotu zeminy v dané hloubce a čase. Její určení však není jednoduché – konkrétní naměřená data se nepodařilo dohledat (alespoň v domácích literárních zdrojích) a celoroční numerický výpočet naráží mj. na komplikovanost okrajových podmínek na povrchu země (teplota a součinitel přestupu tepla

z venkovního vzduchu, absorpce slunečního záření, vliv srážek, resp. sněhové pokrývky v zimním období atd.) [12].

Zvolen byl proto výpočet teploty zeminy pomocí modulu „*Simple Ground Temperature Model*“ programu TRNSYS, který odpovídá teoretickému průběhu teploty v polonekonečném zemském masivu, vystavenému sinusové změně povrchové teploty:

$$T_z(z,d) = T_M - T_A \cdot exp\left(-\frac{z}{z_p}\right) \cdot cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot (d - d_{min}) - \frac{z}{z_p}\right) \qquad (2)$$

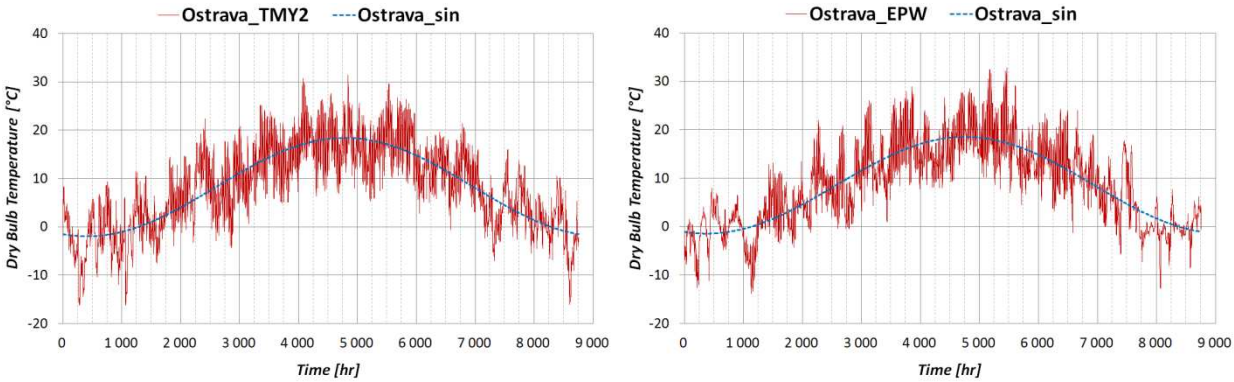
Teplota zeminy pak má rovněž periodický průběh se stejnou periodou, avšak fázově (resp. časově) posunutý oproti průběhu budicí teploty, jehož amplituda se s rostoucí hloubkou postupně snižuje. Útlum teplotních změn určuje tzv. hloubka penetrace

$$z_p = \sqrt{\frac{365 \cdot 86400}{\pi} \cdot \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}} \qquad (3)$$

daná teplotní vodivostí zeminy $a = \lambda / (\rho \cdot c_p)$. Celoroční střední teplotu T_M, budicí amplitudu T_A a den minimální venkovní teploty d_{min} určíme z aproximace ročního průběhu průměrných teplot vzduchu sinusovou funkcí.

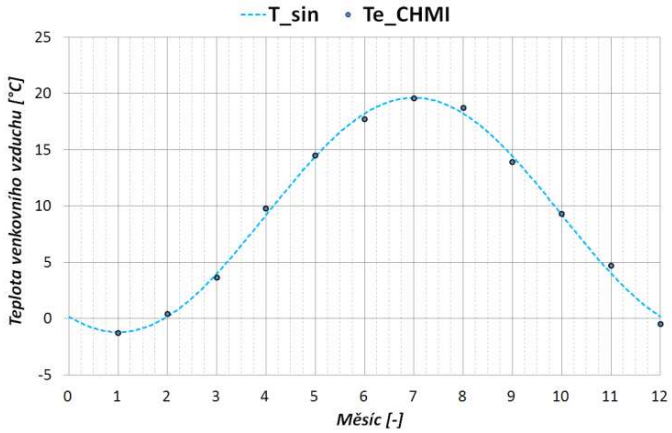
KLIMATICKÁ DATA A JEJICH VYUŽITÍ

Hlavními vstupními veličinami simulace jsou teplota a relativní vlhkost venkovního vzduchu, které spoluurčují tepelný výkon výměníku i případnou kondenzaci (v letním období). Venkovní teplota mimoto ovlivňuje teplotní rozvrstvení zeminy (rovnice 2) a tím jak výstupní teploty vzduchu ze ZVT, tak i dobu jeho využití.

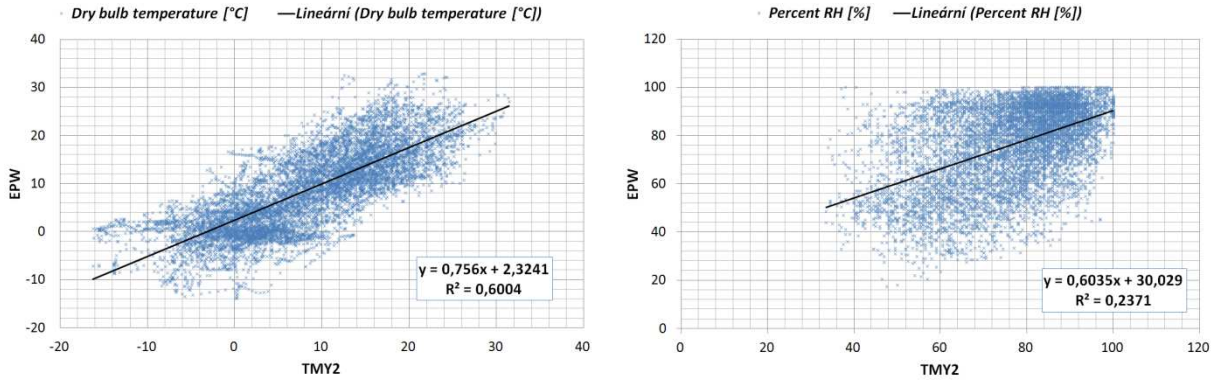


Obr. 1 *Hodinové hodnoty teploty venkovního vzduchu v lokalitě Ostrava-Poruba a jejich proložení funkcí sinus; vlevo: databáze METEONORM; vpravo: databáze ENERGY+.*

Pro ČR jsou volně k dispozici měsíční klimatická data několika málo meteorologických stanic [13]. Pro energetickou simulaci je však měsíční krok příliš dlouhý, potřebná jsou zpravidla data s časovým krokem 1 hodina. Nemáme-li k dispozici vlastní údaje, lze použít některou z klimatických databází, např. *METEONORM* [14] či *ENERGY+* [15]. Zde jsou k dispozici hodinová klimatická data v různých formátech – pro první uvedenou ve formátu **.TMY2 (Typical Meteorological Year, Version 2*), pro druhou **.EPW (Energy+ format*). Jedná se vždy o průměrné hodinové hodnoty za různě dlouhá časová období, modifikované tak, aby postihly i možné klimatické extrémy [8].



Obr. 2 *Průměrné měsíční teploty venkovního vzduchu v meteorologické stanici Mošnov (1998-2010)[13] a jejich proložení sinusovou funkcí.*



Obr. 3 *Porovnání klimatických dat z databáze METEONORM (TMY2) a ENERGY+ (EPW) pro lokalitu Ostrava-Poruba – vlevo: teplota venkovního vzduchu [°C]; vpravo: relativní vlhkost venkovního vzduchu [%].*

Databáze *ENERGY+* obsahuje oproti databázi *METEONORM* podstatně méně lokalit – pro ČR jsou k dispozici pouze data pro Prahu a Ostravu. Pro daný případ můžeme nicméně využít obě databáze, protože simulovaný ZVT leží ve vzdálenosti cca 15 km od Ostravy (nadmořská výška se liší jen nepatrně). Na obrázku 1 jsou uvedeny průměrné teploty venkovního vzduchu pro město Ostrava; data převzatá z obou uvedených databází jsou zde proložena kosinovou funkcí s využitím *Curve Fitting Tool-boxu*™ programu *MATLAB*:

$$T_{a,e}(d) = T_M - T_A \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{365} \cdot (d - d_{min})\right) \qquad (4)$$

Totéž bylo provedeno pro průměrné měsíční teploty vzduchu v nejbližší meteorologické stanici Mošnov (viz obrázek 2), která se nachází cca 5 km od zkoumaného ZVT. Výsledné parametry kosinové aproximace (viz rovnice 4) jsou uvedeny v tabulce 1. Je patrné, že průběhy teplot z obou data-bází se od sebe poněkud liší. Na obrázku 3 jsou proto mezi sebou porovnány teploty a relativní vlhkosti venkovního vzduchu obou databází. Uvedené rovnice regresní přímky *y* a hodnoty spolehlivosti R^2 byly získány programem *MS EXCEL*.

***Tab. 1** Parametry použité aproximace průměrných teplot vzduchu v průběhu roku.*

Lokalita	*Databáze*	*Nadmořská výška*	T_M	T_A	d_{min}	R^2
		[m n.m.]	*[°C]*	*[°C]*	*[dnů]*	*[-]*
Ostrava	*ENERGY+ (období 1982–1998)*	256	8,2	10,2	16,8	0,6823
Ostrava-Poruba	*METEONORM*	242	8,5	10,0	15,8	0,6902
Mošnov	*ČHMI (období 1998–2010)*	251	9,2	10,4	30,6	0,9966

VÝSLEDKY SIMULACE

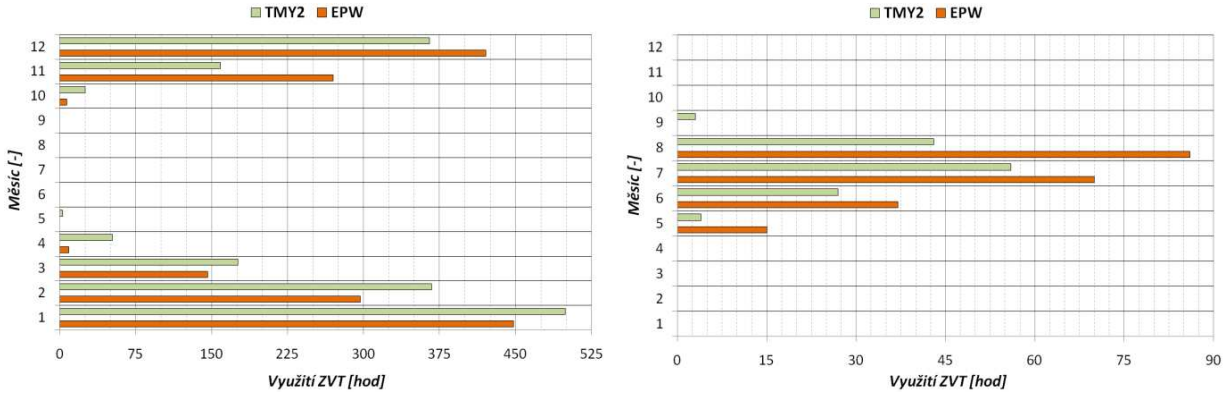
Stejně jako v článku [10], i zde byl simulován přerušovaný větrací režim s odlišným týdenním a víkendovým profilem, vycházející z výsledků monitorování reálného provozu [6]. Kontinuální větrání probíhá během pracovních dnů v ranních, odpoledních a večerních hodinách, o víkendech a státních svátcích během dopoledne a večer. Po zbytek dne se větrá přerušovaně (12 minut každou hodinu). Průměrná intenzita větrání tak činí 0,4, resp. 0,5 h^{-1}. Interval teplot pro přímé nasávání venkovního vzduchu byl zvolen 0 až 25 °C. V souladu se skutečností byla uvažována jílovitá zemina s teplotní vodivostí $a = 9{,}7 \cdot 10^{-7}$ m^2/s. S využitím dostupných klimatických dat pro Ostravu a Mošnov byly řešeny následující 4 varianty:

1) **TMY2** klimatická data z databáze METEONORM (Ostrava-Poruba) použita jak pro vstupní parametry vzduchu, tak pro výpočet teploty zeminy (T_A = 10,2 °C, T_M = 8,2 °C, d_{min} = 17 dní);
2) **EPW** dtto pro databázi ENERGY+ (Ostrava, T_A = 10,0 °C, T_M = 8,5 °C, d_{min} = 16 dní);
3) **CHMI_1** vstupní parametry vzduchu z databáze METEONORM (Ostrava-Poruba), teplota zeminy podle měsíčních dat meteostanice Mošnov (T_A = 10,4 °C, T_M = 9,2 °C, d_{min} = 31 dní);
4) **CHMI_2** analogicky se vstupními parametry vzduchu z databáze ENERGY+ (Ostrava).

Porovnání výsledků jednotlivých variant simulace je uvedeno na obrázcích 4 až 6 a v tabulkách 1 až 3.

Celková doba využití ZVT

Z obrázku 4 je patrné, že zemní výměník je v největší míře využíván pro předehřev vzduchu v zimním období; ke chlazení vzduchu v létě dochází pouze omezeně. Celková doba využití se nicméně při použití klimatických dat z obou dostupných databází dosti podstatně liší. Data ENERGY+ dávají vyšší využití ZVT na konci roku (listopad−prosinec), databáze METEONORM naopak na začátku roku (leden−duben).

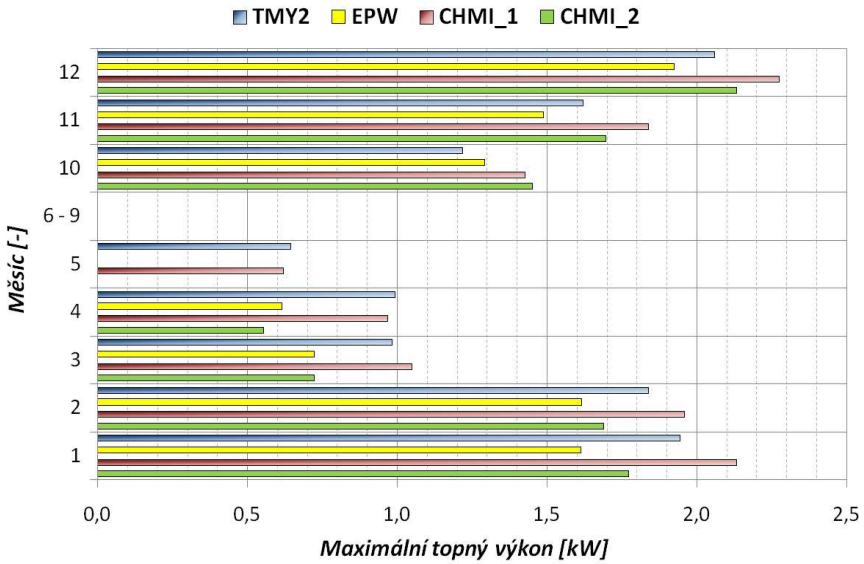


***Obr. 4** Celková doba využití ZVT v zimním a letním období – výsledky simulace s využitím klimatických dat z databáze METEONORM (TMY2) a ENERGY+ (EPW.)*

Ještě větší jsou odchylky ve výsledcích simulace letního provozu (viz obrázek 4 vpravo). Celková doba využití ZVT v zimě a v letním období je uvedena v tabulce 2. Nutno podotknout, že zde není uvažován cirkulační režim chlazení vnitřního vzduchu, který daný typ ZVT neumožňuje. Cirkulační provedení by zvýšilo dobu využití i energetický zisk ZVT [16].

Zimní předehřev

Na obrázku 5 jsou uvedeny maximální měsíční hodnoty topného výkonu ZVT pro jednotlivé řešené varianty. Vzhledem k zanedbání vlivu provozu výměnku na teplotu okolní zeminy je třeba očekávat skutečný výkon o něco nižší, cca v rozmezí 1,0–1,5 kW. Skutečný výkon mohou výraznou měrou ovlivnit i parametry zeminy, zejména její vlhkost (přirozená i umělá). Z grafu je rovněž patrné, že v období červen-září již není ZVT využíván pro předehřev, ale spíše pro předchlazení přiváděného vzduchu (viz též obrázky 4 a 6).

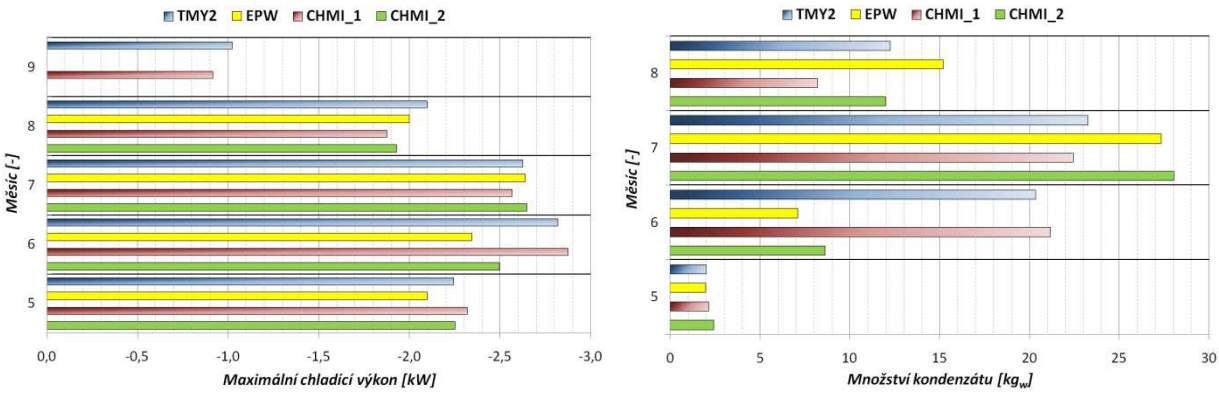


Obr. 5 *Maximální měsíční hodnoty topného výkonu ZVT pro jednotlivé varianty simulace.*

Z porovnání variant *TMY2* a *CHMI_1*, resp. *EPW* a *CHMI_2* vyplývá, jaký vliv má výpočet teploty zeminy z odlišných klimatických dat (meteodata stanice Mošnov vykazují vyšší průměrnou teplotu vzduchu i časový posun oproti databázovým datům Ostravy, viz tabulka 1). Největší rozdíly nastávají v nejchladnějším období roku (říjen−únor), v ostatních měsících jsou zanedbatelné. Sumární hodnoty jsou uvedeny v tabulkách 2 a 3.

Letní předchlazení

Levý graf na obrázku 6 udává maximální měsíční hodnoty chladicího výkonu; s ohledem na zjednodušený výpočet teplotního rozvrstvení platí totéž co pro zimní předehřev, tedy že skutečný chladicí výkon bude ležet v rozmezí 1,5–2,0 kW. Rozdíly mezi variantami *TMY2* vs. *CHMI_1* a *EPW* vs. *CHMI_2* (plynoucí z odlišné aproximace ročního průběhu teplot) jsou zde oproti zimnímu provozu minimální. Významnější rozdíly jsou patrné mezi variantami *TMY2* a *EPW* (databázová meteo-data) pro měsíce červen a září (sumárně viz tabulky 2 a 3).



Obr. 6 *Maximální měsíční hodnoty chladicího výkonu ZVT (vlevo) a měsíční množství zkondenzované vody (vpravo) pro jednotlivé varianty simulace.*

V pravé části obr. 6 je uvedeno měsíční množství vzniklého kondenzátu, které se pro jednotlivé varianty liší výrazněji (již malé rozdíly teploty zeminy způsobí poměrně velkou změnu kondenzace vzdušné vlhkosti). Podstatný rozdíl nastává v důsledku odlišných hodinových dat (obr. 3) i mezi variantami *TMY2* a *EPW* (sumárně viz tabulky 2 a 3).

Celoroční bilance ZVT

Z hlediska celoroční bilance je nejpodstatnější celková doba využití ZVT v zimním a letním období, celkové množství získané/odevzdané energie a celkové množství vysráženého kondenzátu. Tyto veličiny jsou pro jednotlivé varianty vyčísleny v tabulce 2.

Tab. 2 *Výsledky celoroční energetické simulace pro jednotlivé řešené varianty.*

Varianta	*Doba využití zima/léto*		*Získané teplo/chlad*		*Množství kondenzátu*
	[h]	*[·h]*	*[kW·h]*	*[kW·h]*	*[kg_W]*
TMY2	1646	133	568,3	126,8	57,8
EPW	1598	208	516,5	165,6	51,6
CHMI_1	1646	133	675,0	122,3	53,9
CHMI_2	1598	208	612,5	165,3	51,1

Tab. 3 *Vzájemné porovnání celoročních výsledků jednotlivých řešených variant.*

Varianta	*Doba využití zima/léto*		*Získané teplo/chlad*		*Množství kondenzátu*
	[h]	*[·h]*	*[kW·h]*	*[kW·h]*	*[kg_W]*
EPW vs. TMY2	–2,9 %	+56,4 %	–9,1 %	+30,6 %	–10,7 %
CHMI_2 vs. CHMI_1	–2,9 %	+56,4 %	–9,3 %	+35,2 %	–5,2 %
CHMI_1 vs. TMY2	0 %	0 %	+18,8 %	–3,5 %	–6,7 %
CHMI_2 vs. EPW	0 %	0 %	+18,6 %	–0,2 %	–1,0 %

Ze vzájemného porovnání jednotlivých variant (viz tabulka 3) vyplývá, že při využití různých klimatických databází (METEONORM vs. ENERGY+) dosahují rozdíly celkového získaného tepla cca 10 %, celkového získaného chladu až 30 %; rozdíly v celkové době využití ZVT během zimního/letního provozu jsou ještě větší. Tyto rozdíly jsou způsobeny především odlišnými hodnotami teploty a vlhkosti venkovního vzduchu, jak dokládá porovnání variant CHMI_2 a CHMI_1, které obě vycházejí ze stejné aproximace teplotního rozložení zeminy.

Naproti tomu odlišné teploty zeminy (CHMI_1 vs. TMY2, resp. CHMI_2 vs. EPW) se promítnou pouze do celkového energetického zisku ZVT, nikoliv do doby jeho využití

(poznamenejme, že získané teplo se při kombinaci ZVT s rekuperačním výměníkem nerovná jeho energetickému *přínosu*; ten by vyplynul z porovnání celkové spotřeby energie v systému se ZVT a bez něj [6], [10]). Výpočet s větším časovým posuvem teploty zeminy (*CHMI_1* a *CHMI_2*) dává celoročně cca o 19 % vyšší množství získaného tepla než varianta s proložením hodinových klimatických dat (*TMY2* a *EPW*). V létě jsou rozdíly v množství celkového získaného chladu vzhledem k omezenému využití zemního výměníku podstatně menší; rovněž rozdíly v celkovém množství kondenzátu jsou nepodstatné.

ZÁVĚR

Výše uvedené výsledky ukazují, že rozdíly plynoucí z využití různých klimatických databází mohou při simulaci provozu ZVT dosahovat desítek procent. Jsou tedy podstatně větší, než třeba rozdíly při simulaci potřeby tepla na vytápění [8]. Tím může být následně ovlivněno i ekonomické hodnocení zemního výměníku tepla. Dostupné klimatické databáze navíc pokrývají jen několik málo lokalit ČR, a tak může být získání kvalitních vstupních dat pro simulaci v některých případech problémem.

I přes tyto výhrady však celoroční energetická simulace stále představuje nejspolehlivější způsob posouzení projektu zemního výměníku tepla, zejména pokud hlavní přínos ZVT spočívá v protimrazové ochraně následného rekuperačního výměníku.

LITERATURA

[1] Směrnice Evropského parlamentu a rady 2010/31/EU ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov (přepracování) [online] [cit. 2012-05-05], Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/ LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:CS:PDF>.

[2] Centrum pasivního domu, Základní principy pasivního domu [online] [cit. 2012-05-01], Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/pasivni-dum/principy/zakladni-principy.html>.

[3] Projekční podklady firmy Atrea s.r.o. [online] [cit. 2012-05-13], Dostupné z: <**Chyba! Odkaz není platný.**>.

[4] KOLBÁBEK A. Využití zemního výměníku tepla v nízkoenergetickém domě ve městě Studénka. *Alternativní zdroje energie 2010*. Kroměříž: Společnost pro techniku prostředí, 2010.

[5] SRDEČNÝ K. Efektivita zemního výměníku tepla (ZVT). *Pasivní domy 2006*. 2. vyd. Brno: Centrum pasivního domu, 2007, s. 327–328.

[6] KOPECKÝ P. K energetickému přínosu zemního výměníku tepla. *Pasivní domy 2006*. 2. vyd. Brno: Centrum pasivního domu, 2007, s. 329–336.

[7] KABELE K., A KOL. Energetická náročnost budov a vzduchotechnika. *Vytápění, větrání, instalace*, 19 (3): 131–136, 2010.

[8] SEDLÁK J., OSTRÝ M. Klimatická hodinová data pro posuzování energetické potřeby pro vytápění a chlazení. *Vytápění, větrání, instalace*, 19 (3): 148–152, 2010.

[9] PETRÁK M. Modelování klimatických dat. *Vytápění, větrání, instalace*, 19 (2): 71–74, 2010.

[10] JAROŠ M., KOLBÁBEK A. Energetický a ekonomický přínos zemního výměníku tepla v teplovzdušném vytápěcím systému s rekuperací. Vytápění, větrání, instalace, 19 (5): 222–228, 2010.

[11] KOPECKÝ P. Chlazení a předehřev vzduchu v zemním výměníku. Sborník konference *Simulace budov a techniky prostředí 2004*. Praha: IBPSA-CZ, 2004, s. 71–76. ISBN 80-02-01678-5.

[12] KOPECKÝ P. Matematický model pro simulaci zemních výměníků tepla – experimentální validace. Sborník 4. konf. IBPSA-CZ *Simulace budov a techniky prostředí 2006*. Praha: IBPSA-CZ, 2006, s. 65–69. ISBN 80-01-03577-8.
[13] ČHMÚ, odbor klimatologie. Informace o klimatu [online], 20. 10. 2009 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://old.chmi.cz/meteo/ok/infklim.html>.
[14] Meteonorm, klimatická databáze [online] [cit. 2012-05-01], Dostupné z: <**Chyba! Odkaz není platný.**>.
[15] Energy+, Energy Simulation Software – Weather Data, Europe WMO Region 6: Czech Republic [online] [cit. 2012-05-01], Dostupné z: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=6_europe_wmo_region_6/country=CZE/cname=Czech%20Republic
[16] JINDRÁK M. Zkušenosti z realizací a provozem domů v ČR. *Pasivní domy 2006*. 2. vyd. Brno: Centrum pasivního domu, 2007, s. 351–358.

Autoři děkují grantům GAČR 101/09/H050 „Výzkum energeticky úsporných zařízení pro dosažení pohody vnitřního prostředí“ a FSI-S-11-6 „Komplexní modelování interakce člověka a prostředí v kabinách dopravních prostředků a obytných prostorách a návrhové nástroje“ za podporu při zpracování a prezentaci tohoto příspěvku. Poděkování patří též Ing. Tomáši Mauderovi a Ing. Lubomíru Klimešovi za pomoc s prokládáním dat v sw MATLAB.

SORPČNÍ CHLADICÍ JEDNOTKY PRO VYUŽITÍ SOLÁRNÍHO TEPLA

Radek Begeni

Sokra, s r.o.
radek@sokra.cz

ANOTACE

Do současnosti je instalováno v ČR a SR již 22 absorpčních jednotek BROAD s celkovým výkonem přesahující 25 000 kW. Mezi největší aplikace patří přímo-vytápěné jednotky s výkonem 6 767 kW využívající plyn pro výrobu chladu. Zajímavou aplikací je pak instalace absorpční jednotky pro hypermarket TESCO v Jaroměři, kde využívá jednotka teplo ze solárních kolektorů a kogeneračních jednotek pro výrobu chladu pro klimatizaci objektu.

ABSORPČNÍ JEDNOTKY

V současnosti dosahují jednostupňové jednotky BROAD využívající teplou vodu 80 °C až 90 °C chladicích faktorů v průměru 0,76 a dvoustupňové spalující plyn nebo zužitkovávající páru 1,4. Další příjemnou zvláštností je intuitivní ovládací systém s dotykovou obrazovkou s grafickým rozhranním, které je v českém jazyce. V neposlední řadě jsou jednotky BROAD již z výroby osazeny kompletní tepelnou izolací studených a teplých ploch s příslušnou charakteristikou, což zajišťuje vysokou účinnost a jednoduchou a rychlou montáž a uvedení do provozu.

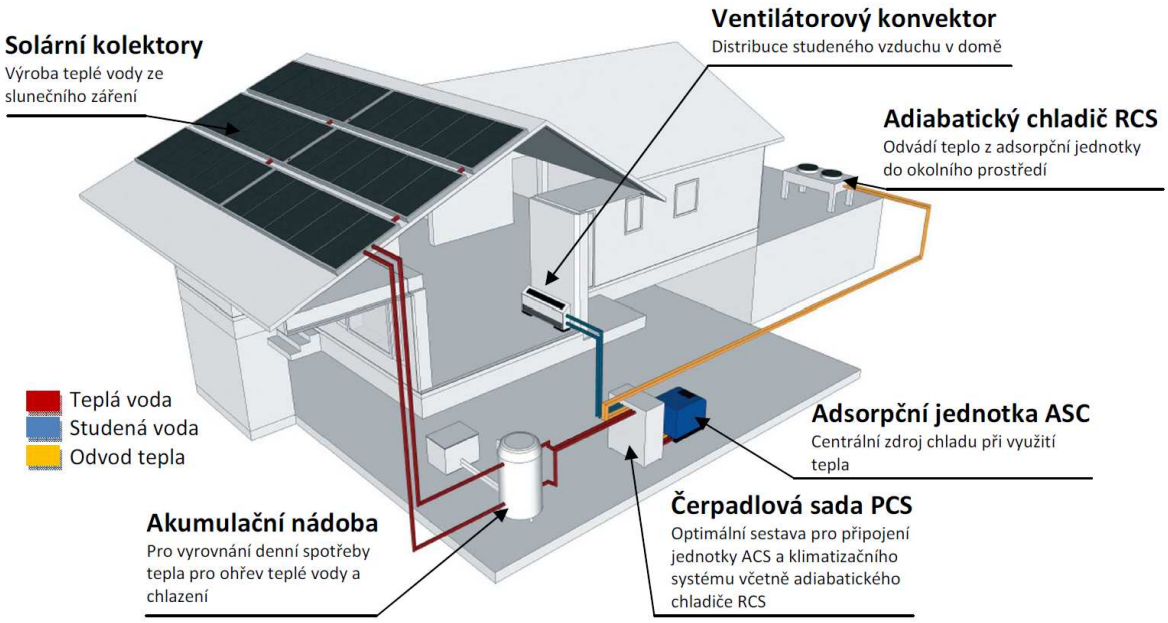
ADSORPČNÍ JEDNOTKY ASC

Společnost SORTECH je mladou německou firmou nabízející adsorpční jednotky vlastní konstrukce s inovativní konstrukcí opláštění z nerezového plechu. Jako sorbent je použit zeolit. Jednotky jsou jednoduché konstrukce s minimálním příkonem elektrické energie, která činní pouhých 0,9 W/kWch.

Obr. 1 *Adsorpční jednotky ASC08 a ASC15.*

Výhodou zařízení je jednoduchá obsluha pomocí ovládacího panelu s mikroprocesorovou jednotkou a jak již dobře známe i bez poruchový provoz, který je příznačný pro adsorpční jednotky.

Výkonová řada základních jednotek je 7,5 kW a 15 kW, kde nejlepších parametrů dosáhne zařízení při dodávce chladu pro velkoplošné chlazení v podobě chlazených stropů apod.



Obr. 2 *Schéma instalace jednotky ASC a volitelného příslušenství.*

Mezi nejoblíbenější absorpčí jednotky bezesporu patří jednostupňové zařízení s využitím teplé vody od 75 °C pro výrobu chladu. Tato zařízení jsou vhodná pro instalace v trigeneračních a také v solárních systémech. Jedná se tak o využití přebytků tepla, které lze ekonomicky využít pro klimatizaci nebo technologické chlazení.

Specifickým absorpčním zařízením je kombinovaná jednotka, která využívá jak tepelné energie v podobě teplé vody, tak i záložní hořák zužitkovávající plyn, LTO apod. Tato jednotka je schopna vyrobit chlad ve výši 30 % celkového výkonu ze solárních kolektorů a zbylý výkon chlazení je pokryt spalováním zemního plynu. Touto kombinací lze dosáhnout optimální velikosti solárního pole a zajistit tak chlazení i v období kdy není dostatečný sluneční svit a je potřeba chladit.

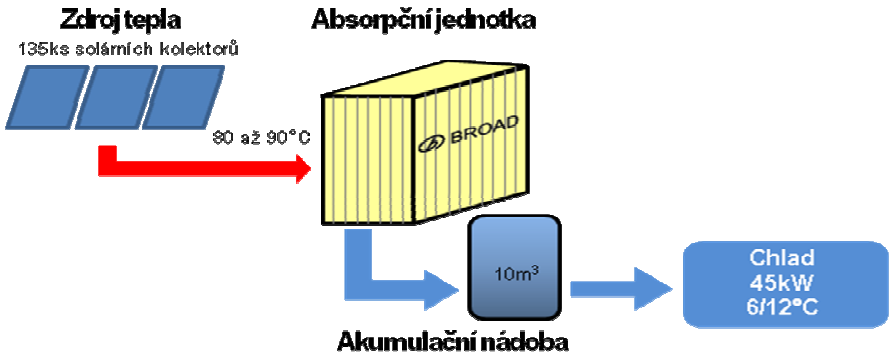
PRAKTICKÉ PŘÍKLADY SOLÁRNÍHO CHLAZENÍ

Instaplast Zápy

Jedna z prvních aplikací solárního chlazení byla aplikována na experimentálním domě v Zápech, který je součástí areálu společnosti Pipelife Instaplast v Zápech u Brandýsa nad Labem. Součástí instalace byly solární vakuové kolektory, které dodávají teplo pro jednostupňovou kompaktní absorpční jednotku. Tato jednotka vyrábí 45 kW chladu a je provozována v plně automatickém režimu.

Součástí systému jsou i akumulační zásobníky chladu a tepla, jež vyrovnávají energetické špičky. Celkově je instalováno 45 ks vakuových solárních kolektorů, každý kolektor obsahuje 14 trubic. Celková plocha kolektorového pole je 30 x 9 m.

Obr. 3 *Objekt firmy Instaplast, absorpční jednotka a solární kolektory*



Obr. 4 *Schéma zapojení*

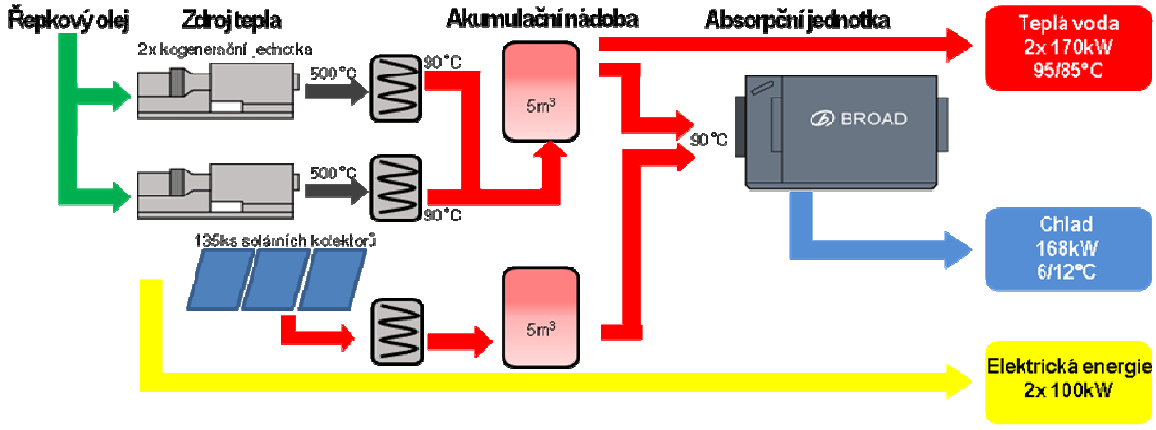
Hypermarket TESCO Jaroměř

V rámci ekologických aktivit společnosti TESCO byl postaven naprosto unikátní hypermarket z pohledu nejen České republiky, ale i celosvětově. Jedná se o hypermarket s nulovou uhlíkovou stopou, který se vyznačuje kombinací ekologických materiálů a ekologických technologií s minimálním dopadem na životní prostředí. Celý koncept vychází ze soběstačné výroby elektrické energie, tepla a chladu při zachování nulové uhlíkové stopy.

Obr. 5 *Tesco Jaroměř*

Celý systém je tvořen kolektorovým polem umístěným na světlících na střeše budovy, kogeneračními jednotkami spalujícími řepkový olej a jednostupňovou absorpční chladicí jednotkou využívající k provozu solárního tepla a tepla z kogenerační jednotky. Tepelný okruh obsahuje dvě nádoby na teplou vodu ze solárních kolektorů a dvě nádoby na teplou vodu z kogenerace. Na straně chlazené vody jsou pak tři nádoby každá o objemu 2000 l pro akumulaci vyrobeného chladu. Chladicí výkon jednotky je 168 kW, plocha solárních kolektorů: 288 m^2 (135 ks kolektorů s 15-ti trubicemi a reflexní plochou).

Obr. 6 *Absorpční jednotka, solární kolektory na střeše*



Obr. 7 *Schéma zapojení*

ÚČAST TÝMU ČVUT V SOUTĚŽI SOLAR DECATHLON 2013

Michal Bureš

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb
michal.bures@fsv.cvut.cz

ANOTACE

Tým fakult ČVUT postoupil mezi 20 finalistů prestižní studentské soutěže Solar Decathlon. Aktuální 6. ročník se přesunul do Orange County Great Park v Kalifornii. Soutěž je jedinečnou příležitostí pro České vysoké učení technické představit se jako přední evropské vědecké pracoviště, schopné obstát ve světové konkurenci.

ÚVOD

Od roku 2002, kdy se ve Washingtonu konal první Solar Decathlon, soutěží každé dva roky 20 vybraných univerzitních týmů z celého světa v návrhu a stavbě energeticky soběstačného solárního domu. Studenti sami zajišťují financování projektu, jeho prezentaci, vlastními silami domy staví. Stavby, které vznikají na půdě univerzit, jsou na finální přehlídku převezeny do USA, kde jsou hodnoceny v deseti disciplínách podobně jako v atletickém desetiboji. Vítězem celé soutěže je tým, jehož dům je cenově dostupný, energeticky efektivní, zajímavý pro případné zákazníky, má vynikající design, kombinuje účinné technologie a vyrábí dostatek energie ze slunečního záření. Soutěžní domy jsou prezentovány veřejnosti a přehlídku doprovází řada workshopů, odborných konferencí a přednášek.

Hlavním posláním Solar Decathlonu je představit studentům a veřejnosti řadu možností jak uspořit náklady díky „čistým“ energetickým technologiím. Ukazuje široké veřejnosti cenově dostupná řešení rodinných domů, které kombinují energeticky úspornou výstavbu se získáváním energie z obnovitelných zdrojů běžně dostupných již dnes. Soutež pořádá Ministerstvo energetiky Spojených států (U.S. Department of Energy – DOE) a Národní laboratoř obnovitelných energií (National Renewable Energy Laboratory – NREL). Je jedním ze základních bodů programu na podporu zvyšování energetické účinnosti, obnovitelných zdrojů a zelených pracovních míst.

Obr. 1 *Devatenáct studentských týmů na přehlídce Solar Decathlon 2011 reprezentuje pět zemí a čtyři kontinenty. Foto: U.S. Department of Energy*

HISTORIE

Prvního ročníku se zúčastnilo 13 univerzitních týmů ze všech koutů Spojených států. Již v tomto prvním ročníku se přišlo na stavby podívat přes sto tisíc návštěvníků. Od té doby se soutěže zúčastnilo přes 92 vysokoškolských týmů, které i po své účasti pokračují ve výuce navrhování a stavění energeticky úsporných budov. Bylo postaveno mnoho domů, které jsou nyní rozesety po celém světě, kde i nadále slouží pro vzdělávací, výzkumné nebo společenské akce. Aktuální polohu domů je možné nalézt v [1].

Jelikož se soutěž stala známou a upírá se na ni pozornost médií, byl v roce 2010 uspořádán také první ročník Solar Decathlon Europe. Soutěž se koná v sudé roky (takže se střídá se soutěží v USA) a pořádá se ve španělském hlavním městě Madridu. Ovšem ročník 2014 bude přesunut do Francouzského města Versailles. Nově vzniká také Solar Decathlon China, jehož první ročník se uskuteční v roce 2013.

Obr. 2 *Vítězný dům v roce 2011 Maryland University. Foto: U.S. Department of Energy*

PRAVIDLA

Základními omezeními soutěže, kterými se musí týmy řídit, jsou velikost pozemku, který je k dispozici, a zastavěná plocha objektu. Pozemky určené ke stavbě domu mají rozměry 23 × 18 m a maximální výška objektu může být 5,4 m. Povolená zastavěná plocha domu je v rozmezí 57 až 93 m^2.

Dům pro soutěž musí být snadno transportovatelný, protože na jeho sestavení a zprovoznění mají týmy pouhý jeden týden. Většina objektů je řešena tak, že se transportuje ve dvou nebo třech kusech, které se na místě pouze spojí. Další možností je stavbu koncipovat pouze jako jeden kus nebo ji na místě sestavovat z panelů. Řešení založení stavby má být takové, aby nedocházelo k narušení terénu.

V objektu není povoleno ukládání elektrické energie, ale dům je připojen do rozvodné sítě a měří se energie dodaná a odebraná. Nádrže na pitnou a odpadní vodu se musí nacházet v exteriéru, tím se simuluje připojení domu na inženýrské sítě.

HODNOCENÍ

Jak už napovídá název soutěže, je zde deset hlavních disciplín, které pokrývají široké pole pohledů na kvalitu domu. V každé disciplíně lze dosáhnout 100 bodů, celkové maximum je tedy 1000 bodů. Část disciplín je založena na měřitelných veličinách, část disciplín hodnotí odborná porota.

Architektura

Hodnotí se estetická hodnota domu a to, jak zdařile se do něj povedlo zakomponovat moderní technologie.

Atraktivita pro realitní trh

Samotná soutěž nemá stanoveno, pro koho má být dům určen, ale každý tým by si měl svého cílového klienta zvolit. Porota hodnotí, jestli zvolenému klientovi odpovídá návrh domu. Zaměřuje se na uživatelský komfort (intuitivní ovládání, bezpečnost, funkčnost), prodejnost a proveditelnost.

Inženýring

Porota složená z technických profesionálů hodnotí především, funkčnost, účinnost, inovativní technologie, spolehlivost a kvalitu projektové dokumentace.

Komunikace

Hodnocení se zaměřuje na kvalitu webových stránek a jejich originalitu, sdělení informací prostřednictvím videa, kvalitu prezentace na místě, komunikaci s cílovou skupinou a využívání inovativních metod k oslovení publika.

Cenová dostupnost

Tato disciplína je v souteži od roku 2011. Ukazovalo se totiž, že často vítězí domy naplněné nejmodernějšími technologiemi, bez ohledu na cenovou dostupnost. Maximum možných bodů získá stavba s náklady nižšími než 250 000 USD.

Komfort vnitřního prostředí

V navržených domech by mělo být udrženo optimální vnitřní prostředí. Plný počet bodů získá dům, v němž je udržena teplota i vlhkost během určitých časových úseků v stanoveném rozmezí: teplota mezi 22,2 a 24,4 °C a relativní vlhkost pod 60 %.

Teplá voda

Posuzuje se, zda systém pro přípravu teplé vody dokáže pokrýt veškerou potřebu pro každodenní mytí a koupání. Pro plný počet bodů musí být objekt schopen v daný čas poskytnout 15 galonů (56,8 l) teplé vody (min. 43,3 °C) za maximálně 10 minut.

Spotřebiče

V této disciplíně jsou simulovány potřeby běžné americké domácnosti. Body lze získat za chlazení a mražení potravin, praní a sušení prádla a mytí nádobí v myčce.

Domácí zábava

Tato disciplína se snaží postihnout, jak moc je dům domovem, ale i kolik poskytuje pasivní zábavy, jakou je třeba sledování filmů na domácím kině.

Energetická bilance

Každý dům je vybaven obousměrným měřicím přístrojem, který zaznamenává, kolik dům produkuje a spotřebovává energie. Plný počet bodů dostane tým, který vyrobí nejméně tolik energie, kolik sám spotřebuje (během soutěžního týdne). Čistá spotřeba by tedy měla být nulová.

TÝM ČVUT

Na podzim loňského roku se spojila Fakulta architektury a Fakulta stavební se společným cílem podat přihlášku do dalšího ročníku soutěže. Studenti převážně doktorských programů začali sbírat zkušenosti, studovat pravidla a podmínky soutěže, pořádali workshopy, soutěže a také navštívili samotný soutěžní týden ročníku 2011 ve Washingtonu D.C. V prosinci 2011 tak vznikla přihláška týmu ČVUT v Praze, která byla odeslána pořadatelům.

V lednu byly zveřejněny vybrané týmy, které se zúčastní příštího ročníku soutěže – Solar Decathlon 2013. Mezi dvacet finalistů probojoval i tým z České Republiky. Poprvé se tak účastní univerzita ze střední nebo východní Evropy. Dále bylo do tohoto ročníku vybráno 18 týmů z USA a jeden tým vídeňské University of Technology.

Pro co nejlepší pokračování projektu bylo nutné přizvat ke spolupráci další specialisty z Fakulty strojní, elektrotechnické a dopravní. Vznikl tak velmi různorodý tým lidí, kteří se jinak v profesní praxi težko potkávají. Tím se také jednotliví členové můžou obohatit o znalosti z jiných oborů nebo získat nezaujatý názor na svou práci.

DŮM

Hlavní myšlenka, se kterou šel tým do soutěže, byla minimalizovat hmotnost a objem, které dům při transportu zabírá. Další vizí bylo vytvoření minimálního moderního prostoru, který je však maximálně šetrný k přírodě a vytváří zdravé vnitřní prostředí. Svou roli hrála také možnost flexibilně měnit velikost domu.

Vznikl koncept nazvaný AIR house, který vystihují dvě slova: Box - Membrána. Box jako odkaz na tradici minimálního bytu české architektonické avantgardy 20. let, úsporný, prefabrikovaný, mobilní a obsahující všechny technologické systémy. Membrána jako flexibilní konstrukce umožňující růst domu při minimální spotřebě materiálu.

Obr. 3 *Studie konceptu AIR House (box-membrána), Fakulta architektury ČVUT*

Konstrukce

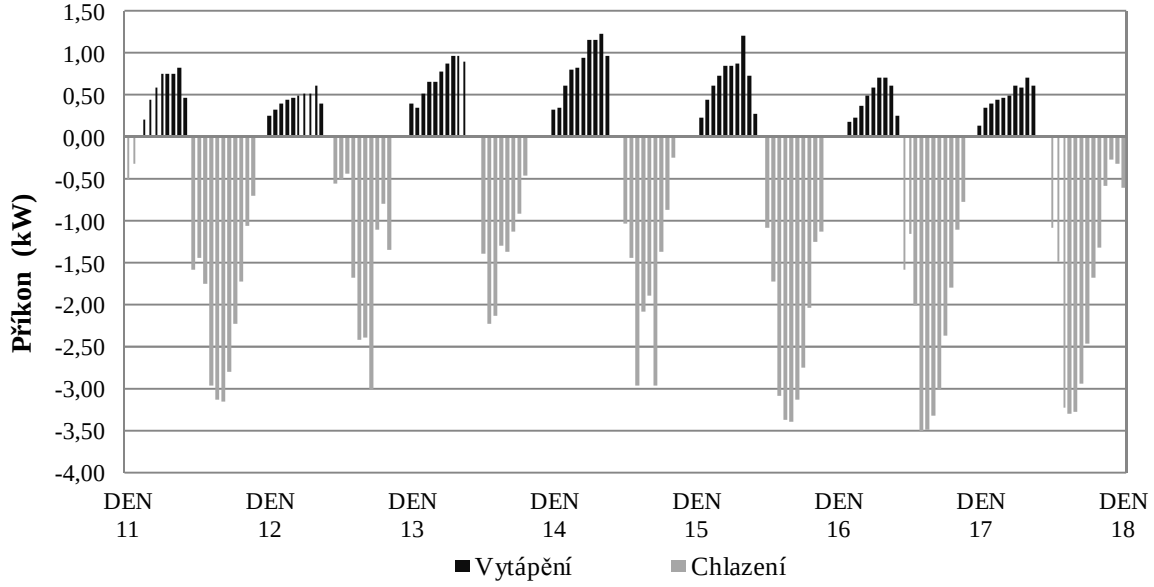
Konstrukční strategie je v souladu s celou ideologií domu o jednoduchosti a rychlosti výstavby. Konstrukční systém využívá minimálního počtu prvků, kde každý integruje více funkcí. Příkladem je použití technologie CLT panelů, jež plní funkci statickou, vzduchotěsnou a akumulační. To umožňuje vytvořit dům s malým počtem použitých materiálů a také odolný proti technologickým chybám.

Výběr konstrukčního systému i jednotlivých použitých materiálů se provádí s ohledem na jejich energetickou nenáročnost, obnovitelnost, recyklovatelnost a je komplexně posuzován metodikou LCA.

Pomocí počítačových simulací je testováno tepelně-vlhkostní a energetické chování soutěžního domu v reálných klimatických a provozních podmínkách ještě před tím, než je dům postaven. Využívá se dynamických simulací, které pracují s časovým krokem jedné hodiny. To přináší jedinečnou možnost připravit dům na kalifornské klimatické podmínky, které jsou značně rozdílné oproti klimatu v České republice.

Vytápění, chlazení a větrání

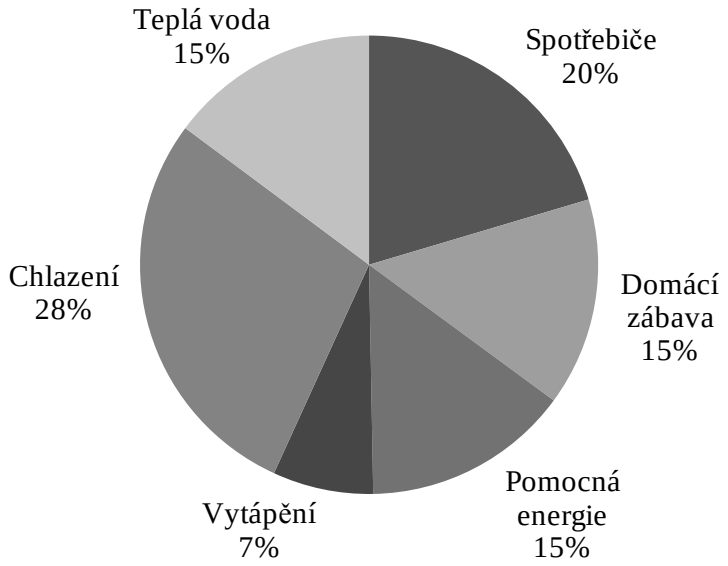
Systémem pro udržení vnitřního komfortu (teploty, vlhkosti a čistoty vzduchu) je kompaktní větrací rekuperační jednotka s integrovaným tepelným čerpadlem vzduch/vzduch. Rekuperační jednotka zajišťuje větrání vnitřního prostoru domu a převádění teplotní diference mezi odváděným (odpadním) vzduchem a přiváděným (čerstvým) vzduchem. Tepelným čerpadlem se především upravuje teplota a vlhkost vnitřního prostoru domu, a to ohřevem nebo chlazením cirkulačního vzduchu přiváděného do prostoru. Upravený vzduch budou do prostoru přivádět podlahové výustě umístěné po obvodu prostoru. Odpadní vzduch je z prostoru odváděn stěnovými mřížkami. Tímto způsobem se dokáží udržovat správné podmínky tepelné pohody v celém prostoru domu. Řízení a regulaci systému zajišťuje prostorový regulátor umístěný na stěně, která není ovlivněna vnějšími vlivy (především sluneční ozáření). Tento systém přináší úsporu elektrické energie při rekuperačním provozu větrání místností v domě, tak při provozu vytápění/chlazení reverzním tepelným čerpadlem ve výši až 70 %.



Obr. 4 *Graf simulace spotřeby energie na vytápění a chlazení mezi 11. a 18. dnem soutěže v září v Los Angeles (hodinový krok).*

Příprava teplé vody

Příprava teplé vody je zajištěna tepelným čerpadlem vzduch/vzduch s integrovaným zásobníkovým ohřívačem vody a větrací jednotkou. Zdrojem nízkopotenciálního tepla je především odpadní vzduch odváděný z větrací jednotky, a také odpadní vzduch při nárazovém odsávání z koupelny či kuchyňské digestoře. Díky využití těchto vnitřních tepelných zisků, které se běžně odvádí přímo do exteriéru, se docílí další úspory spotřebované elektrické energie na přípravu teplé vody. Nádrž na teplou vodu je navržena o takovém objemu, aby byla během celé soutěže schopná pokrýt jak soutěžní, tak provozní potřebu teplé vody. Zásobníkový ohřívač je opatřen dalším výměníkem pro dodatečné připojení solárního systému. Celý systém akumulace teplé vody je umístěn v technické místnosti a i se všemi rozvody důkladně izolován pro minimalizaci tepelných ztrát.



Obr. 5 *Graf poměrů spotřeby elektrické energie na jednotlivé technologie během soutěže.*

Fotovoltaika

Primárním zdrojem pro napájení domu je fotovoltaický systém umístěný na střeše budovy v horizontální poloze. Budou použity solární monokrystalické panely, které produkují stejnosměrné napětí. Klimatizační systém bude odjištěn samostatným jističem. Zásuvkové a světelné okruhy určené pro koupelnu a kuchyňský kout, budou dále jištěny proudovým chráničem chránicím před nebezpečným dotykem živých částí. Napojení na veřejnou síť bude provedeno přes vstupní AC rozvaděč, kde bude nainstalován čtyřkvadrantový elektroměr zaznamenávající energii dodanou a odebranou ze sítě a příslušné jištění.

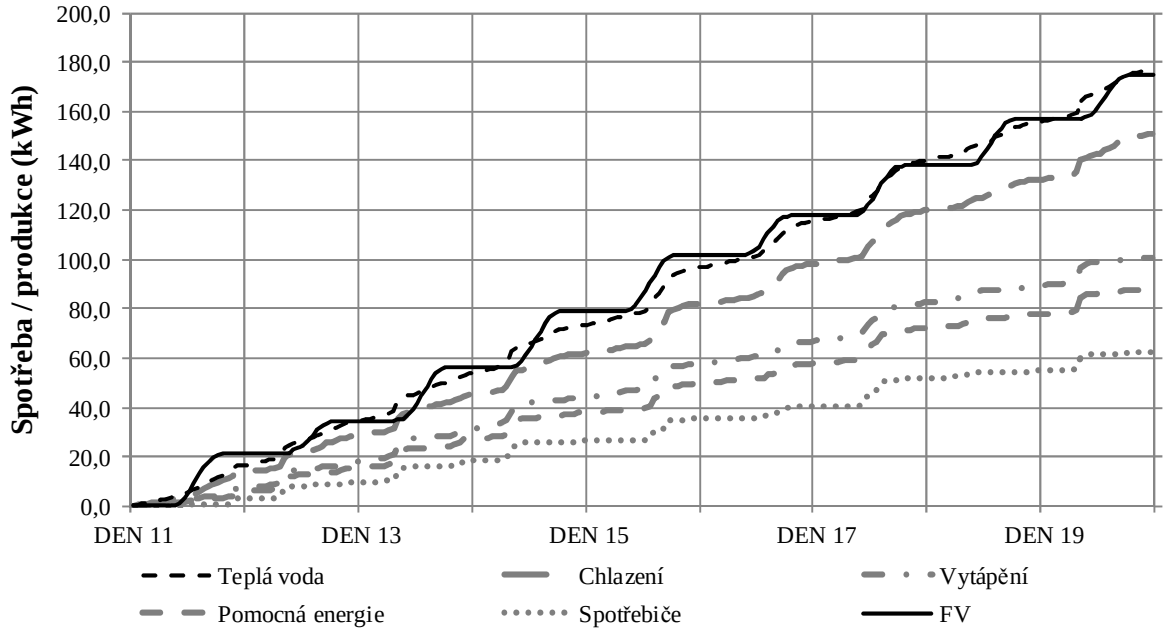
Energetická bilance

Energetická bilance je soutěžní disciplína, kterou ovlivňuje nejvíce faktorů a kde naplno využijeme možnosti počítačových simulací. Již dnes můžeme předvídat spotřebu a výrobu elektrické energie v průběhu všech soutěžních dnů.

Minimální spotřeby elektrické energie bude dosaženo použitím úsporných spotřebičů, vnitřního vybavení a osvětlení s velmi vysokou účinností. Potřebu energie na vytápění minimalizujeme snížením tepelných ztrát prostupem a větráním. Důsledné odstínění solárních zisků a odvedení vnitřních tepelných zisků umožní optimalizaci potřeby chladu. Konečnou

spotřebu energie pro vytápění, chlazení a přípravu TV pozitivně ovlivní použitá tepelná čerpadla vzduch/vzduch s vysokým topným (*COP*) a chladicím (*EER*) faktorem.

Celý systém je navrhován tak, aby spotřeba a výroba elektrické energie byla v průběhu soutěže i za běžného provozu po celý rok průměrně nulová. Naší snahou je vyrobit přesně tolik energie, kolik dům reálně spotřebuje. Testováním domu před jeho transportem do USA budeme optimalizovat všechny systémy pro maximální účinnost.



Obr. 6 *Graf simulace spotřeby a výroby elektřiny během soutěže v září v Los Angeles*

ZÁVĚR

Prvotní vize o celém konceptu domu se postupem času mění. S ohledem na prováděné výpočty, nutnost plnit jak české, tak americké normy, rozpočet projektu a mnoho dalších skutečností, je dům stále ve vývoji. Celý tým se snaží najít optimální variantu, se kterou bude mít šanci na dobré umístění v soutěži. Pro každého člena týmu se jedná o novou zkušenost, jednak díky rozdílným požadavkům na výstavbu v USA a klimatických podmínkám, ale také nutnosti najít vzájemný kompromis v celé šíři technických i netechnických disciplín.

LITERATURA

[1] U.S. Department of Energy Solar Decathlon, *www.solardecathlon.gov/where_now.html*

Tento článek vznikl díky podpoře z doktorského grantu GA ČR 103-09-H095 Udržitelná výstavba a udržitelný rozvoj sídel a Studentské grantové soutěže ČVUT č. SGS12/106/OHK1/2T/11.

UNIVERZITNÍ CENTRUM ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH BUDOV (UCEEB) ČVUT

Antonín Lupíšek[1], Tomáš Matuška[2]

[1] ČVUT v Praze, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov
[2] ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí
antonin.lupisek@fsv.cvut.cz, tomas.matuska@fs.cvut.cz

ANOTACE

Univerzitní centrum energeticky efektivních budov je nově vzniklý interdisciplinární výzkumný ústav ČVUT v Praze zaměřený na energeticky efektivní budovy se zdravým vnitřním prostředím, které jsou zároveň šetrné k životnímu prostředí. Hlavním cílem založení Centra je vývoj technologií pro snížení energetické náročnosti a zefektivnění využívání přírodních zdrojů při nové výstavbě i rekonstrukcích stávajících staveb. Cíle bude dosaženo holistickým přístupem pomocí koncentrace expertních znalostí z oblastí architektury, stavebnictví, strojírenství, informačních technologií a hygieny vnitřního prostředí a špičkového přístrojového vybavení centra. Pro experimenty je typické testování v reálném měřítku, které umožní dosažení spolehlivých informací o funkčních parametrech materiálů, konstrukcí, navrhovaných energetických systémů a systémů inteligentního řízení, včetně jejich dopadů na kvalitu vnitřního prostředí budov, jakož i na životní prostředí. Jako součást centra byl proto navržen energetický systém, který slouží zároveň jako experimentální zařízení pro výzkum interakce zdrojů energie v budovou a nadřazenou energetickou sítí.

ÚVOD

Univerzitní centrum energeticky efektivních budov (UCEEB) je nový ústav Českého vysokého učení technického v Praze. Vznikl ve spolupráci čtyř fakult: Stavební, Strojní, Elektrotechnické a Fakulty biomedicínského inženýrství.

UCEEB bylo zřízeno v rámci Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace MŠMT jako jedno z regionálních vědeckovýzkumných center excelence. Hlavním posláním centra je přispět ke snížení spotřeby energie a zatížení životního prostředí ve stavebnictví. Toho bude docíleno výzkumem zaměřeným na nové technologie pro energeticky úsporné budovy s důrazem na zdravé vnitřní prostředí.

ZÁKLADNÍ ÚDAJE O CENTRU

Umístění UCEEB

Výběr lokality pro umístění Centra probíhal v souladu se zásadami udržitelné výstavby, tedy s důrazem na minimální zábor zemědělsky využitelné půdy. Centrum se v tomto ohledu snaží jít příkladem – pozemek pro výstavbu je brownfieldem v těsném sousedství kladenské Poldovky.

Výzkumné aktivity centra

UCEEB má při svém startu pět základních výzkumných aktivit. Přehled jejich náplně a přístrojového vybavení je v tabulce 1. Výzkumné skupiny soustředěné v aktivitách zastupují jednotlivé aspekty technologií energeticky efektivních budov, zjednodušeně se jedná o architekturu a energetickou náročnost v širším měřítku, energetické systémy, vnitřní prostředí, materiály a konstrukce a inteligentní řízení. Při řešení konkrétních výzkumných úkolů pro průmyslovou sféru budou skupiny podle potřeby úzce spolupracovat v individuálně sestavených týmech.

Tab. 1 *Přehled výzkumných aktivit a přístrojového vybavení UCEEB.*

Architektura a interakce budov s životním prostředím

Výzkumná témata:	*Přístrojové vybavení:*
• Obvodové pláště budov na bázi přírodních a obnovitelných materiálů • Nové tepelně-izolační kompozitní konstrukce • Integrace solárních systémů do obvodových plášťů budov • Energetické sanace budov • Nová generace lehkých prefabrikovaných obvodových konstrukcí • Monitoring energetického potenciálu lokality • Hodnocení životního cyklu budov z hlediska dopadů na životní prostředí • Požární zkoušky nových materiálů a konstrukcí • Akustika	• Mechanická laboratoř • Požární zkoušky • Akustická laboratoř • Tepelně-vlhkostní testy • Klimatické komory • Dlouhodobé ověřování chování konstrukcí v reálném měřítku • Monitorování půdní vlhkosti

Energetické systémy budov

Výzkumná témata:	*Přístrojové vybavení:*
• Decentralizované zdroje energie • Solární soustavy, tepelná čerpadla • Mikrokogenerace, mikroturbíny, organický Rankinův cyklus • Akumulace tepla a chladu • Spolupráce OZE s aktivními palivovými zdroji a nadřazenými sítěmi prostřednictvím inteligentního řízení • Systémy úpravy vnitřního prostředí pro energeticky úsporné budovy • Technické systémy budov s nízkou spotřebou primární energie • Pokročilé metody prediktivního řízení	• Energetická laboratoř • Solární laboratoř se simulátorem slunečního záření • Laboratoř tepelných čerpadel s klimatickou dvojkomorou • Výkonové a spolehlivostní zkoušení solárních kolektorů, tepelných čerpadel, zásobníků energie • Dlouhodobý monitoring soustav OZE • Full scale experimenty na zařízeních energocentra UCEEB (trigenerace)

Kvalita vnitřního prostředí budov

Výzkumná témata:	*Přístrojové vybavení:*
• Vývoj postupů pro zlepšení vnitřního prostředí budov s nízkou a nulovou spotřebou energie s ohledem na zdraví, komfort a pracovní produktivitu • Vývoj pokročilých integrovaných systémů technických zařízení budov zajišťujících kvalitní vnitřní prostředí • Predikce kvality vzduchu a zdravotních rizik ve větraném prostoru, úprava	• Paralelní testovací kabina pro systémy TZB • Skupina pro hybridní větrání se solárním komínem • Testovací linka pro malé vzduchotechnické jednotky a komponenty • Inteligentní místnost s osobním zdravotním systémem

kvality vzduchu • Využití nanomateriálů pro úpravu, detekci škodlivin a monitorování stavu vnitřního prostředí • Osobní zdravotní systémy a pomocné zdravotnické technologie v budovách • Fyzikálně-chemické a biologické vlastnosti materiálů určených pro využití v medicíně	• Laboratoř pro výzkum a vývoj nanomateriálů s antimykotickými a antibakteriálními vlastnostmi • Sada pro monitoring tepelného komfortu a analýzu kvality vzduchu • Laser Dopplerova anemometrie • Klastr počítačů pro CFD simulace

Materiály a konstrukce

Výzkumná témata:	*Přístrojové vybavení:*
• Využití keramického odpadu při produkci nízkoenergetických kompozitních materiálů • Využití nízkoenergetického kameniva v odlehčených pojivových směsích • Ochranné vrstvy na bázi nanotechnologií • Techniky vyztužování a zlepšování vlastností dřeva • Hybridní materiály a konstrukční systémy na bázi přírodních materiálů • Vývoj zdokonalené hydrofilní minerální vlny jako multifunkčního materiálu • Konstrukce s krátkou dobou výstavby	• Statické a dynamické testovací zařízení • TDR zařízení pro měření vlhkosti • Zařízení pro měření sorpce vody • Zařízení pro měření tepelné vodivosti • Rastrovací elektronický mikroskop • Analytická laboratoř, NDT dřeva • Klimatické komory

Monitorování, diagnostika a inteligentní řízení energeticky efektivních budov

Výzkumná témata:	*Přístrojové vybavení:*
• Inteligentní řízení budov a domácností • Prediktivní regulace • Využívání pokročilých technologií měření a regulace • Modelování budov • Adaptace spotřeby energií podle stavu vnější energetické sítě • Inteligentní akumulace energie a její opětovné využití • Aplikace pro průmyslové zdroje tepla • Modelování komunikačních sítí v budovách • Zakázkový vývoj v oblasti senzorové a elektroniky a kompletní realizace systémů pro měření, vyhodnocování a řízení • Senzorové sítě, monitorování a diagnostika dlouhodobých strukturních změn ve stavebních konstrukcích	• Laboratoř pro návrh, realizaci a ladění elektronických a senzorových systémů • 3D tiskové centrum pro tisk funkčních vzorků, obalů elektroniky a elektromechanických součástí • Ground penetrating radar pro inspekci stavebních pozemků, průzkum integrity struktur, vyhledávání dutin a prasklin • Thermal imaging camera • Laboratoř senzorových sítí

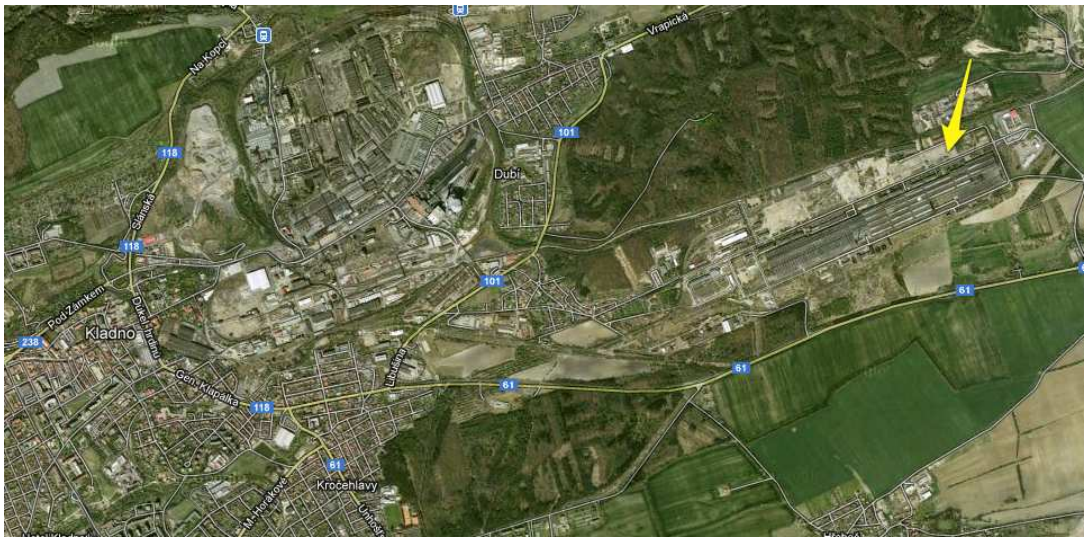
BUDOVA JAKO PŘÍKLAD A EXPERIMENT

Koncept

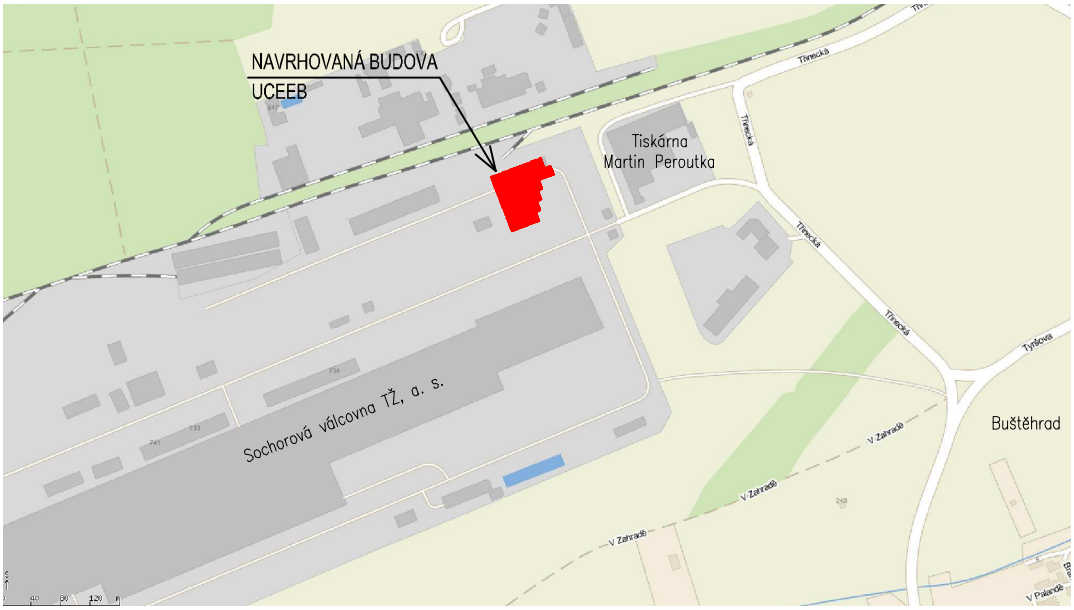
Celá budova centra se snaží jít příkladem a v praxi ukázat nejnovější trendy a dostupné technologie v oblasti energetických úspor ve stavebnictví. Sídlo centra je navrženo v nízkoenergetickém standardu a s využitím přírodních obnovitelných stavebních materiálů (převážně dřeva). Celý objekt centra bude navíc maximálně využit pro experimentální účely, a to včetně budovy samotné.

Umístění

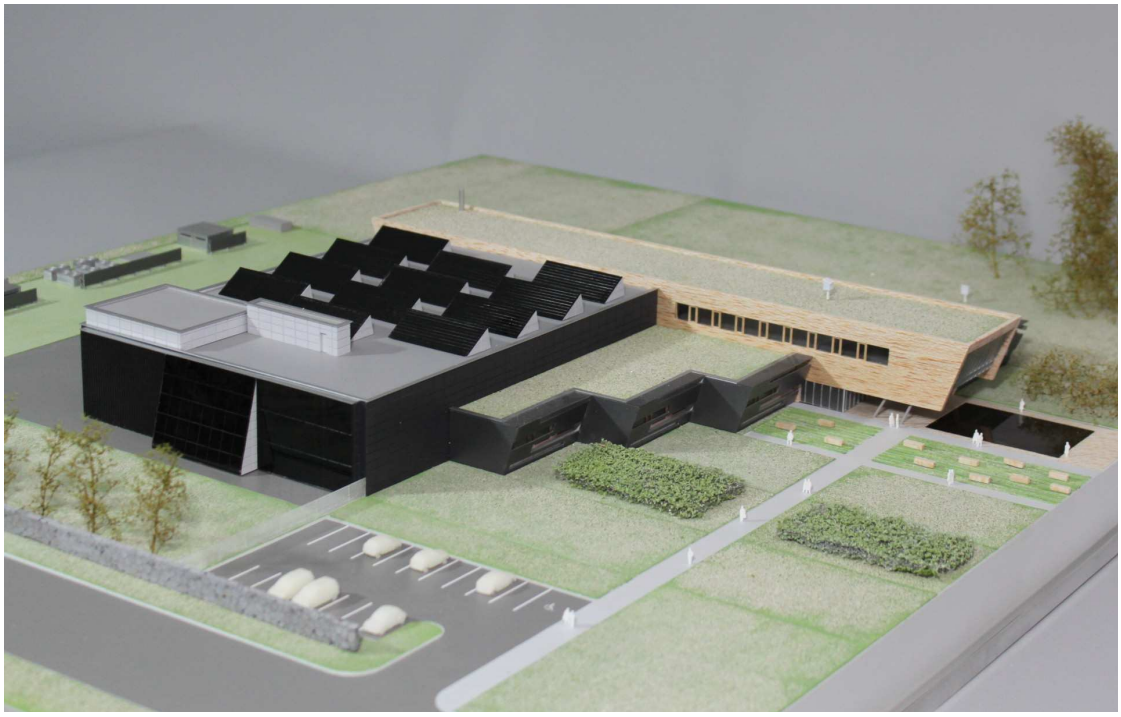
Stavební pozemek je rozdělen na několik částí s různým určením. K východu je orientovaná vstupní část s přístupem pro pěší a parkovištěm zaměstnanců i návštěvníků. Tato část pozemku, ležící mezi komunikací a vlastní stavbou, je veřejně přístupná, s komponovanou parkovou úpravou a vodní plochou, sloužící zároveň jako požární nádrž. Západní část pozemku - za budovou - je oplocena a slouží jako venkovní manipulační i testovací plocha.



Obr. 1 *Lokalita UCCEB – Buštěhrad u Kladna. Zdroj: Google Maps.*



Obr. 2 *Umístění centra na brownfieldu v blízkosti kladenských oceláren. [1]*



Obr. 3 *Model budovy UCEEB*

Architektonická koncepce

Hlavní hmotou budovy je 9 m vysoký blok testovací haly, ke které jsou na severní a východní straně připojeny nižší přízemní části se specializovanými laboratořemi a výukovou místností. Dominantu sestavy tvoří administrativní křídlo, položené - jako dřevěný hranol se šikmo seříznutými čely – ve směru západ východ na střechu laboratoří. [1]

Pro naplnění požadovaného stavebního charakteru jsou v objemovém řešení budovy vytvořeny podmínky orientací stavby ke světovým stranám, zvolením netradičního konstrukčního systému a navržením různých typů obalových konstrukcí. Jednoznačná orientace podélné osy stavby západ – východ umožňuje umístění solárních zařízení na k jihu obrácené části stavby (fotovoltaické články na střešní světlíky haly ve sklonu 34°, vzdušný kolektor o ploše cca 360 m^2 na jižní fasádu haly) a naopak příznivé osvětlení specializovaných laboratoří a testovací haly (světlíky) od severu. I předpokládané technické vybavení budovy je navrženo s ohledem na připravované energetické experimenty. [1]

Pro hlavní nosnou konstrukci bylo demonstračně zvoleno lepené lamelové dřevo a to jak na halovou, přízemní tak i dvoupodlažní část budovy. Dřevo je i hlavním materiálem pro většinu obalových konstrukcí – především pro fasády haly a administrativy. [1]

Důležitou součástí architektonického řešení je i programové využívání zeleně. Mimo sadové úpravy je zeleň i navrhovanou aktivní součástí vlastní budovy – především v podobě extenzivní zeleně na některých střešních konstrukcí, ale také jako popínavá zeleň na severní a východní straně budovy. Tyto obvodové pláště jsou navržené jako vícevrstvé, s poslední vnější vrstvou v podobě kovových, perforovaných nosičů zeleně. [1]

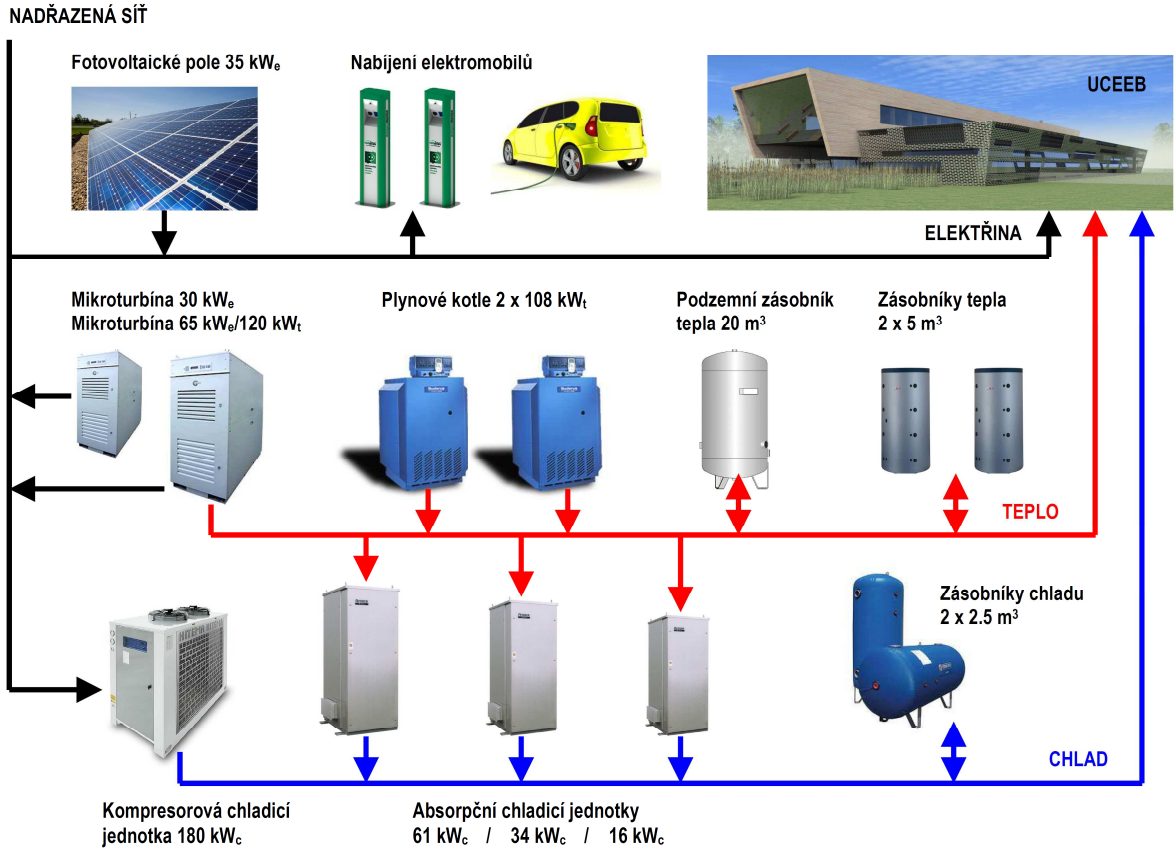
Energetická koncepce

Zásobování budovy energií (elektřina, teplo, chlad) je podřízeno plánovaným výzkumným aktivitám založeným na experimentech v reálném měřítku na konkrétních zařízeních, především v oblasti interakce zdrojů s budovou a nadřazenou energetickou sítí. Návrh nevycházel ze snahy využít maxima obnovitelných zdrojů energie "za každou cenu", ale

efektivně využít zdrojů energie nezbytně nutných pro účely výzkumných aktivit. Obnovitelné zdroje energie zastupuje experimentální pole fotovoltaických panelů o špičkovém výkonu cca 40 kW_p instalovaných na střeše Centra. Panely jsou integrovány do jižní části světlíků na prostoru halové laboratoře. Nicméně, jádrem návrhu energetického centra (energocentra) je kogenerační plynová mikroturbína s výkonem 65 kW_e / 120 kW_t, která může vykrývat výkyvy v dodávce elektrické energie z fotovoltaického systému.

Od efektivního využití tepla produkovaného celoročně mikroturbínou se odvíjí skladba dalších zařízení energocentra. Pro vyrovnání nesouladu mezi produkcí a odběrem tepla bude sloužit tepelně izolovaný velkoobjemový tlakový akumulátor o objemu 20 m^3 instalovaný pod terénem vedle objektu s turbínou a dva akumulátory tepla á 5 m^3 ve strojovně Centra. Každý akumulátor je samostatně odpojitelný pro experimentální využití. Jako záložní zdroj tepla budou instalovány dva plynové kotle na zemní plyn o celkovém tepelném výkonu 216 kW_t. Záložní chlazení plynové mikroturbíny budou zajišťovat suché chladiče umístěné na střeše.

V zimním období bude teplo z mikroturbíny využito pro vytápění budovy a ohřev vody, teplo produkované v letním období bude využito pro chlazení kaskádou tří absorpčních jednotek o chladicích výkonech 16 kW_c, 34 kW_c a 61 kW_c. Nejmenší jednotka je odpojitelná pro experimentální využití pro výzkum v oblasti solárního chlazení. Záložním zdrojem chladu bude bloková kompresorová chladicí jednotka navržená o chladicím výkonu 180 kW_c. Předpokládá se, že absorpční jednotky budou provozovány ve stálém režimu, kompresorové chlazení bude vykrývat špičkové potřeby chladu. Pro absorpční jednotky budou instalovány dva akumulátory chladu á 2,5 m^3. Centrální zdroj chladu (absorpční jednotky, kompresorová jednotka) budou dodávat teplo do rozvodu chlazené vody Centra.



Obr. 4 *Zjednodušené energetické schéma UCEEB*

Energocentrum je potrubím propojeno s laboratořemi výzkumné aktivity RA2 Energetické systémy budov pro účely experimentů v reálném měřítku. Všechna zařízení v energocentru budou monitorována v rámci nadřazeného systému MaR a budou sledovány jejich provozní parametry (produkce a spotřeba energií) pro ověření funkčnosti navržené koncepce a další optimalizace řízení zdrojů.

ZÁVĚR

Plánovaný termín dostavby budovy UCEEB je ve druhém čtvrtletí 2013. Výzkumné aktivity se začínají rozbíhat již od července 2012. Hlavní náplní v úvodní fázi je příprava výzkumných projektů a vypsání výběrových řízení na přístrojové vybavení jednotlivých laboratoří.

LITERATURA

[1] Univerzitní centrum energeticky efektivních budov Buštěhrad - Projektová dokumentace pro výběr zhotovitele, Grebner 2011.

Poděkování: Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT vzniklo díky podpoře Operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace MŠMT, který je financován EU a státním rozpočtem České republiky.

ENERGETICKÁ NÁROČNOST PŘÍPRAVY TEPLÉ VODY A SYSTÉMY ZPĚTNÉHO ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA

Michal Kabrhel

ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra technických zařízení budov
michal.kabrhel@fsv.cvut.cz

ANOTACE

Z rozboru spotřeby energie v moderní obytné budově lze zjistit, že jedním z energeticky nejvíce náročných systémů je systém přípravy teplé vody. Příspěvek se zabývá možnostmi využití odpadního tepla pro přípravu teplé vody v budovách pro bydlení. Tento systém může vhodně doplnit systém přípravy teplé vody s využitím obnovitelných zdrojů energie.

ÚVOD

Moderní energeticky úsporná budova je v řadě případů budovou s poměrně nízkou tepelnou ztrátou prostupem a větráním a s relativně vyšší potřebou tepla na přípravu teplé vody. Jak velká tato hodnota bude, velmi záleží na parametrech budovy. Jedná se o hodnotu relativní a tudíž závislou na více okrajových podmínkách. Nejdůležitějším parametrem je počet osob v budově, což souvisí s velikostí a počtem bytů a jejich obsazeností. Samotnou spotřebu teplé vody dokážeme účinně snižovat pomocí obnovitelných zdrojů energie, především solárních tepelných kolektorů. V některých případech ale tento systém není možné použít. Důvodů může být více. Jedním z nejčastějších jsou prostorové podmínky neumožňující instalaci kolektorů na střechu nebo plášť budovy, orientace nebo stínění budovy.

Jedním ze systémů, který není závislý na vnějších podmínkách je systém získávání tepla z odpadní vody. Tímto systémem lze snížit energetickou náročnost přípravy teplé vody a tím i celkovou energetickou náročnost provozu budovy

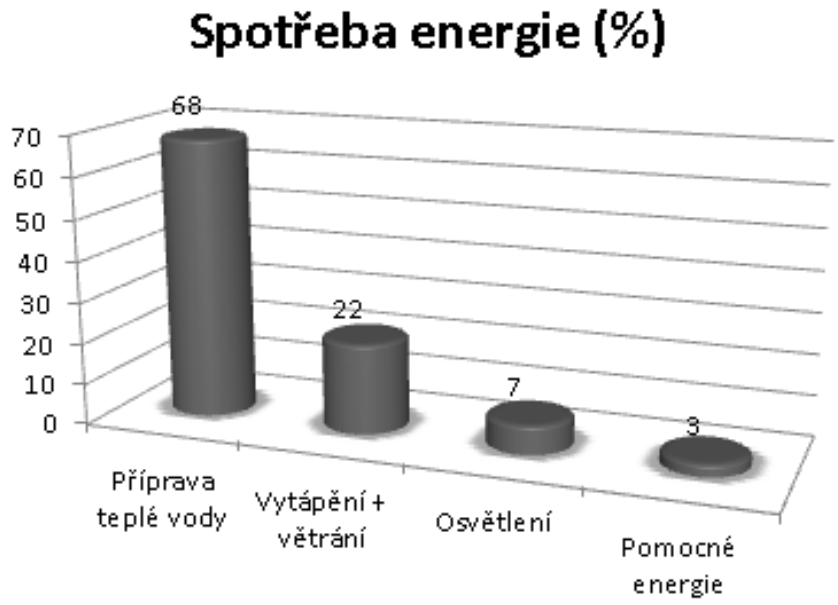
PŘÍPRAVA TEPLÉ VODY

V bytové výstavbě je stále nejběžnějším systémem přípravy TV systém centrální. Z hlediska jeho řešení se může jednat o systém zásobníkový, systém průtokový nebo systém kombinovaný.

Systém zásobníkové přípravy teplé vody doznal za poslední období několika změn. Tepelné ztráty zásobníků jsou známým problémem tohoto systému přípravy TV a opatření k jejich omezení není nikterak složité, dobrá tepelná izolace pláště. Minimální tloušťky tepelné izolace jsou předepsány vyhláškou. Překážkou instalace zásobníkového ohřevu ale mohou být vyšší investiční náklady na realizaci a prostorová náročnost.

Příprava TV v průtokovém výměníku, který v případě dostupnosti dostatečného výkonu umožňuje zajistit navržené množství teplé vody bez nepříjemného efektu tepelných ztrát způsobených ochlazováním pláště výměníku okolním vzduchem, přichází v úvahu u rodinných domů nebo u objektů s malou spotřebou energie, např. administrativních budov. U větších bytových objektů z důvodů potřeby velkého příkonu pak prakticky pouze u systémů CZT.

Snahou využít výhod obou systémů je vytvoření kombinace akumulace a průtočného ohřevu. Akumulační nádrž v tomto případě může mít více funkcí. Systém se podle zapojení může blížit více průtokovému nebo zásobníkovému systému.



Obr. 1 *Energetická náročnost energeticky úsporného bytového domu (% rozložení)*

Z pohledu možnosti využití odpadního tepla vody je nejvýhodnější systém zásobníkový, který umožňuje využívat energii ze zdrojů s přerušovanou dodávkou energie. Zásobníkový systém je také výhodný i pro využití solární energie.

PARAMETRY TEPLÉ VODY

Parametry TV (tedy především její teplota) jsou dle současných požadavků v rozmezí 45 až 60 °C u konečných spotřebitelů s možností jejího krátkodobého poklesu v době odběrové špičky. Požadavky na teplotu teplé vody ale musí být zabezpečeny v době od 6:00 do 22:00. Z hlediska množství TV je stále nejčastěji uvažováno s návrhovou hodnotou 82 l/os.den.

U řady stávajících objektů se projevuje generační rozložení nájemníků, netypické využívání bytů a v tom případě je vhodné vycházet ze skutečných měření spotřeby TV. Zajistit tato měření je možné buď s využitím instalovaných měřících zařízení v objektu nebo pomocí např. ultrazvukového průtokoměru.

Pokud by příprava TV měla být spojena s nízkopotencionálními zdroji energie (např. solárními systémy), je vhodné vycházet při návrhu těchto systémů z reálných běžných hodnot, které leží mezi 25 až 60 l/os.den.

TEPELNÉ ZTRÁTY SYSTÉMU PŘÍPRAVY TV

K tepelným ztrátám dochází jednak při akumulaci TV do zásobníku, dále pak při distribuci TV vlivem ochlazovaní rozvodů okolním vzduchem.

Přestože z hlediska legislativy jsou požadavky na tepelné izolace poměrně přísné, u starších systémů se setkáváme velmi často s tím, že některé prvky, zejména armatury, nejsou tepelně izolovány vůbec. Důvodem je často obtížné provádění izolací, chybějící materiál izolací nebo problémy spojené s poruchami armatur. Zlepšení této situace by mohlo nastat, pokud by součástí armatury byla již snímatelná tepelná izolace.

SYSTÉMY ZPĚTNÉHO ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA

Systém využívání tepla z odpadní vody může být řešen na několika úrovních. První nejjednodušší variantou je řešení lokálního využití energie teplé vody přímo u zařizovacího předmětu. V úvahu pak přichází v bytové výstavbě zejména sprcha, částečně pak umyvadlo.

V případě použití zařízení pro více zařizovacích předmětů se nabízí využití vody pro předehřev studené vody přiváděné do zásobníku teplé vody. Technologicky se jedná zpravidla o výměník tepla umístěný kolem kanalizačního potrubí nebo zpožďovací nádrže na odtoku vody do kanalizace.

Jiným řešením pak je využití výměníku instalovaného v přerušovacím zásobníku odpadní vody z vany a sprchy. Zařízení je použitelné zejména pro budovy s větším množstvím sprch.

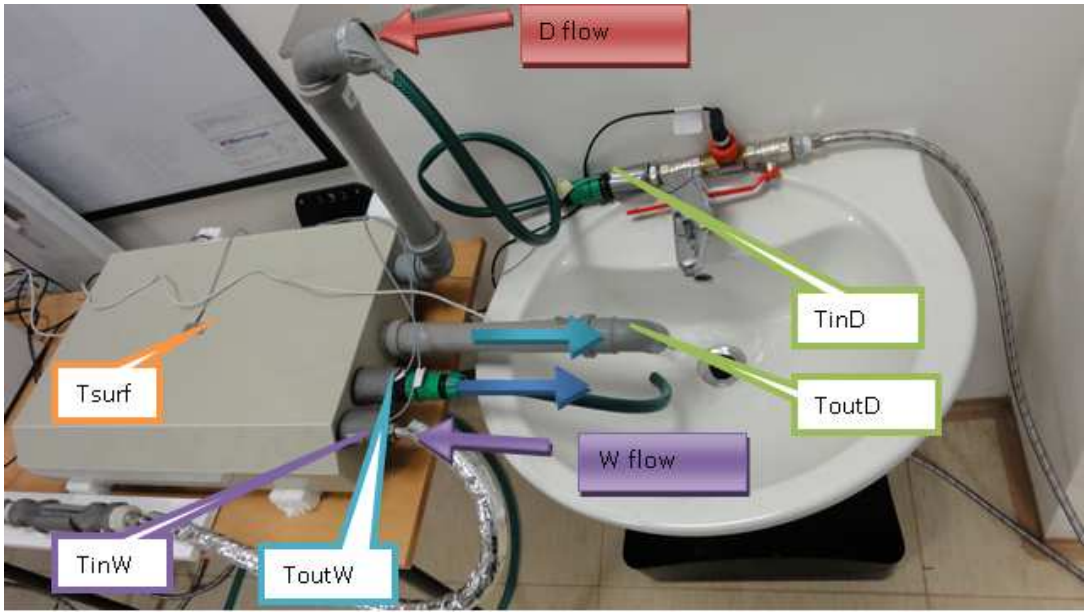
PARAMETRY PRŮTOKOVÉHO VÝMĚNÍKU TEPLA

Technické řešení u sprchy v tomto případě představuje systém, kdy je na odtoku teplé vody ze sprchové vany umístěn výměník tepla, který zbytkovým teplem odpadní vody ohřívá přiváděnou studenou vodu. Výměník však musí mít poměrně velkou teplosměnnou plochu. Vhodné je použití termostatické baterie, která umožňuje automaticky regulovat teplotu smísené vody. Studená voda je dle konstrukce výměníku ohřívána o 10 až 15 K.

Parametry průtokového výměníku vhodného pro sprchu byly experimentálně ověřovány autorem příspěvku. Cílem měření bylo popsat chování výměníku při odběru vody.

Výměník tepla má tyto vlastnosti:

- skříň výměníku je svařená z 5 mm plastu
- vlastní těleso výměníku je měděné
- čisté rozměry skříně: 560 mm x 405 mm x 100 mm
- připojovací potrubí přečnívá na čelní straně o 65 mm
- připojení odpadní strany DN 40. Připojení vody G1/2“
- maximální pracovní teplota 90 °C, tlak 6 bar



Obr. 2 *Lokální rekuperační výměník tepla pro průtokový předehřev vody*

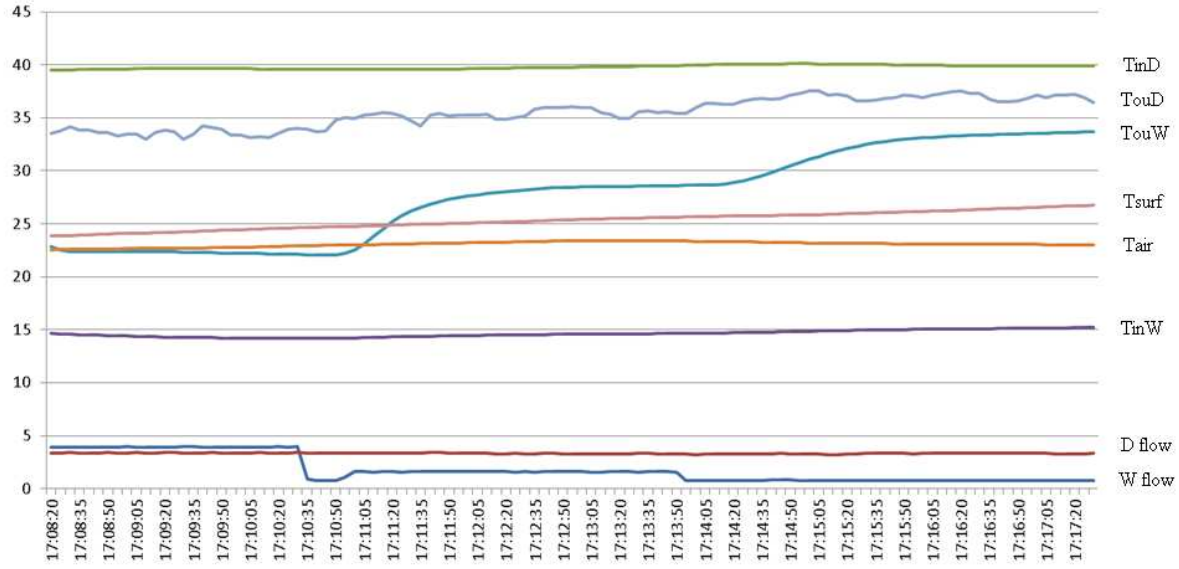
Výměník byl zapojen na přívod studené vody (TinW), která byla ve výměníku ohřívána (ToutW). Voda přitékající do výměníku jako kanalizace (TinD) byla čistá voda o proměnlivé teplotě vytvořené mícháním teplé a studené vody. Jako měřicí zařízení byla použita sestava dataloggeru a čidel firmy Ahlborn. Teplota vody a teplota povrchu výměníku (Tsurf) byla měřeny pomocí příložných čidel umístěných v blízkosti výměníku. Příložná čidla pro určení teploty vody byla umístěna na mosazné nátrubky s dobrou tepelnou vodivostí. Teplota vody odtékající do kanalizace byla měřena informativně čidlem umístěným přímo do proudu odtékající vody (TouD). Průtok vody byl měřen pomocí vrtulkových průtokoměrů (Wflow). U průtokoměru měřícího kanalizační vodu (Dflow) byla nižší přesnost z důvodu nedodržení rovného úseku bez ohybů ve vzdálenosti 10x průměr potrubí. Tento vliv by mohl způsobovat chybu v měření do 10 %. Teplota vzduchu byla měřena ve vzdálenosti 5 cm od výměníku. V průběhu experimentů ležela v rozmezí 19 až 25 °C.

VÝSLEDKY MĚŘENÍ

V experimentu bylo měřeno zvýšení teploty vody při různých průtocích vod. Měněn byl průtok vody Wflow (3,4 – 1,6 – 0,8 l/min) při zachování konstantního průtoku vody do kanalizace Dflow = 3,3 l/min o teplotě 40 °C. Teplota studené vody TinW se z původních 15 °C zvýšila na 22 – 28,6 – 33,4 °C).

Energeticky je možné vyjádřit přínos výměníku pomocí kalorimetrické rovnice. Při ohřevu 15 litrů studené vody o 14 K je energetický přínos výměníku 0,24 kWh. Tuto hodnotu je nutné násobit počtem použití a množstvím vody, která je využívána v zařizovacím předmětu. Pokud by tedy v průměrné rodině se čtyřmi osobami 2 osoby použily sprchu 2 x denně a 2 osoby 1 x denně, množství energie získané výměníkem za den by bylo 1,44 kWh.

Přínos výměníku tepla je nezanedbatelný a v případě častějšího užívání spotřebiče umožňuje rychlou návratnost investice. Při plánování investice je třeba brát v úvahu také náklady například na termostatickou směšovací baterii a provozní náklady na údržbu výměníku.



Obr. 3 *Chování výměníku tepla*

ZÁVĚR

Je zřejmé, že zařízení pro zpětné získávání tepla z odpadní vody se velmi dobře hodí tam, kde jsou velké průtoky teplé vody. Příkladem mohou být sprchy na sportovištích, v hotelech nebo hostelech. Zde je energetický přínos zpětného získávání tepla významný. Před praktickým

použitím v bytové výstavbě je doporučeno ověřit skutečnou četnost užívání daných zařizovacích předmětů. Tento systém je možné kombinovat se solárním systémem pro přípravu teplé vody.

LITERATURA

[1] KABRHEL M. Snižování energetické náročnosti přípravy teplé vody. In Alternativní zdroje energie 2010. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2010, s. 65-69. ISBN 978-80-02-02241-1.

[2] KABRHEL M. Využití odpadního tepla v solárním systému obytné budovy. In Vykurovanie 2010. NITRA: SSTP - Slovenská společnost pro techniku prostředí, 2010, díl 1, s. 347-350. ISBN 978-80-89216-32-1.

[3] KABRHEL M. Optimalizace systému pro přípravu teplé vody In: Zborník prednášok zo 16. medzinárodnej konferencie Vykurovanie 2008. Bratislava: Slovenská spoločnost pro techniku prostredia, 2008, s. 317-320. ISBN 978-80-89216-19-2.

[4] KABRHEL M. Fotovoltaické a Fototermické systémy v malých instalacích In: Vykuronie 2009. NITRA: SSTP - Slovenská společnost pro techniku prostředí, 2009, díl 1, s. 315-319. ISBN 978-80-89216-27-7.

[5] KULHÁNEK F., KABRHEL M., URBAN M., ADAMOVSKÝ D., ŠMELHAUS P. (ed.) Nízkoenergetické a pasivní domy - návrh a realizace**.** 1. vyd. Praha: Verlag Dashöfer, 2009. 354 s.

[6] Vyhláška 194/2007 Sb. kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům

[7] Firemní materiály firmy Sakal. Online [http://www.sakal-ovt.cz]

Příspěvek vznikl za podpory grantu ČVUT SGS10/234/OHK1/3T/11.

PASIVNÍ DOMY KOBEROVY – MĚŘENÍ SPOTŘEB ENERGIÍ

Zdeněk Zikán

ATREA s.r.o.
poradenstvi@atrea.cz

ANOTACE
Příspěvek krátce popisuje realizovaný soubor 13 pasivních domů v obci Koberovy a seznamuje s realizovaným měřením spotřeby energií v obytném souboru za období 3 let (2009-2011), Měření splňuje požadavek ČSN EN 15603 – a je prvním souhrnným realizovaným měřením pasivních domů v ČR.

V článku jsou popisovány výsledky měření spotřeb energií a mikroklimatu ve vybraných domech souboru a některé výsledky od počátku realizace objektů. Zajímavostí jsou mikroklimatická data vnitřního prostředí, jež ukazují, že při minimálních nárocích na energie je možno mít kvalitní vnitřní prostředí.

ÚVOD

V obci Koberovy byl realizován firmou ATREA s.r.o. projekt výstavby obytného souboru 13 objektů pasivních domů. Obytný soubor byl dokončen v srpnu 2007. Jedná o stavby s dřevěným nosným konstrukčním systémem firmy ATREA s.r.o. Koncepce domů je řešena ve standardu pasivního domu s výpočtovou měrnou potřebou tepla na vytápění do 15 kWh/(m^2.a). Plocha prosklení hlavního obytného prostoru, jež je umístěn u jižní fasády, a je obvykle propojen s kuchyní a jídelnou, dosahuje více než 30 % a je proti letnímu přehřívání kryta konzolovým přesahem střechy. Na severní straně jsou vstupní, sociální a technické prostory, schodiště a mimo tepelnou obálku budovy navazující přístřešky pro auto a zahradní kůlna.

Obvodové stěny tloušťky 400 mm jsou konstruovány tak, aby s tepelnou izolací dosahovaly součinitele prostupu tepla U = 0,1 W/(m^2.K). Důsledně jsou eliminovány všechny tepelné mosty. Okenní konstrukce mají dřevěné rámy a trojité zasklení, které dosahuje hodnoty součinitele prostupu tepla U_g = 0,5 W/(m^2.K); velké okenní plochy v přízemí jsou s pevným zasklením.

Pro zajištění tepelné pohody a kvalitního mikroklimatu je v těchto pasivních domech použito teplovzdušné vytápění a větrání s rekuperací tepla pomocí dvouzónového systému s rekuperační teplovzdušnou jednotkou Duplex RB. Jednotky jsou v převážné většině objektů napojeny na zemní cirkulační výměník tepla, který se využívá pro letní přetlakové nebo cirkulační chlazení a zimní předehřev větracího vzduchu. Teplovzdušné jednotky pracují v několika režimech. Rozlišují se tři režimy zimní a dva letní. V zimě jednotky pracují v režimu samotné cirkulace, v režimu větracím nebo v režimu cirkulace s větrání dohromady. Vždy buď bez dohřevu vzduchu nebo s dohřevem, pokud je nutno pokrývat tepelné ztráty objektu z jiných než vnitřních zdrojů.

Jako zdroj energie v Koberovských objektech jsou použity integrované zásobníky tepla IZT 615 (objem 615 l). Hlavní energií, která je akumulována v IZT, je energie ze solárního okruhu (jeho hlavní využití je především v letním období) a energie z krbových kamen na kusové dřevo s teplovodní vložkou (hlavní využití je naopak v zimním období). Záložním zdrojem na období, kdy nesvítí Slunce a uživatelé nejsou ochotní si zatopit v krbových kamnech, je elektrická energie. IZT je zároveň elektrokotlem. Otopná voda z IZT 615 ohřívá teplovodní registr větrací jednotky a otopné žebříky v koupelnách. Průtočně ohřívaná teplá voda je

vedena přímo do hygienických zařízení a dále přes samostatný termostatický ventil do myčky nádobí a pračky, kde zajišťuje další úsporu přímotopné elektrické energie.

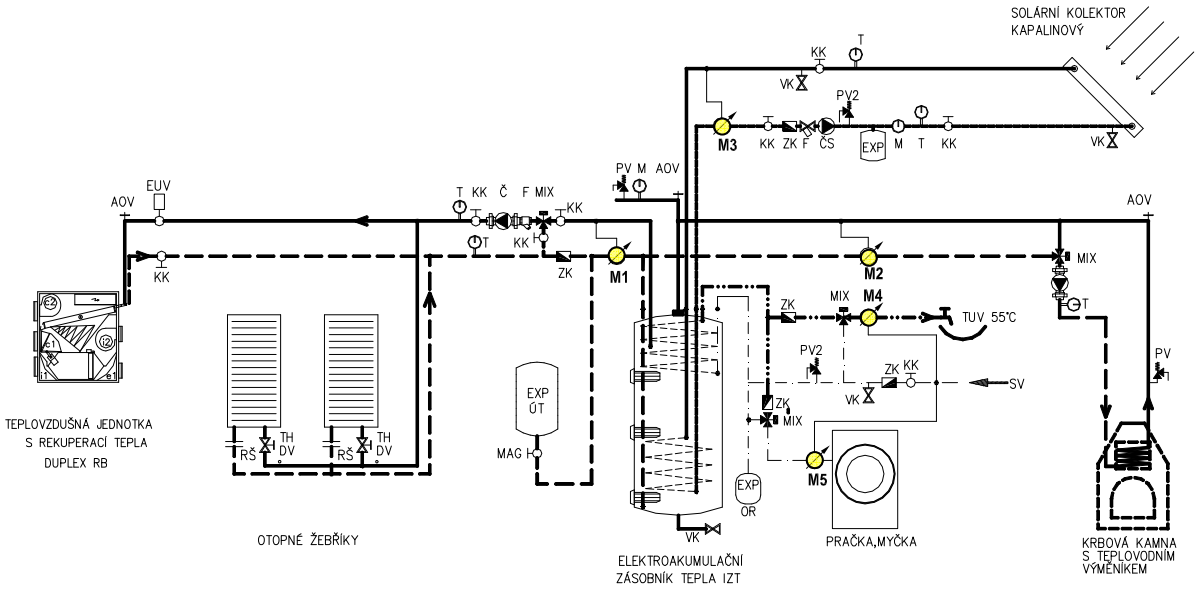
MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ SPOTŘEB ENERGIÍ U DVOU DOMŮ A MĚŘENÍ MIKROKLIMATU V JEDNOM Z TĚCHTO DOMŮ

Po dokončení výstavby a zabydlení nových obyvatel obce byl zájem provádět dlouhodobá měření spotřeby energií u jednotlivých domů. Vzhledem k tomu, že ne na všech domech mohly být instalovány drahé měřicí přístroje, jsou prováděna podrobnější měření na 4 domech a na ostatních domech jsou vyhodnocovány jen celkové spotřeby. U dvou vybraných domů je navíc prováděno další detailnější měření některých teplot, relativní vlhkosti, spotřeby teplé vody, atd.

Použité měřicí přístroje

Pro měření množství energie jsou použity měřící kalorimetry Supercal 539, teplotní čidla PT 100, kombinované čidlo na teplotu a relativní vlhkost. Jejich umístění v energetickém schématu domu je na obrázku 1.

Kalorimetrické počítadlo Supercal 539 je stanovené měřidlo, které slouží k vyhodnocení množství dodané nebo odebrané energie v otopných a chladicích systémech na základě vyhodnocení průtoku otopného nebo chladicího média a teploty média na přívodu a zpětném potrubí podle kalorimetrické rovnice. Supercal 539 je měřič tepla kompaktního provedení, který v jediném celku integruje tři části – průtokoměr s integrovaným teploměrným čidlem, teploměrné čidlo pro montáž v přívodu a kalorimetrické počítadlo s bateriovým napájením vybavené mnoha pokročilými funkcemi a možnostmi komunikace s nadřízenými systémy.



Obr. 1 *Schéma zapojení energetického systému domu s osazenými kalorimetry – M1 až M5 umístění jednotlivých kalorimetrů v energetickém systému domu*

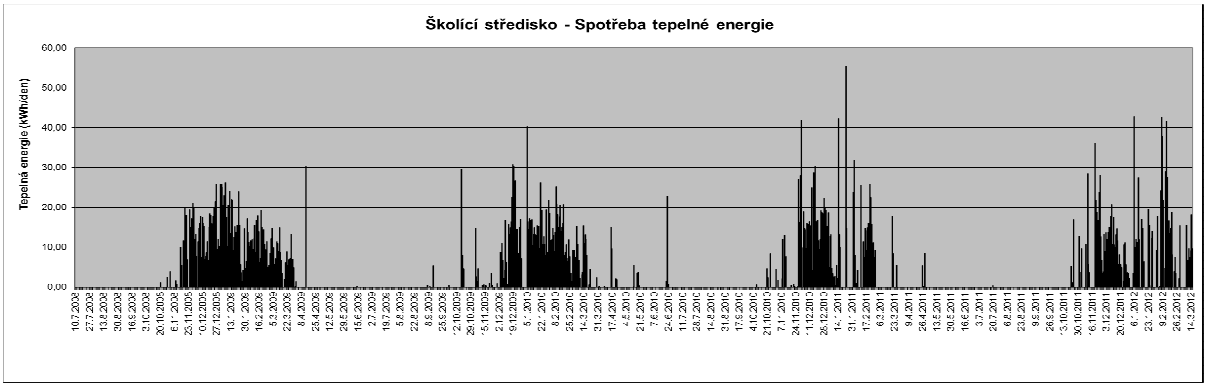
Dále jsou prováděny odečty elektrické energie na patě domu a odečet na elektroměru IZT – viz obrázek 2. Jednotlivé měřené hodnoty z kalorimetrů a instalovaných čidel jsou předávány v reálném čase (vždy po 10 minutách) pomocí wifi sítě do počítačové ústředny – viz obrázek 3 a je možno je následně vyhodnocovat. Měření spotřeby elektrické energie je prováděno osobním odečtem.

Obr. 2 *Měření spotřeby elektrické energie na patě domu a měření elektrické energie pro IZT*

Obr. 3 *Kalorimetr Supercal 539, počítačová ústředna pro archivaci dat, měřící ústředny MS Data logger a Delta Sol Regulus*

Výsledky měření

Ukázky dlouhodobých měření jsou uvedeny v grafech na obrázcích 4 až 13.



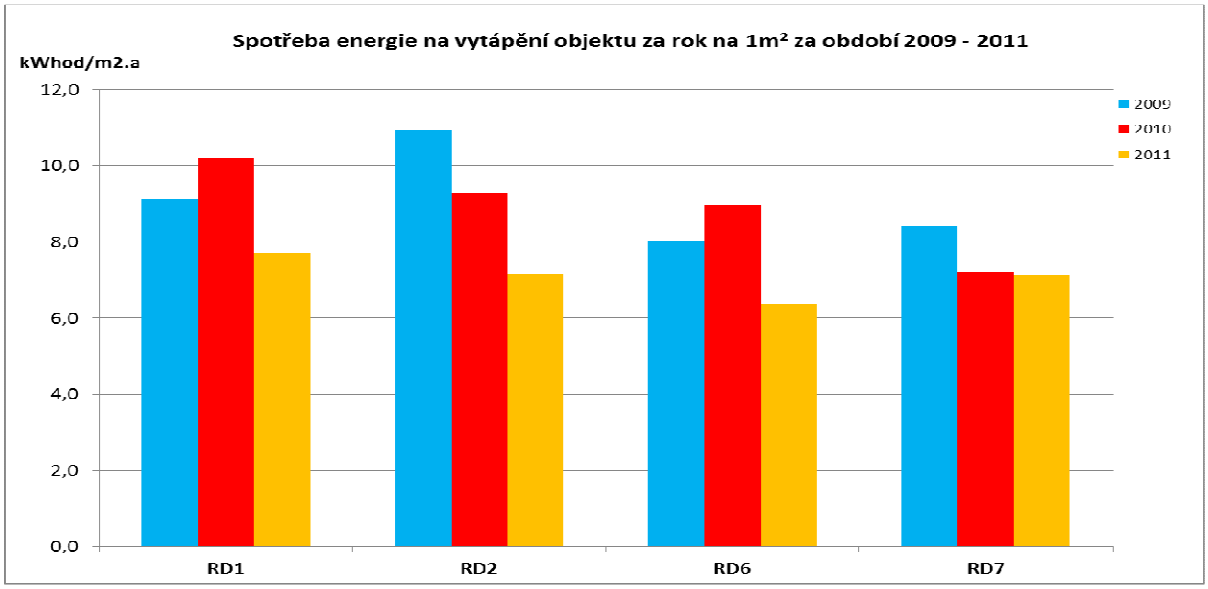
Obr. 4 *Spořeba tepelné energie na vytápění školicího střediska Koberovy 2009 - 2011*

Prvním hodnoceným obdobím od doby namontování měřicích přístrojů je období roku 2009. V této době bylo ve dvou domech instalováno měření spotřeby teplé vody ve dvou okruzích a proto bylo možno vyhodnotit i spotřeby energie na samotné vytápění objektů. U objektů RD3 a RD4 není instalováno měření teplé vody a je proto odečteno z rozdílu mezi spotřebou celkové energie a měřené energie na vytápění. Celkové spotřeby energií u čtyř podrobněji měřených domů za období roku 2009-2011 jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 *Tabulka spotřeb energií za roky 2009 - 2011*

		RD 1	RD 2	RD 3	RD 4
Celková spotřeba na vytápění	kWh	3 567,2	3 838,9	4 232,5	3 630,6
Spotřeba na TUV	kWh	6 099,9	3 976,5	5 971,7	5 782,4
Spotřeba TUV na pračku a myčku	kWh	1 253,7	219,0	není rozděleno – TUV celkem	není rozděleno – TUV celkem
Celková spotřeba tepelné energie	kWh	10 920,8	8 034,4	10 204,2	9 413,0
Celková spotřeba el. energie na vytápění na m^2 a rok	kWh/(m^2.a)	9,0	9,1	7,8	7,6

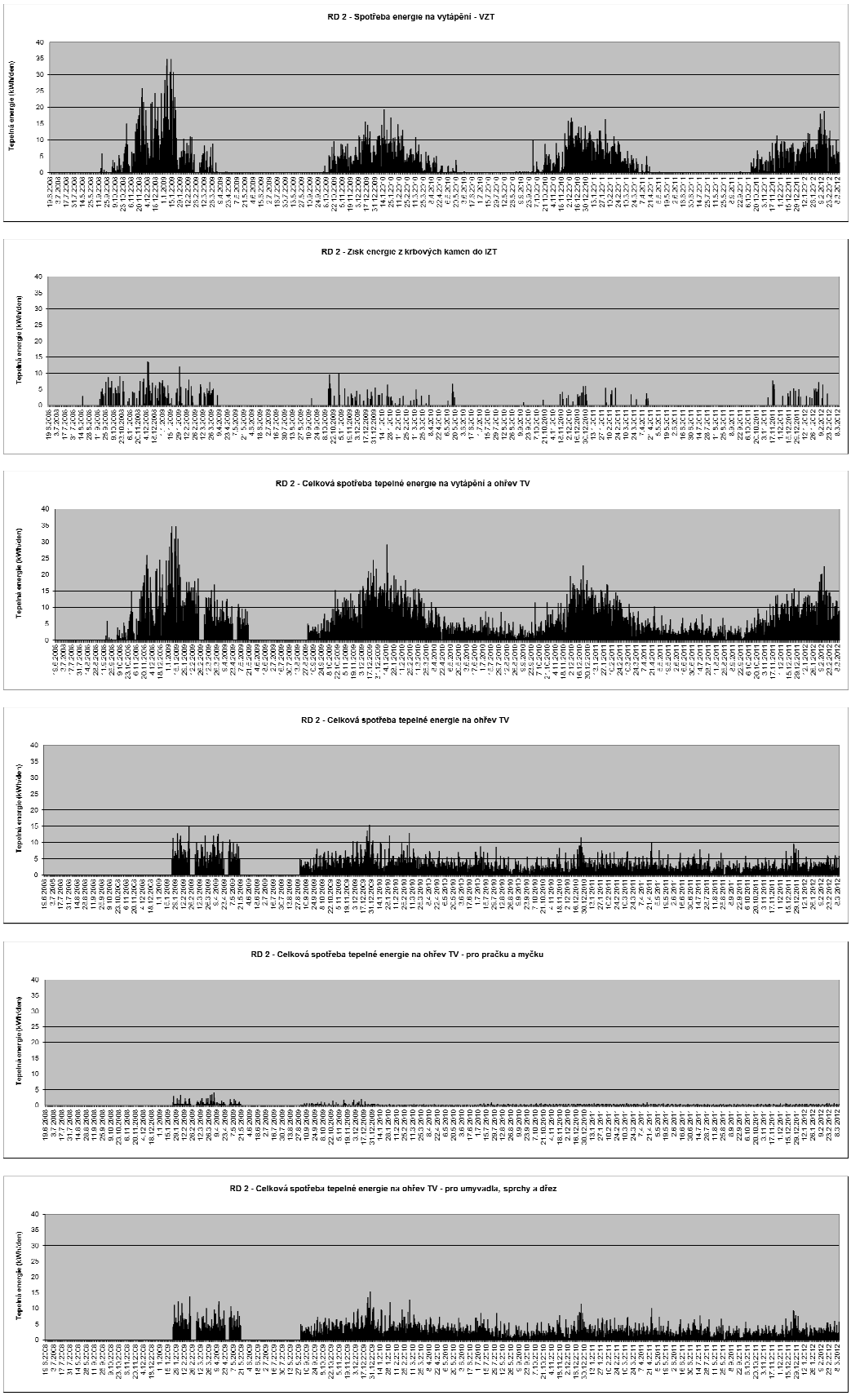
Vývoj spotřeb energie na m^2 plochy za rok v průběhu let 2009 – 2011 ukazuje graf na obrázku 5.



Obr. 5 *Vývoj spotřeby energie na vytápění na 1 m^2 za rok v období 2009 - 2011*

U dvou domů probíhá podrobnější měření u rozdělení spotřeby teplé vody. V domech jsou instalovány dva okruhy teplé vody. Do umyvadel, sprch, dřezu a druhý okruh je pro pračku a myčku.

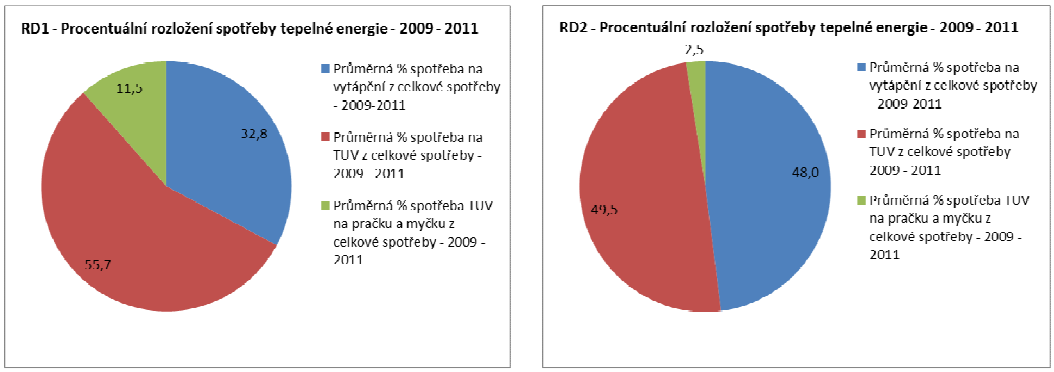
V porovnání se stejnými měřítky grafů na obrázku 6 jsou patrné zisky a spotřeby energie pro jeden dům v rámci celého měřeného období.



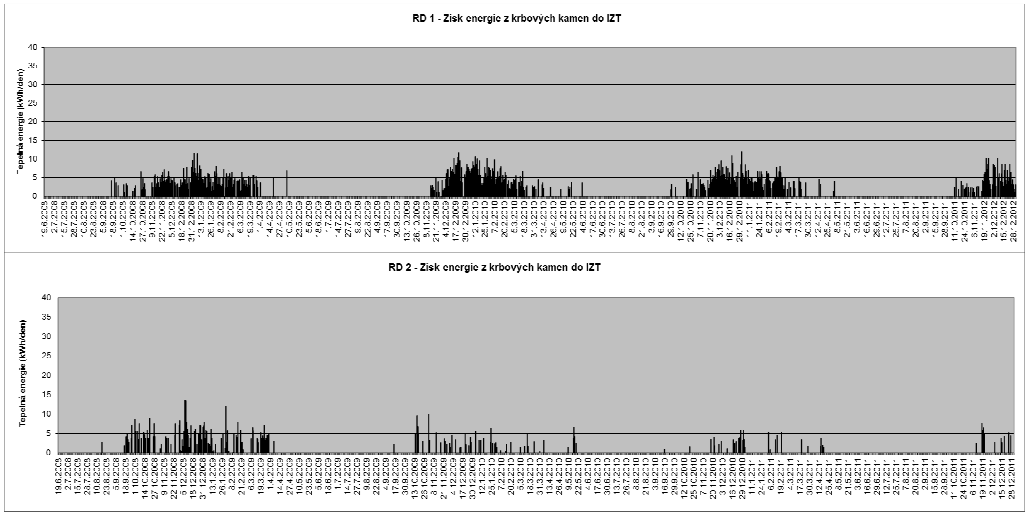
Obr. 6 *Spotřeby energií v RD 2*

Obdobné grafy jako na obrázku 6 jsou k dispozici pro druhý měřený objekt RD1. Součty a porovnáním těchto měření u dvou měřených domů za uvedené období vyplývají různorodé

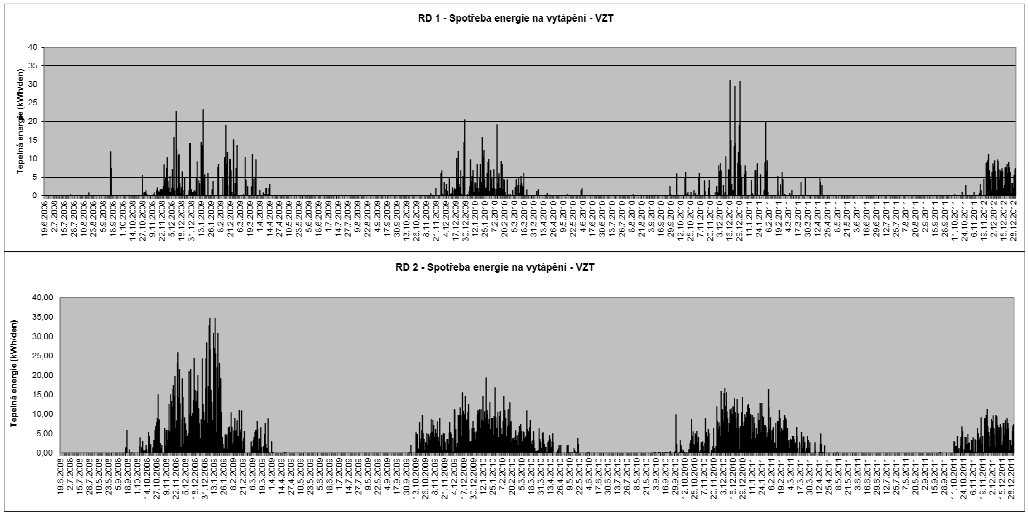
způsoby užívání téměř shodných objektů vyplývající z různosti obsazení (2 dospělí se dvěma dětmi – rodiče v práci a děti ve škole nebo školce u prvního domu a 3 dospělí s trvalým celodenním využíváním objektu, viz obrázek 7).



Obr. 7 *Procentuální spotřeba tepelné energie*



Obr. 8 *Zisky z krbových kamen RD 1 a RD 2*

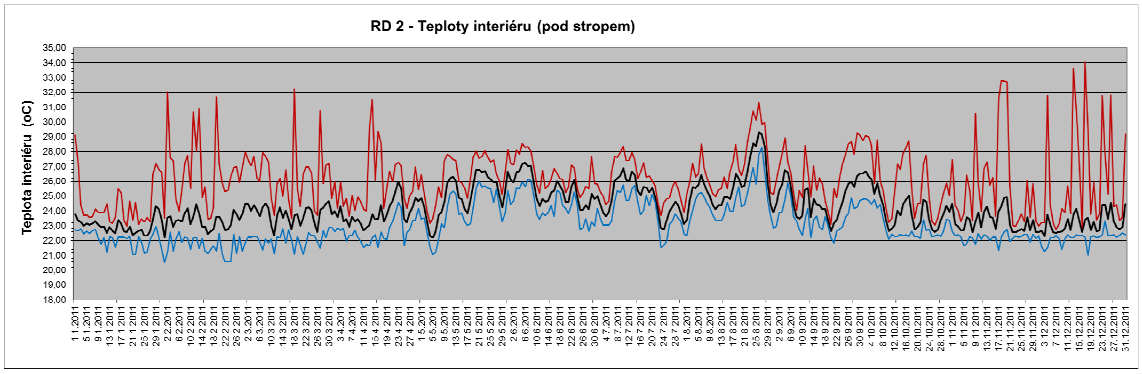


Obr. 9 *Spotřeba energie v topném systému VZT*

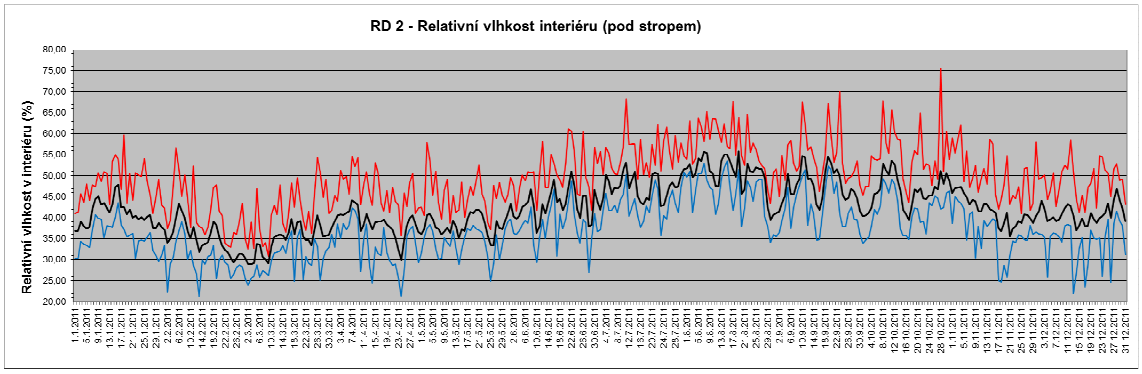
Různost využívání energie lze také dokladovat využíváním krbových kamen nebo získáváním tepelné energie pomocí elektroohřevu v integrovaném zásobníku v zimním období (viz grafy

na obrázcích 8 a 9). Z grafů vyplývá, že pro zisk tepelné energie se v domě RD1 využívá více energie z krbových kamen, kdežto v domě RD2 se více využívá energie z akumulační nádoby a tedy i elektřiny.

Grafy na obrázcích 10 a 11 ukazují mikroklimatické podmínky v domě za rok 2011. Jsou to jak průměrné teploty, maximální a minimální daného dne, tak také průměrná denní relativní vlhkost a maximální či minimální toho dne. Při podrobnějším zkoumání např. velké odchylky maximální teploty od průměru (velká odchylka od průměru znamená, že maximum bylo po krátkou dobu) můžeme zjistit, že většinou toto nastalo při používání krbových kamen, které byly pořízeny krátce po nastěhování a neodpovídají svojí konstrukcí a výkonem pro pasivní domy. Do dnešního dne stále ještě na trhu není výběr vhodných krbových kamen s teplovodními výměníky, které by byly určeny pro používání v pasivních domech.



Obr. 10 *Průměrná, maximální a minimální teplota daného dne v roce 2011*

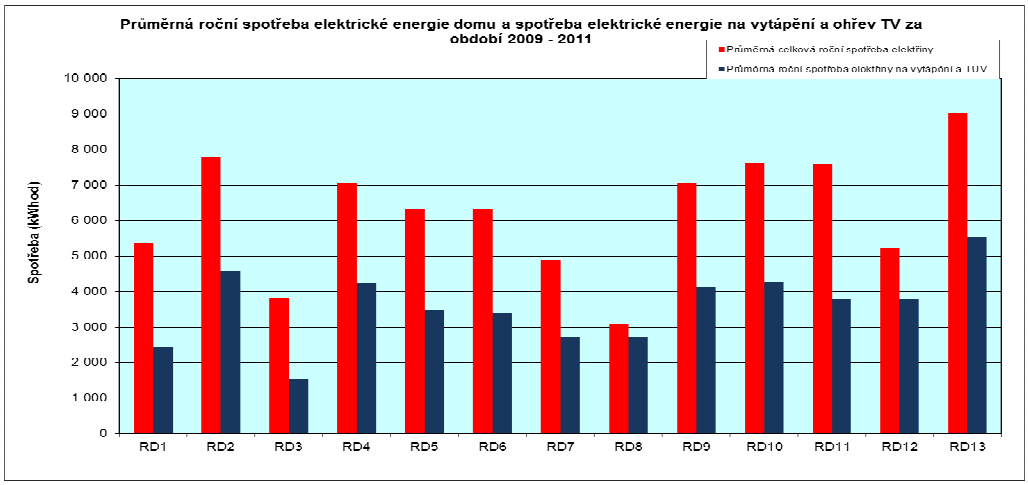


Obr. 11 *Průměrná, maximální a minimální relativní vlhkost daného dne v roce 2011*

Rovněž je nutno si uvědomit, zejména u měření teploty, že teplotní a vlhkostní čidlo je umístěno pod stropem místnosti.

MĚŘENÍ CELKOVÉ SPOTŘEBY ELEKTRICKÉ ENERGIE A ELEKTRICKÉ ENERGIE POUŽITÉ PRO VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVU TV U VŠECH DOMŮ

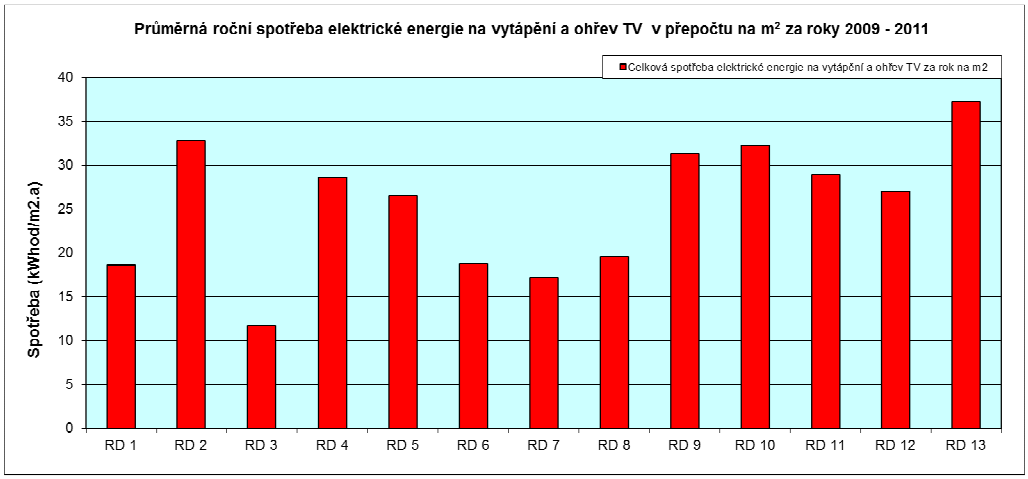
U ostatních domů jsou prováděny pouze odečty celkových energií na vytápění a ohřev TV společně – viz graf přepočtených hodnot na m^2 za rok. V grafu na obrázku 12 je názorně vidět různý způsob využití všech objektů. U objektů 3, 7, 8 a 12 je nižší spotřeba dána menším množstvím osob v objektu a menším využitím (počet hodin přítomností obyvatel). Objekt 6 je školicí středisko, které má jiný způsob využití.



Obr. 12 *Průměrná roční celková spotřeba el. energie u jednotlivých objektů za období 2009 – 2011*

Rozdíl mezi hodnotami v grafu na obrázku 12 (mezi celkovou spotřeba el. energie a IZT) ukazuje na spotřebu elektrické energie na jiné činnosti v domě (osvětlení, počítače, vaření atd.). Pokud je jako např. u domu RD 8 nebo 12 minimální, znamená to, že objekt je málo využívaný. To odpovídá realitě. Dům RD 8 je ukázkovým domem, kde nikdo nebydlí a rozdíl je dán jen v občasném osvětlení domu. Dům č. 12 je pouze občasně používán. U domů RD 3 a RD 7 byli majitelé delší dobu v zahraničí.

Graf na obrázku 13 pak ukazuje přepočet hodnot spotřeby elektrické energie v IZT na 1 m^2 vytápěné plochy.



Obr. 13 *Průměrná roční spotřeba elektrické energie na vytápění a ohřev TUV za období 2009 – 2011*

MĚŘENÍ FOTOVOLTAICKÉHO SYSTÉMU NA ŠKOLICÍM STŘEDISKU A VYHODNOCENÍ SPOTŘEB ENERGIÍ ŠKOLICÍHO STŘEDISKA

Jeden z domů v souboru pasivních domů Koberovy je školicí středisko firmy ATREA s.r.o. Na jeho střeše je instalován fotovoltaický systém s výkonem 8,5 kW_p (64 ks FV panelů KYOCERA), jehož celoroční produkce elektrické energie je distribuována do veřejné sítě (viz obrázek 14).

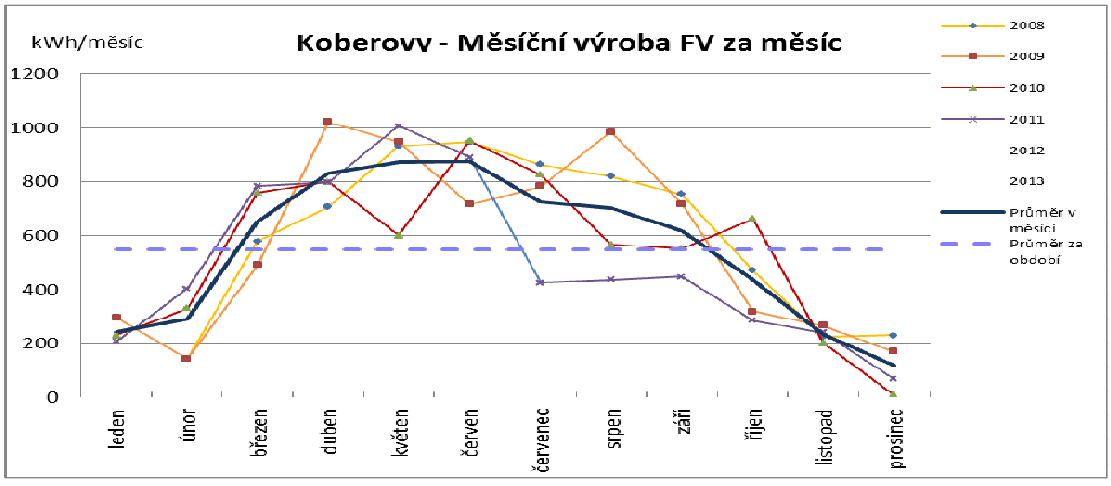
Obr. 14 *Fotovoltaická elektrárna školicího střediska Koberovy*

Měření produkce fotovoltaického systému probíhalo a probíhá dvěma způsoby: pravidelnými odečty na elektroměru předávající energii do veřejné sítě a měřením na fotovoltaických panelech.

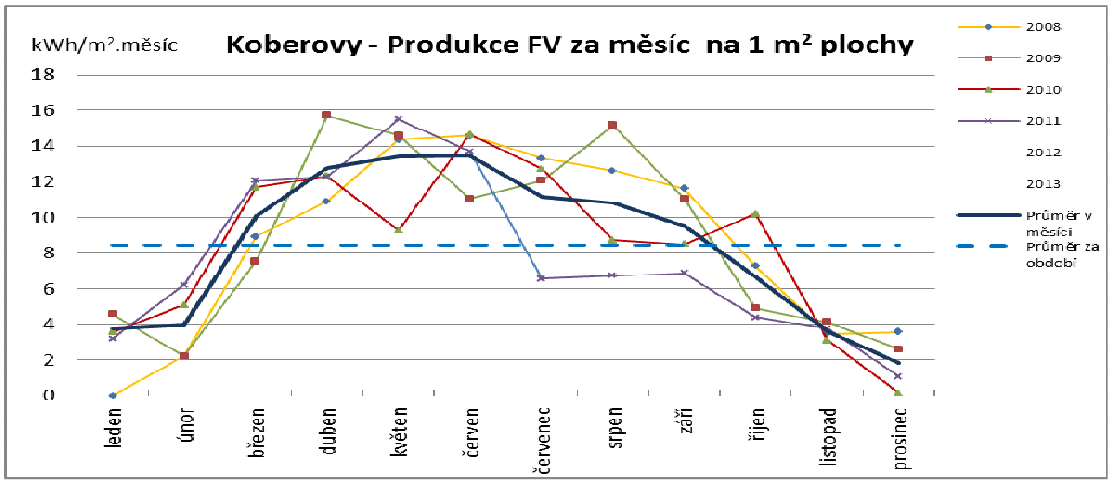
Tab. 2 *Výroba elektrické energie ve fotovoltaické elektrárně v letech 2008 až 2011*

Rok	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**
Období	20.2. – 31.12.	1.1. – 31.12.	1.1. – 31.12.	1.1. – 31.12.
Vyrobená a předaná energie - kWh	6 682	6 860	6 500	6 003

Od února 2008 do 31. prosince 2011 tyto panely vyrobily a do sítě dodaly celkem 26 045 kWh elektrické energie. V porovnání s celkovou spotřebou energie objektu v daném časovém intervalu, tedy od počátku používání fotovoltaiky do 31. prosince 2011, která byla 26 222 kWh, se jedná o pokrytí 99,3 % veškeré energetické spotřeby objektu. Jedná se tedy o tzv. energetický nulový objekt. Spotřeba energie na vytápění a přípravu teplé vodu za stejné období činí 14 250 kWhod, což je 54,3 % celkové spotřeby objektu. Ostatní energie tj. 45,7 % je na vrub osvětlení, počítačů, vaření apod.



Obr. 15 *Měsíční výroba elektrické energie ve FV elektrárně v letech 2008 až 2011*



Obr. 16 *Měsíční výroba elektrické energie ve FV elektrárně v přepočtu na 1m^2 v letech 2008 až 2011*

ZÁVĚR

Z předložených výsledků vyplývá skutečná spotřeba energií jednotlivých domů a je vidět, že není shodná u všech domů. Skutečná spotřeba oproti výpočtovým hodnotám z projektů je dána skutečným počasím v dané oblasti v určité době, ale především skutečným chováním obyvatel daného objektu.

Z měření také vyplývá, že úspory tepla na vytápění, které jsou prezentovány u pasivních domů lze docílit vlastními stavbami a jsou tedy reálnou hodnotou snad nově započatého trendu ve stavebnictví.

V každém případě se bude v započatých měřeních pokračovat a budou se vyhodnocovat spotřeby za delší období.

Z vlastních měření fotovoltaického systému také vyplývají minimální solární zisky v průběhu loňského léta (červenec, srpen, září), kdy byly dokonce na polovičních průměrných hodnotách předchozích let.

PODĚKOVÁNÍ

Měření bylo prováděno ve spolupráci s výzkumným centrem CIDEAS Fakulta stavební ČVUT v Praze. Jmenovitě zejména děkuji ing. Janu Antonínovi a ing. Petru Havlíčkovi za zhotovení měřících systémů a nastavení celého měřícího systému i cenné rady k měření a vyhodnocování měřených dat.

LITERATURA

[1] ZIKÁN Z. *Pasivní domy v Koberovech – spotřeby energií.* Sborník mezinárodní konference PROGRESS 2012

[2] ZIKÁN Z. *Pasivní domy v Koberovech – systémy teplovzdušného vytápění a větrání s rekuperací.* Sborník 20. konference Klimatizace a větrání 2012

ÚSPORY ENERGIE V RODINNÉM DOMĚ INSTALACÍ OZE

Jiří Kalina

Regulus spol. s r.o.
kalina@regulus.cz

ANOTACE

Příspěvek ukazuje srovnání spotřeby tepla v rodinném domě. Vytápění a příprava teplé vody byly řešeny v roce 2010 pomocí konvenčního zdroje (elektřiny) a následně v roce 2011 pomocí tepelného čerpadla vzduch-voda a kombinované solární sestavy pro přípravu teplé vody a přitápění. Příspěvek tedy přehledně nabízí meziroční porovnání, změny, úspory tepla, i ekonomické srovnání.

ÚVOD

Novostavba rodinného domu z roku 2009 ve Strakonicích je postavena v nízkoenergetickém standardu. Jedná se od dvoupodlažní dům s dispozicí 4+1 ve svahu s obytnou (vytápěnou) plochou 120 m^2. 1.NP tvoří dřevostavba s plochou střechou a vytápěnou plochou 90 m^2. 1.PP je zděný obytný suterén z části obklopen svahem (zeminou) s obytnou plochou 30 m^2. Dle projektu vytápění byly vyčísleny teplené ztráty objektu na 6,7 kW při výpočtové venkovní teplotě -15 °C. V celém objektu je podlahové vytápění s teplotním spádem 43/35 °C, v místnostech jako koupena či WC ještě doplněno otopnými tělesy, avšak navrženými na stejný teplotní spád. V části roku 2009 a v celém roce 2010 byl objekt vytápěn a teplá voda připravována výhradně elektřinou. Koncem roku 2010 (polovina prosince) byla technologie doplněna o tepelné čerpadlo vzduch-voda s výkonem 8,3 kW (A10/W35) a solární sestavu pro přitápění a přípravu teplé vody s kolektorovou plochou cca 5 m^2. Orientace kolektorů je jižní a sklon 45°. Po celou dobu provozu byla měřena jak celková spotřeba elektřiny v objektu (hlavní elektroměr), tak i spotřeba pouze zdroje tepla (měření na tepelné centrále – viz popis technologie níže). Separátně je od roku 2010 měřen solární zisk.

Obr. 1 *Rodinný dům – pohledy na umístění tepleného čerpadla a solárních kolektorů.*

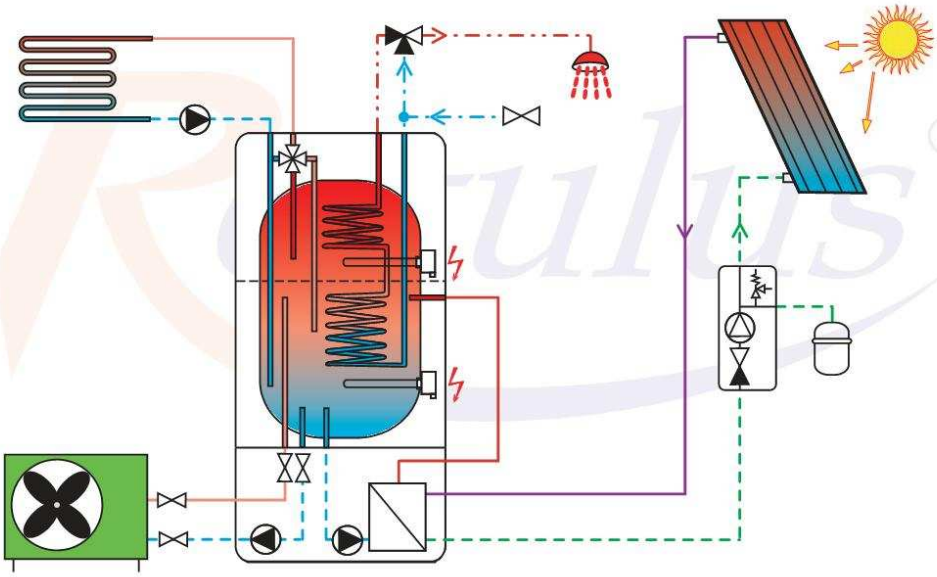
POPIS TECHNOLOGIE

Základem technologie je tzv. tepelná centrála CTC EcoEl (viz obrázek 2). Jedná se o kompaktní jednotku obsahující akumulační nádrž o objemu 223 l, a dvě elektrická topná tělesa. Jedno ve spodní části nádrže o výkonu 6 kW sloužící jako elektrokotel, druhé o výkonu 9 kW s možností spínání v krocích po 1,5 kW je v horní části. Toto těleso slouží primárně pro přípravu teplé vody, která je řešena průtokově, nebo v případě připojení

tepelného čerpadla k této centrále jako bivalentní zdroj. V případě připojení tepelného čerpadla je spodní topné těleso blokováno.

Obr. 2 *Tepelná centrála EcoEl (vpravo verze EcoElSol s deskovým výměníkem pro solární systém).*

Jak již bylo naznačeno, v prvním sledovaném období (rok 2010) byla tato tepelná centrála jediným zdrojem tepla pro vytápění a přípravu teplé vody. V druhém sledovaném období (rok 2011) byla technologie doplněna o tepelné čerpadlo vzduch/voda CTC EcoAir 107 a solární sestavu se dvěma kolektory Regulus KPW 1, každý s plochou apertury 2,37 m^2. Schéma doplněné technologie je na obrázku 3.



Obr. 3 *Ideové schéma technologie.*

POROVNÁNÍ SPOTŘEBY TEPLA NA VYTÁPĚNÍ A PŘÍPRAVU TEPLÉ VODY

Teorie

Pro obě sledovaná období jsou k dispozici spotřeby energie zdroje tepla. Je však nutné oddělit spotřebu tepla na vytápění od spotřeby tepla na přípravu teplé vody. Jelikož se oba ohřevy odehrávají v kombinované akumulační nádrži a spotřeba samotné TV není měřena, nezbývá než ji odhadnout. Je třeba upozornit, že v tomto odhadu může nastat dílčí chyba, která však nemůže zásadně ovlivnit celkový výsledek, tzn. vyčíslovanou úsporu energie. Pro stanovení **spotřeby tepla na přípravu teplé vody** se vycházelo z celkové spotřeby vody (dodavatel TS Strakonice) pro fakturovaná období 2010 a 2011, kde jsou vidět také rozdíly mezi jednotlivými roky a postiženy tak vnější vlivy, zvláště narození potomka. Pro rok 2010 byla stanovena denní spotřeba tepla na **6,1 kWh/den**, pro rok 2011 na **8,5 kWh/den**. Odečtem spotřeby tepla na přípravu TV od celkové spotřeby zdroje získáme spotřebu tepla na vytápění. Abychom mohli obě období porovnat z hlediska reálné úspory je potřeba spotřebu tepla **na vytápění** z roku 2011 přepočítat podle klimatických dat [1] na stejné klimatické podmínky (venkovní teplotu) jaké panovaly v roce 2010. Rok 2010 tedy bude pro nás rokem **referenčním,** neboť veškeré teplo bylo dodáno pouze elektřinou. Přepočet využívá závislosti tepelné energie na rozdílu teplot (vnitřní a venkovní teploty). Měsíční spotřeby tedy byly přepočítány vztahem:

$$Q_{2011} = Q_{2010} \cdot \left(\frac{t_{i2011} - t_{e2011}}{t_{i2010} - t_{e2010}} \right) \qquad (1)$$

kde

Q_{2011} je spotřeba tepla na vytápění v roce 2011, v kWh;

Q_{2010} potřeba tepla na vytápění v roce 2010, v kWh;

t_{i2010} vnitřní teplota v roce 2010, dosazeno 22 °C;

t_{i2011} vnitřní teplota v roce 2011, dosazeno 22 °C;

t_{e2010} venkovní teplota v roce 2010, v °C;

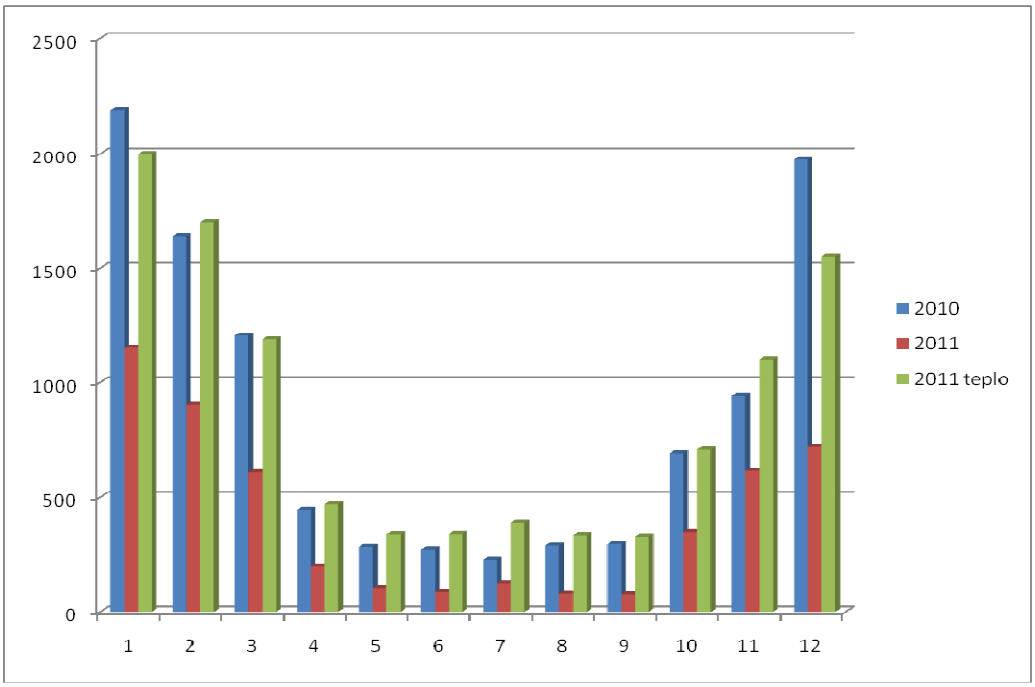
t_{e2011} venkovní teplota v roce 2010, v °C.

Výsledky

Přehledné výsledky měření i dopočítaných hodnot jsou uvedeny v tabulce 1 a grafu na obrázku 4.

Tab. 1 *Spotřeby tepla a úspory v jednotlivých měsících.*

			2010				2011								
	2010	2011	celková spotřeba elektřiny	ostatní spotřeba elektřiny	vytápění a TV	jen vytápění	celková spotřeba elektřiny	ostatní spotřeba elektřiny	vytápění a TV	solární zisk	přepočet dle klim. dat	spotřeba vytápění a TV	vyt + tv - sol	úspora	úspora
	t_e [°C]	t_e[°C]	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	%
Leden	-3,6	-0,2	2399	210	2189	2000	1393	241	1152	43	1734	1999	1956	847	42%
Únor	-1	-0,9	1825	186	1639	1468	1142	238	904	72	1462	1701	1629	797	47%
Březen	3,2	4,9	1414	209	1205	1016	862	255	607	98	924	1189	1091	582	49%
Duben	8,6	11,1	649	201	448	265	468	271	197	123	215	471	348	274	58%
Květen	11,8	13,9	489	205	284	95	374	268	106	157	75	340	183	234	69%
Červen	17	17,3	438	165	273	90	310	223	87	166	85	341	175	254	74%
Červenec	20,2	16,2	452	225	227	38	359	233	126	143	122	387	244	261	67%
Srpen	16,9	18,4	472	182	290	101	325	245	80	232	71	336	104	256	76%
Září	11,3	15,1	502	205	297	114	360	283	77	160	74	330	170	253	77%
Říjen	6,6	8,4	901	209	692	503	628	279	349	94	444	709	615	360	51%
Listopad	4,8	2,9	1165	221	944	761	887	273	614	46	845	1101	1055	487	44%
Prosinec	-4	3,3	2218	245	1973	1784	975	255	720	23	1283	1548	1525	828	53%
celkem			12924	2463	10461	8234	8083	3064	5019	1357	7335	10449	9092	5430	52%



Obr. 4 *Spotřeby tepla na vytápění a přípravu TV.*

Řada „2010“ ukazuje reálné měsíční spotřeby na vytápění a přípravu teplé vody v roce 2010, řada „2011“ ukazuje totéž pro rok 2011 a řada „2011 teplo“ přepočtenou spotřebu tepla pomocí klimatických dat.

Zajímavostí, která ale úplně nesouvisí s tématem a porovnáním je spotřeba tepla na vytápění v roce 2010, která činila 8243 kWh. Zpětným přepočten denostupňovou metodou vychází tepelná ztráta pro výpočtovou teplotu -15 °C na cca 4 kW, což neodpovídá výpočtu z projektu vytápění. Rozdíl je patrně v tepelné ztrátě větrání. Ačkoli je větrání v objektu přirozené, větrá se krátce a intenzivně, pouze na základě pocitu a hodnot odečítaných z domácího hygrometru, ukazujícího aktuální relativní vlhkost.

Úspory

Prostá úspora (podíl spotřeb odečtených na elektroměru v roce 2010 a 2011) vychází 38 %. Toto nižší číslo je dáno výrazně vyšší ostatní spotřebou danou postupným zabydlováním objektu, resp. pořizováním dalších domácích spotřebičů. Úspora na vytápění a přípravu teplé vody je meziročně 52 %. Tato hodnota bude patrně velice málo proměnná v dalších letech, nicméně rozhodně nebude konstantní. Pro větší úsporu v jiných letech rozhodně hovoří nízký solární zisk v červenci 2011, který poklesl oproti normálu až o 30 %, ale samozřejmě v dalších letech se zase mohou projevit jiné vlivy vedoucí k nižší úspoře, jako např. dlouhodobější extrémní mrazy (únor 2012), ve kterých pracuje vzduchové tepelné čerpadlo s horšími parametry a navíc ve spolupráci s bivalencí.

EKONOMIKA

Investiční náklady

Ekonomiku provozu lze postihnout ze znalosti ceny technologie a ceny elektrické energie. Cena instalace včetně montáže v první fázi, tzn. tepelná centrála EcoEl v solární verzi s příslušenstvím stála 112 tis. Kč včetně DPH 9 %. Doplněná technologie tepelného čerpadla a solárního systému včetně uchycení kolektorů a zatížení držáků vyšla na dalších 211 tis. Kč včetně DPH 9 %. Tato hodnota je tedy určující a bereme ji jako investiční náklady na pořízení technologie. Lze namítat, že technologie elektrokotle a elektrického bojleru lze pořídit levněji,

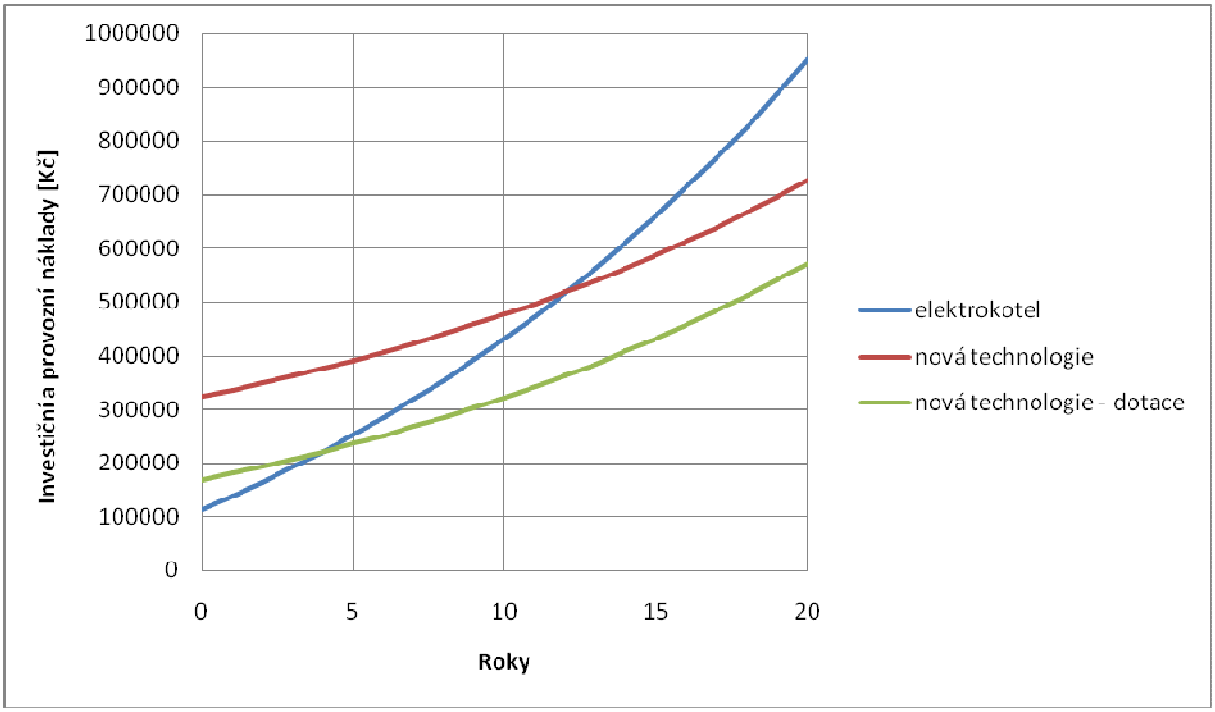
avšak totéž platí i základu technologie solárního systému a tepelného čerpadla. Dala by se použít levnější akumulační nádrž a kombinovaný bojler. Zde však investor kvůli komfortu, designu a úspoře místa zvolil variantu dražší kompaktní tepelné centrály a my srovnáváme pouze ekonomický přínos zařízení, které vedlo k úsporám, tzn. konkrétní zařízení s konkrétními pořizovacími náklady a konkrétní spotřebou energie, nikoli hypotetickou elektrokotelnu. Proto jsou rozdílové investiční náklady pouze náklady na druhou fázi výstavby systému, tzn. pořízení kolektorů a tepleného čerpadla. Dále nutno podotknout, že na technologii byla čerpána dotace z programu Zelená úsporám v hodnotě 155 tis. Kč, což byla jedna z hlavních motivací kombinace vzduchového tepelného čerpadla a solárního systému. Po odečtu dotace, tedy cena klesne na 56 tis. Kč.

Provozní náklady

Provozní náklady se odvíjí od ceny za 1 kWh elektrické energie pro daný tarif (D56d). Cena byla zjištěna přímo z faktur od distributora (E.On Energie a.s.). Pro rok 2010 byla cena 2,4 Kč/kWh (bez stálé platby za jistič), v roce 2011 se cena zvýšila na 2,431 Kč/kWh. Provozní náklady pro rok 2010 pouze technologie vytápění a přípravu teplé vody tedy byly 25 106 Kč a v roce 2011 se snížila na 12 201 Kč. Pokud cenu z roku 2011 aplikujeme také na přepočtenou potřebu energie v tomto roce, vychází provozní náklady na 25 402 Kč. **Finanční úspora** mezi těmito roky tedy činí 13 201 Kč.

Návratnost

Mezi roky 2010 a 2011 vzrostla cena z 1 kWh elektrické energie pouze o 1,3 %, nyní však máme již ceny pro rok 2012, kde 1 kWh stojí 2,58 Kč, tedy nárůst o 6 %. Trend růstu ceny pro výpočet návratnosti byl zvolen optimisticky nízký 5 % (pozn.: např. mezi roky 2007 a 2008 vzrostla cena energie v tomto tarifu o 23 %!). Následující graf tedy ukazuje návratnost přímo tohoto konkrétního systému s dotací a bez dotace (viz obrázek 5).



Obr. 5 *Graf porovnání provozních nákladů.*

Z grafu vyplývá, že návratnost systému bez dotace při daných cenách energie a předpokládaném ročním zdražení 5 % je 12 let. Štědrost programu Zelená úsporám zkrátila návratnost na pouhé 4 roky!

ZÁVĚR

Celý příspěvek řeší porovnání konkrétních naměřených hodnot na konkrétním objektu. Jak bylo popsáno a naznačeno, vlivů, které ovlivní celkové výsledky (reálné úspory) je celá řada - spotřeba TV, klimatické podmínky, chování budovy z hlediska akumulace, či tepelně izolačních vlastností (skutečná kvalita provedení stavby), větrání atd. Je tedy nutno výsledky brát jako konkrétní případ v definovaném čase a místě. Zobecnění výsledků a jejich aplikace na jiné objekty může být bez bližší znalosti těchto vlivů zavádějící. Zvláště u objektů s větší energetickou náročností lze očekávat zajímavější a lepší výsledky z hlediska úspor. Dále je třeba upozornit na to, že jedno meziroční měření s měsíčními odečty je sice průkazné, nedává však absolutně přesné výsledky. Hlavně z hlediska solárního systému a jeho přebytků v letním období, které sice byly dodány do systému, nikoli však efektivně zužitkovány. Zásobník tepla byl sice nabíjen na vysokou teplotu (např. 80 °C), ta však v daný moment nebyla potřeba. Pokud by měření probíhalo v kratších, např. hodinových intervalech, dala by se tato energie lépe postihnout a bilance by pak hovořila ještě lépe ve prospěch vzduchového tepelného čerpadla. Několikaleté měření a srovnání by jistě bylo také průkaznější. I přes tato fakta se tato ukázka může stát přesvědčivým argumentem pro využívání obnovitelných zdrojů tepla v rodinných domech ve stále větší míře, zvláště pokud se tato opatření opět dočkají nějaké smysluplné podpory.

LITERATURA

[1] LUBOŠ NĚMEC *Průměrná měsíční teplota vzduchu. denostupně a suma globálního záření.* Časopis Topenářství instalace, 5/2010, 1/2011, 5/2011, 1/2012

REÁLNÉ NÁKLADY NA VYTÁPĚNÍ DŘEVNÍMI PELETAMI

Zdeněk Lyčka

LING Krnov s.r.o.
ling.krnov@centrum.cz

ANOTACE

Příspěvek se snaží naznačit, jaké jsou reálné náklady na vytápění menších objektů dřevními peletami, respektive jak moc se mohou tyto náklady lišit od bilančních výpočtů. Autor vychází ze stanovení reálné výhřevnosti dřevních pelet, na rozboru jednotlivých složek celkové ztráty kotle definuje skutečně dosažitelnou provozní účinnost peletového kotle a také jakým způsobem může jednotlivé ztráty (komínová, plynný nedopal, mechanický nedopal, sálání) ovlivnit samotná obsluha kotle. U běžného rodinného domku s roční spotřebou tepla 80 GJ tak lze spálit až o 25 % více pelet, než by napovídal bilanční výpočet stanovený na základě „tabulkových“ předpokladů.

ÚVOD

Stále častěji se na mne obracejí uživatelé peletových kotlů s problémem, že jejich reálné náklady na vytápění se někdy i dosti podstatně liší od nákladů, které vycházejí z běžného bilančního výpočtu. Řeší, kdo je podvedl. Zda dodavatel nekvalitních málo výhřevných pelet, nebo výrobce kotle. Zpravidla si nepřipouštějí, že chyba může být také na jejich straně.

Ale jaká je tedy realita? Pravdou je, že většina výrobců pelet stále udává výhřevnosti, které se stanovují laboratorně pro zcela vysušenou hmotu a reálná výhřevnost pelety s vlhkostí 8 % je znatelně nižší. A konají tak přesto, že nová evropská norma takto deklarovat výhřevnost již nedovoluje. Pravdou také je, že účinnosti kotlů udávané výrobci jsou určovány při certifikaci v provozních podmínkách, kterých v běžném provozu nelze nikdy dosáhnout. A pravdou také je, že špatně zapojený a provozovaný kotel může pracovat s až o 10 % nižší účinností oproti reálným možnostem.

VÝHŘEVNOST DŘEVNÍCH PELET

Drtivá většina výrobců a „propagátorů“ pelet uvádí, že kvalitní dřevní peleta má výhřevnost srovnatelnou (i vyšší) s hnědým uhlím, tedy někde mezi 18,5 až 19 MJ/kg. A tyto hodnoty se často bohužel objevují také v „odborné“ literatuře a vycházejí z nich i mnohé programy pro provádění bilančních výpočtů ve vytápění. Ovšem tyto hodnoty nemají nic společného s reálnou výhřevností konkrétní pelety. Skutečná výhřevnost konkrétní pelety je závislá jednak na kvalitě zdroje suroviny, ze které je vyrobená, jednak na obsahu vody v ní (se vzrůstající vlhkostí výhřevnost klesá). Při laboratorním určování vlastností dřevních pelet se stanovují dva druhy výhřevností.

- **Výhřevnost suchého vzorku *q* (MJ/kg),** která v podstatě definuje absolutní kalorickou hodnotu paliva danou pouze jeho prvkovým složením (podílem jednotlivých hořlavin) bez započtení energie výparného tepla. Jak z názvu vyplývá, je to výhřevnost stanovená pro zcela „vysušenou“ surovinu a její velikost pak vypovídá o kvalitě zdroje, ze kterého je peleta vyrobena.
- **Výhřevnost v původním stavu *Q* (MJ/kg)** definuje kalorickou hodnotu paliva se zahrnutím jeho reálného stavu (tedy s ohledem na obsah vody v palivu a energii potřebnou na její odstranění).

Před zavedením jednotných evropských norem pro tuhá biopaliva [1] byla certifikace pelet v Rakousku a Německu prováděna podle národních norem ÖNORM M 7135, DIN 51731 (resp. DINplus). Ty požadovaly při deklaraci vlastností pelet na certifikátech a obalech uvádět výhřevnost suchého vzorku *q*. Byla tak sice deklarována kvalita suroviny bez ohledu na její vlhkost, v běžné praxi pak ale bylo při bilančních výpočtech nutné přepočítávat reálnou výhřevnost *Q* podle vlhkosti paliva. Bohužel velká část obchodníků s peletami i odborné veřejnosti zabývající se bilančními výpočty tuto skutečnost nevzala na vědomí, a proto se obě výhřevnosti, tedy výhřevnost suchého vzorku *q* a výhřevnost v původním stavu *Q* běžně zaměňují. A u nás se tak děje i přes to, že nová evropská norma, platná speciálně pro dřevní pelety [2], to již neumožňuje.

A jaká je tedy reálná výhřevnost dřevních pelet běžně dostupných na našem trhu? Pro běžnou dřevní biomasu ji lze dle [4] při známé vlhkosti paliva stanovit s velkou přesností (± 1 %) ze vztahu

$$Q = 18{,}7 - 0{,}2 \cdot M \quad [MJ\ /\ kg] \tag{1}$$

a při průměrném obsahu vody u běžných pelet $M = 8$ % se tedy dostaneme k hodnotě výhřevnosti

$$Q = 18{,}7 - 0{,}2 \cdot 8 = 17{,}1 \quad [MJ\ /\ kg] \tag{2}$$

ÚČINNOST PELETOVÝCH KOTLŮ

Pro provedení správného bilančního výpočtu spotřeby paliva je důležité stanovení reálné provozní účinnosti zdroje tepla, tedy v našem případě peletového kotle. Zde je nutné zdůraznit, že hovoříme o účinnosti zdroje a nikoliv účinnosti spalování, neboť je v tom velký rozdíl. Obecně lze účinnost stanovit dvěma způsoby.

- **Přímou metodou**, při které je nutné za prvé znát přesně výhřevnost a hmotnostní tok paliva, ze kterých se stanoví tepelný příkon, a za druhé je nutné přesně měřit tepelný výkon předávaný teplosměnné látce. Tato metoda se používá při certifikaci, tedy za přesně definovaných a při zkoušce udržovaných provozních podmínek a je uváděna v technické dokumentaci kotlů.
- **Nepřímou metodou,** kdy se pomocným měřením složení spalin, rozborem popela a měřením povrchových teplot, výpočtem stanoví jednotlivé ztráty a z nich se stanoví celková účinnost kotle. Pro stanovení účinnosti touto metodou je nutné znát spoustu parametrů, které jsou za běžného provozu prakticky nezjistitelné. Nicméně se pokusím naznačit, jak by se za použití běžného analyzátoru spalin daly alespoň přibližně stanovit jednotlivé ztráty mimo laboratoř a zároveň se také pokusím zjistit, jaká je „udržitelná“ hranice účinnosti, tedy maximální reálně dosažitelná účinnost za předpokladu, že kotel ještě nepracuje v kondenzačním režimu. Takovýto zjednodušený postup výpočtu má zvláště u spalování dřevních pelet poměrně velkou vypovídací hodnotu. Jako palivo jsou pelety poměrně „čitelné“, tedy mají odhadnutelné parametry a peletové kotle jsou velice sofistikovaná spalovací zařízení se stabilním průběhem spalování, takže i míru emisí z nich lze s velkou přesností odhadnout.

Jednotlivé ztráty stanovené nepřímou metodou

Celkovou účinnost kotle stanovenou nepřímou metodou se zahrnutím jednotlivých ztrát získáme ze vztahu

$$\eta = 100 - q_A - q_B - q_C - q_D \quad [\%] \tag{3}$$

Poměrná ztráta citelným teplem spalin q_A

Jinak také **komínová ztráta**, je běžnými analyzátory spalin vypočítávána dle Siegertova vzorce:

$$q_A = (T_S - T_V)\left(\frac{A}{21 - O_2} + B\right) \quad [\%] \tag{4}$$

kde jsou T_S teplota spalin a T_V teplota prostředí (spalovacího vzduchu), O_2 naměřená a CO_2 přepočtená objemová koncentrace těchto plynů ve spalinách v procentech, A a B konstanty, které pro dřevní hmotu mají hodnoty $A = 0{,}7$ a $B = 0{,}01$.

Pokusím se určit minimální teoretickou hranici této ztráty. Pokud chceme najít hranici špičkového peletové kotle, pak uvažujme limitní hodnotu přebytku vzduchu ve spalinách n = 1,3, tedy s koncentrací $O_2 \approx 4{,}8$ %. Dle [3] je mezní teplotou spalin, při které ještě nedochází k jejich kondenzaci v komíně, teplota při jmenovitém výkonu 160 °C nad teplotou prostředí, tedy pro uvažovanou teplotu vzduchu 15 °C je to teplota spalin přibližně 175 °C. Pokud je při certifikaci naměřená při jmenovitém výkonu teplota spalin nižší, musí výrobce dle normy v průvodní dokumentaci uvést doporučení pro instalaci kouřovodu, která zajistí dostatečný tah a zabrání vzniku kondenzátu a sazení v celém komínu. V normě citovaná limitní teplota spalin 160 °C nad teplotu prostředí je univerzální hodnotou pro tuhá paliva. Rozhodující je hodnota teploty rosného bodu spalin, která je závislá na kvalitě spalovacího procesu a složení paliva. Zvláště síra v palivu tuto hodnotu navyšuje. U uhlí může být teplota rosného bodu až 120 °C, u dřeva je to přibližně 50 °C. Dle [5] je limitní hodnotou pro „nekondenzační“ peletový kotel teplota spalin 145 °C. Při této teplotě tedy ještě u většiny komínů máme jistotu, že v jeho ústí (výstupu) nedochází ke kondenzaci spalin. Uvažujme tedy ideální provozní stav a teplotu spalin na hranici kondenzace, pak lze odvodit mezní hodnotu komínové ztráty

$$q_A = (145 - 15) \cdot \left(\frac{0{,}7}{21 - 4{,}8} + 0{,}01\right) = 6{,}9 \quad [\%] \tag{5}$$

Jak již z „pomocného“ názvu komínová ztráta vyplývá, její velikost je závislá především na teplotě spalin vycházejících ze zdroje. Tuto teplotu může ovlivnit konstruktér nadimenzováním tělesa výměníku, ale významně také uživatel pravidelným čištěním teplosměnných ploch. Závisí také na množství přebytku kyslíku ve spalinách, tedy kvalitě seřízení spalovacího procesu či používáním vhodného paliva. Při běžném přebytku n = 1,7 lze dle [5] počítat se změnou komínové ztráty o 0,66 % při změně teploty spalin o 10 °C.

Při špatně navrženém komínu (velký tah) či nevyčištěném výměníku se může teplota spalin navýšit i o několik desítek stupňů (uvažujme například 170 °C). Při použití nevhodného paliva či špatně seřízeném hořáku dosahuje běžně hodnota O_2 ve spalinách 11 % (n = 2,1). Po dosazení těchto hodnot do rovnice (5) zjistíme, že se komínová ztráta může zvýšit v nevhodných provozních podmínkách až na 12,4 %, což je navýšení oproti ideálnímu stavu o 5,5 %. V běžné praxi se bohužel i u sofistikovaných kotlů setkávám velice často s hodnotami ještě vyššími!

Poměrná ztráta plynným nedopalem q_B

Velikost této ztráty je závislá na množství nespálené hořlaviny ve spalinách. V biomase je rozhodující spalitelnou složkou uhlík, proto je velikost plynného nedopalu závislá především na koncentraci CO (míra koncentrace CO ve spalinách udává míru „nevyhoření“ uhlíku na

CO_2). Špičkové kotle pracují v ideálních podmínkách s emisemi CO pod hranicí 100 ppm, tedy 0,01 %. Dle [5] platí pro ztrátu plynným nedopalem a peletu s běžnou výhřevností 17,1 MJ/kg s velkou přesností upravený vztah (pokud reálně předpokládáme dokonalé vyhoření vodíku)

$$q_B = 64 \cdot \frac{CO}{CO_2 + CO} \qquad [\%] \tag{6}$$

a pro špičkové parametry n = 1,3 (tedy CO_2 = 15,4 %) a CO = 0,01 %

$$q_B = 64 \cdot \frac{0{,}01}{15{,}4 + 0{,}01} = 0{,}04\ \% \tag{7}$$

.

Ovšem průměrné provozní hodnoty se opět často pohybují v jiných číslech. Výrazné navýšení ztrát plynným nedopalem způsobí špatně seřízený hořák pro dané palivo. Při certifikace většina výrobců používá čisté smrkové pelety s minimálním obsahem popelovin. Ovšem při použití tzv. katrových pelet s příměsí kůry se spalovací proces výrazně změní. Až 5x vyšší obsah popelovin s nižší teplotou tavení způsobuje u většiny typů hořáků postupné zanášení roštu, což má za následek omezování přístupu spalovacího vzduchu k základní vrstvě paliva a radikální změnu spalovacího procesu. Prchavá hořlavina nedostatečně vyhořívá na CO_2 (jeho koncentrace se snižuje běžně na 8 % a méně) a naopak se radikálně zvyšuje koncentrace CO ve spalinách (0,1 – 0,2 %). V těchto případech dosahují ztráty plynným nedopalem hodnot 1,5 % a více.

Poměrná ztráta mechanickým nedopalem q_C

Poměrná ztráta mechanickým nedopalem se stanovuje na základě rozboru popelovin. Velikost této ztráty udává poměr mezi hmotnostním podílem uhlíku v pevných zbytcích spalování (vztažený na jednotku paliva) a výhřevností paliva. Tedy zjednodušeně na množství nevyhořelého uhlíku v popelovinách. U dřevní biomasy tvoří rozhodující podíl hořlaviny její prchavá část (nad 80 % z celkového množství hořlaviny), proto je u "biomasových" kotlů nové generace ztráta mechanickým nedopalem minimální. Ovšem opět záleží na seřízení kotle a volbě vhodného paliva. Zjednodušeně lze „odhadnout“ velikost této ztráty pohledem na popel. Pokud v popelu převažují zuhelnatělé černé pelety (popeloviny drží tvar pelet), dosahuje ztráta velikosti zhruba 4 až 8 %. U tmavého popele s občasnými kousky černých pelet je ztráta v rozmezí 1 až 2 % a u jemného světlého popílku je to do 0,5 %. Větší mechanický nedopal je zpravidla způsoben opět špatným seřízením hořáku a volbou nevhodného paliva.

Poměrná ztráta sdílením tepla do okolí q_D

Velikost této ztráty se stanovuje z poměru tepla uvolněného povrchem kotle k tepelnému příkonu. Závisí tedy na povrchové teplotě jednotlivých ploch. Vzhledem k tomu, že povrchová teplota konkrétního kotle se nesnižuje úměrně s jeho výkonem (tedy i příkonem), je při provozu na snížený výkon ztráta sdílením tepla do okolí vyšší než při výkonu jmenovitém. Zvláště výrazně se to projeví za běžného provozu například v případě, kdy kotel přejde z provozu na vysoký výkon do tzv. útlumového režimu. Tedy buď se jeho výkon výrazně sníží, nebo se na čas úplně odstaví. Povrch kotlového tělesa je provozem na vysoký výkon „nahřát“ a jeho teplota se snižuje poměrně pomalu. Ale příkon v palivu se razantně sníží, tedy ztráta sdílením tepla do okolí se i několikanásobně zvýší. Naproti tomu se ale výrazně sníží velikost ztráty citelným teplem spalin, takže celková ztráta je přibližně stejná. Takže snižování výkonu kotle (ve vztahu k výkonu jmenovitému) znamená snižování teploty

spalin a tedy i komínové ztráty, ale naopak zvyšování ztráty sáláním povrchu kotle. Kvalitně zaizolovaný peletový kotel vykazuje při ustáleném provozu na jmenovitý výkon ztrátu sdílením tepla do okolí q_D na hranici 2 % a u špičkově zaizolovaného kotle se tato ztráta pohybuje do 1 %.

Celková účinnost peletového kotle

Ideální provozní podmínky

Pro moderní peletový kotel, který "pracuje" na hranici kondenzace spalin, a který je provozován za ideálních provozních podmínek lze tedy orientačně po dosazení do rovnice (3) stanovit horní hranici účinnosti

$$\eta = 100 - q_A - q_B - q_C - q_D = 100 - 6{,}9 - 0{,}04 - 0{,}2 - 1 = 91{,}86 \quad [\%] \qquad (8)$$

Další zvyšování účinnosti lze provést pouze na úkor snižování teploty spalin pod kritickou hranici (již víme, že snížení "komínové" teploty o 10 °C znamená zvýšení účinnosti pouze o 0,6 – 0,7 %). Takový zásah vyvolá nutnost úpravy komína na kondenzační provoz a především nutnost zajištění nuceného odtahu spalin do komína pomocí odtahového ventilátoru a tedy i jemu odpovídající spotřebu elektrické energie.

Běžné provozní podmínky

Ideálního provozního stavu lze docílit prakticky pouze při certifikaci v laboratorních podmínkách. Výměník je ideálně vyčištěný, komín má konstantní tah v ideálním rozmezí (u většiny peletových kotlů by neměl přesáhnout 20 Pa), kotel spaluje několik hodin nepřetržitě v ideálním režimu bez cyklování (zapínání a vypínání), takže vyzdívka kotle je dokonale nahřátá a na roštu hořáku je stálá základní vrstva paliva, obsluha kotel seřídila podle zjištěné koncentrace spalin na analyzátoru a také je použito palivo nejvyšší kvality, takže nedochází k zanášení a zapékání spalovací komory hořáku. V reálném provozu se lze těmto podmínkám přiblížit zapojením kotle do topného systému s akumulační nádrží, pravidelným servisem a používáním kvalitního paliva. V tomto případě lze uvažovat se snížením celkové účinnosti o 2 až 4 % oproti účinnosti deklarované výrobcem.

Ovšem v reálném provozu může být (a zpravidla také bývá) vše jinak. Funkční akumulační provoz je bohužel doposud výjimkou. Nicméně o tomto problému se relativně ví a občas je vidět snaha jej řešit. Daleko větším problémem je napojení na komín. Správný odvod spalin má zásadní vliv na kvalitu spalovacího procesu. Pokud není zajištěn dostatečný komínový tah, dochází k „přeplňování“ spalovací komory spalinami a výrazně je tak narušen celý spalovací proces. Radikálně se zvyšují hodnoty jinak nevýrazných ztrát plynným a mechanickým nedopalem. Nedostatečný tah způsobí jednak nevyčištěný komín, ale jednak také špatně nadimenzovaný komín. Pokud je výrobcem deklarovaná teplota spalin při jmenovitém výkonu pod hranicí 140 °C, je nutné počítat s tím, že v běžných provozních podmínkách se bude pohybovat okolo hranice 100 °C. Pokud k tomu kotel často zapíná a vypíná (není akumulace), je u běžného komína prakticky nemožné docílit jeho prohřátí a dosažení optimálního tahu. Navíc se díky kondenzaci spalin komínový průduch rychle zanáší a je nutné věnovat velkou pozornost jeho čištění. Naopak velký tah komína způsobuje zvýšení teploty spalin. Pokud při tahu 20 Pa jsou teploty například 160 °C, při tahu 35 Pa (což „zvládne“ běžný komín) se navýší o 40 – 60 °C a tím se navýší i komínová ztráta. Stejný důsledek má nevyčištěný výměník. Pokud k tomu všemu přičteme spalování pelet „nevalné“ kvality, špatné seřízení a nastavení výkonu, absence běžné údržby, pak i špičkový kotel může pracovat s velice nízkou celkovou účinností. Dosadíme-li do rovnice (3) ztráty „dosažitelné“ v běžných provozních podmínkách, dopracujeme se k hodnotě celkové účinnosti

$$\eta = 100 - q_A - q_B - q_C - q_D = 100 - 12{,}4 - 1{,}5 - 4 - 1 = 81{,}1 \quad [\%] \tag{9}$$

a z vlastní praxe bohužel vím, že většina u nás provozovaných peletových kotlů se dosahovanou provozní účinností blíží spíše této hranici než účinnosti deklarované výrobcem.

ZÁVĚR

Pokusme se tedy stanovit roční spotřebu pelet *m* [t] pro vytápění objektu o roční potřebě tepla Q_{vyt} = 80 GJ. Pokud budeme brát v úvahu hodnoty uváděné výrobci, tedy výhřevnost pelet Q_{MJ} = 18,5 MJ/kg a účinnost kotle η = 92 %, pak z doposud běžně zaužívaného bilančního výpočtu získáme hodnotu

$$m = \frac{Q_{vyt}}{Q_{MJ} \cdot \eta} \cdot 100 = \frac{80}{18{,}5 \cdot 92} \cdot 100 = 4{,}7\ t \tag{10}$$

Při použití reálné výhřevnosti pelet Q_{MJ} = 17,1 MJ/kg a běžně „dosažitelné“ provozní účinnosti η = 82 % pak získáme hodnotu

$$m = \frac{Q_{vyt}}{Q_{MJ} \cdot \eta} \cdot 100 = \frac{80}{17{,}1 \cdot 82} \cdot 100 = 5{,}7\ t \tag{11}$$

Pokud bychom chtěli hovořit o reálných provozních nákladech, měli bychom započíst minimálně také spotřebu elektrické energie, zvláště u kotlů s elektrickým zapalováním. Pokud je kotel provozován s akumulační nádrží, celkovou účinnost to dle [5] sníží o necelé 1 % a vliv spotřeby elektrické energie je relativně zanedbatelný. Ovšem pokud je kotel provozován bez akumulace (i několikrát za hodinu se spouští zapalování o příkonu často 1,5 kW), pak při současných cenách elektřiny je to znát i na celkových provozních nákladech. Ovšem to je téma na samostatné povídání.

LITERATURA

[1] ČSN EN 14 588 Tuhá biopaliva-Terminologie, definice a popis. ÚNMZ, Praha, 2011

[2] ČSN EN 303-5/2000 Kotle pro ústřední vytápění-Část 5: Kotle pro ústřední vytápění na pevná paliva, s ruční nebo samočinnou dodávkou, o jmenovitém tepelném výkonu nejvýše 300 kW-Terminologie, požadavky, zkoušení a značení. ČNI, Praha, 2000

[3] ČSN EN 14961-2 Tuhá biopaliva-Specifikace a třídy paliv-Část 2: Dřevní pelety pro maloodběratele. ÚNMZ, Praha, 2011

[4] LYČKA Z., Dřevní peleta – peleta mýtů zbavená. LING Vydavatelství s.r.o., Krnov, 2011

[5] LYČKA Z., Dřevní peleta II – spalování v malých zdrojích tepla. LING Vydavatelství s.r.o., Krnov, 2011

MEZINÁRODNÍ OBCHOD S PELETAMI – SOUČASNOST A VÝHLED DO ROKU 2020

Vladimír Stupavský

Klastr Česká peleta
predseda@ceska-peleta.cz

ANOTACE

Celosvětový trh s peletami dosahuje každoročně nových rekordů a další rozvoj je všeobecně předvídaný. Největším zdrojem poptávky po dřevních peletách bude mimo rychle se rozvíjející trhy v Asii i nadále Evropa. Významný růst výroby bude dále pokračovat v Severní Americe, avšak nové závody pro výrobu pelet jsou zakládány celosvětově. Do určité míry se kromě klasické výroby dřevních pelet může rozšířit i výroba pelet ze zemědělských produktů a další specifické postupy výroby pelet jako např. torrefikace. Skutečnost je však taková, že žádný region ani technologie nesetrvává v jasné pozici lídra celého odvětví. S téměř trojnásobným růstem do roku 2020 bude mít každý region a technologie své vlastní a do značné míry jedinečné podmínky pro další rozvoj a dodavatelsko-odběratelské vztahy.

ÚVOD

Současný celosvětový objem trhu s dřevními peletami je asi 16 milionů tun za rok. Do roku 2020 se předpokládá jeho nárůst až na 46 mil. t/r, což představuje celkovou tržní hodnotu okolo 8 miliard USD (pro ceny v roce 2010). Využívání pelet je v současné době v mnoha částech světa z velké části řízeno politickými rozhodnutími, resp. dotačními pobídkami, a tento stav se očekává i pro další roky. Je zde proto určitá míra nejistoty vzhledem k nepředvídatelným skutečnostem navázaným na politická rozhodnutí a koncepce. Rostoucí vliv ceny fosilních paliv bude hrát v budoucnu také významnou roli.

ZÁPADNÍ EVROPA

Západní Evropa bude i nadále nejvýznamnější oblastí vzhledem ke spotřebě pelet (13 mil. t/r). Velikost růstu spotřeby bude v západní Evropě m.j. určována stupněm produkce výroby elektřiny v zemích Beneluxu, v Dánsku a ve Velké Británii. Kromě toho se předpovídá pokračující růst trhů s rezidenčním a komerčním vytápěním ve Skandinávii a dalších částech Evropy. Další růst je předurčen velkým rozdílem mezi tím, na čem je v současné době založena výroba energie z lesní biomasy a tím, co je uvedeno v Národním akčním plánu pro obnovitelné zdroje energie (NREAP) každého státu (výchozí podíl energie z dendromasy je 230 TWh). Je to dáno především rozdílnými cíli, které vycházejí z podílu pelet na výrobě obnovitelné energie a které má každý stát ve vlastním NREAP definovány.

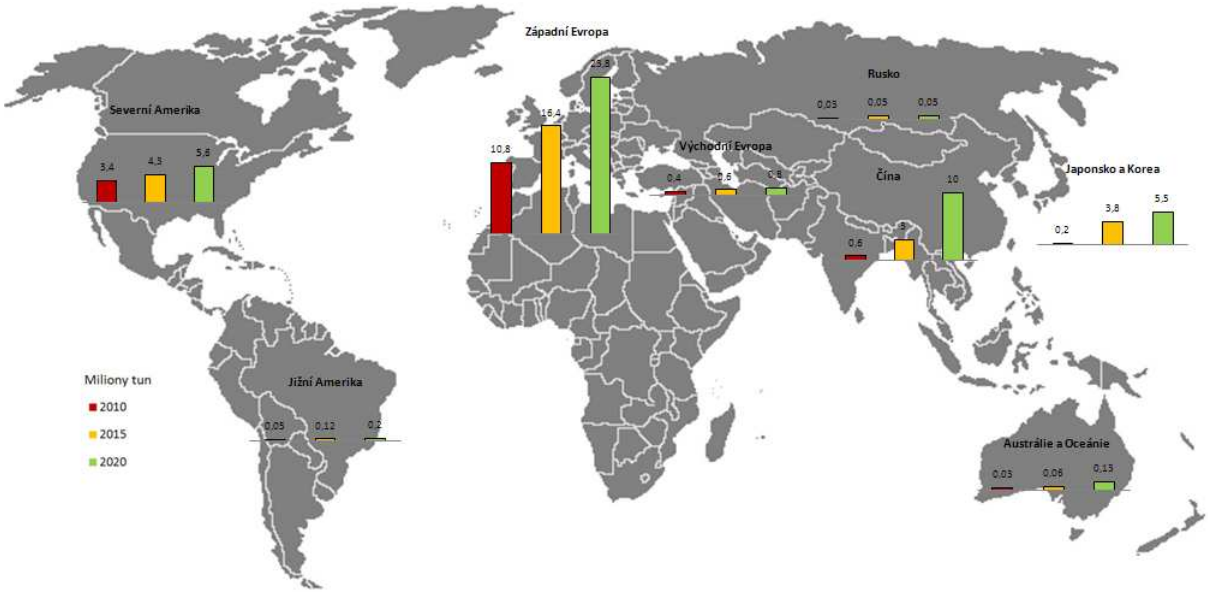
SEVERNÍ AMERIKA

V Severní Americe na rozdíl od Evropy vychází předpoklad hlavního růstu z posílení trhu s rezidenčním vytápěním, které je z velké části podporováno rostoucí cenou topného oleje ve srovnání s cenou pelet. Mírný nárůst je také předpovídán v průmyslové energetice, ale zde se předpokládá jen velmi malý význam pro státní pobídky, které by jinak mohly výrazně zvýšit objem využívání pelet.

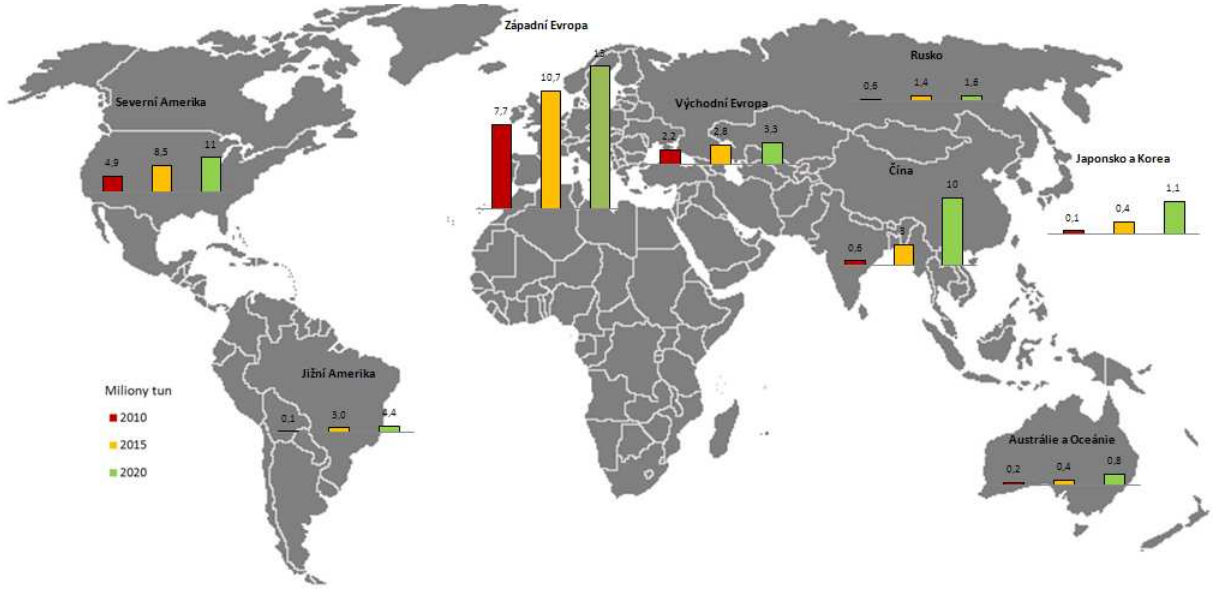
ČÍNA

Čína se objevila na scéně jako významný budoucí spotřebitel a výrobce pelet s velkým množstvím projektů na výstavbu závodů na výrobu pelet. Zabezpečení požadavku dostupnosti většiny potřebných vstupních surovin pro výrobu pelet se předpokládá především z produkce

čínského zemědělství a zpracováním zemědělských zbytků jako jsou rýžové slupky. Neočekává se proto, že bude mít Čína zásadní vliv na mezinárodní obchodní toky. Samotná Čína očekává, že bude v roce 2020 vytvářet přes 20 % poptávky ve světě ve srovnání se zanedbatelným poptávaným množství v současné době. Při mapovém zobrazení tak představuje Čína významný trh s peletami, který však výrazně neovlivňuje mezikontinentální obchod.



Obr. 1 *Celosvětová spotřeba pelet – současný stav a výhled pro roky 2015 a 2020*



Obr. 2 *Celosvětová produkce pelet – současný stav a výhled pro roky 2015 a 2020*

MEZINÁRODNÍ OBCHOD

Mezinárodní obchod, resp. mezikontinentální obchod s peletami činil v roce 2010 přibližně 2 mil. tun pelet (včetně obchodů mezi východní a západní Evropou) a téměř většina z tohoto množství se odehrála mezi Severní Amerikou a západní Evropou. Relativně malý podíl mezikontinentálního obchodu se přestěhoval ze Severní Ameriky do Asie, z Kanady do USA a z východní do západní Evropy. Očekává se, že objem těchto stávajících toků bude narůstat současně s rozvojem obchodních toků z Jižní Ameriky a Ruska do západní Evropy, stejně

jako z Austrálie a Oceánie do Japonska a Koreje. Celkový mezinárodní obchod by mohl dosáhnout v roce 2020 přes 18 mil. tun pelet nebo přibližně 40 % celkové produkce.

Obr. 3 *Mezinárodní obchod s peletami*

Za účelem podpory mezinárodního obchodu s peletami a dalšími ekopalivy byla v regionech s vysokou dostupností biomasy stavěna stále větší zařízení na výrobu pelet. Jedny z takovýchto prvních zařízení byly spuštěny na západě Kanady za účelem využití dobré dostupnosti dřevní biomasy z Mountain Pine Beetle. Další podniky následovaly na jihovýchodě USA a byly určeny ke zpracování méně kvalitního dřeva a lesních zbytků. Podobné projekty se zrodily také v Austrálii pro využití biomasy ze zbytků z plantáží eukalyptu. Teprve v nedávné době bylo v Rusku dokončeno největší zařízení na výrobu pelet na světě a další podniky v různém stádiu vývoje se nacházejí ve východní Evropě a v Jižní Americe. Velká část produkce těchto podniků je určena především k uspokojení rostoucí poptávky západní Evropy, ale je pravděpodobné, že tyto kapacity budou v relativně blízké budoucnosti směřovány také pro pokrytí poptávky severovýchodní Asie.

Výrobci v regionech s nízkými náklady (vzhledem k pracovní síle, nákladům na energie, apod.) na rozvíjejících se trzích se mohou stát velkou konkurencí pro severoamerické výrobce pelet, kteří se již nyní pohybují v kategoriích nízkých ziskových marží. Je pravděpodobné, že tlak nabídky pochází z jihoamerických podniků, které mají výhody plynoucí z vyšší dostupnosti surovin a druhá část plyne od východoevropských výrobců pelet, kteří mají mnohem nižší dopravní náklady.

Nárůst poptávky bude i nadále přicházet ze západní Evropy, ale očekává se, že se v blízké budoucnosti přihlásí se svými požadavky také Japonsko a Korea. Poptávka Japonska a Koreje bude nejspíše uspokojována podniky ze západního pobřeží Severní Ameriky, z Austrálie a Oceánie. Afrika se také může zapojit do evropského trhu s peletami, ale hlavní rozvoj tohoto odvětví v Africe se pravděpodobně bude odehrávat až po roce 2020, tedy v těžko predikovatelné budoucnosti.

Na opačné straně těchto mezinárodních trhů a velkovýroben pelet jsou domácí regionální trhy, které jsou velmi roztříštěny ve většině oblastí světa. Menší podniky svým počtem výrazně převyšují podniky s větší kapacitou. Malé podniky využívají zbytků z pil nacházejících se v jejich okolí, nebo jsou integrovány přímo s pilou. Avšak vzhledem k velmi častým výkyvům v poptávce dřevních produktů a v dodávkách řeziva pro stavebnictví a na jiné trhy, neběží často mnohá z těchto zařízení na výrobu pelet na plnou kapacitu své výroby. Tato situace byla velmi častá především během hospodářského poklesu v předchozích dvou letech. V některých regionech tento stav trvá doposud. Výroba všech dřevních produktů se snížila, a proto bylo na trhu dostupné menší množství dřevních zbytků. V kontextu těchto skutečností se v letech 2008 a 2009 dostalo značné množství peletáren se zaměřením na domácí trhy do existenčních problémů a je zřejmé, že v současné době může být obtížné se v určitých regionech na trhu udržet.

Technologie výroby, požadavky na kvalitu pelet, tržní prostředí i konečná cena se liší pro různé třídy pelet. Domácí trhy s peletami jsou obvykle trhy regionálními a stejná situace se očekává i nadále. Na těchto trzích se očekává průměrné zvyšování cen závislé na standardních ekonomických faktorech (inflace), nárůstů cen vstupů i zvyšujících se cen za jiné druhy energií a paliv. Na evropských trzích se i nadále bude odehrávat největší počet obchodů. Ceny průmyslových pelet v mnohém kopírují ceny komodit a nezávisí tolik na regionálních cenových fluktuacích. Tyto ceny zůstanou relativně stabilní. Předpokládá se, že velké množství dodávek přijde na trh z nových oblastí, zatímco dotační pobídky v Evropě společně s těmito dodávkami zvýší poptávku a zároveň budou působit jako jakýsi strop cen, které budou spotřebitelé pelet ochotni zaplatit.

Velikost a další růst trhu s peletami je silně závislá na politické vůli EU i jednotlivých států a obecné podpoře „zelené“ energetiky a na souvisejících dotačních pobídkách. Tyto pobídky jsou v současné době obzvláště příznivé v zemích, jako je Holandsko, Dánsko, Belgie, Rakousko, Německo a Velká Británie. Kromě toho závisí poptávka na výši garantovaných výkupních cen, resp. zelených bonusů a jiných podpůrných systémů pro energii z alternativních zdrojů, které ovlivňují konkurenceschopnost tohoto paliva. To je zejména případ zemí, kde velká část poptávky pelet pochází z rezidenčního sektoru, např. v Německu a Spojených státech.

Existují také určité náznaky toho, že se uživatelé průmyslových pelet začínají vymezovat oproti hlavnímu proudu, tzn. že staví svá vlastní zařízení na výrobu pelet v oblastech s vysokou dostupností biomasy, např. společnosti RWE nebo Vattenfall. To jim může zajistit lepší kontrolu nad dodavatelskými řetězci, ale dodávky samotné to nezabezpečí. Kromě toho se mnoho malých výrobců pelet začíná integrovat pro lepší kontrolu vlastní distribuce, nebo se spojují s jinými výrobci pelet, aby alespoň regionálně zvýšili svůj strategický podíl na trhu. To ukazuje na známky pozitivního zrání trhu, i když na většině trhů zatím pelety nedosáhly bodu, kdy se stávají důležitou energetickou komoditou, vzhledem k rozdílnému stupni kvality a relativně krátkodobé historii výroby. Producenti se budou ve vlastním zájmu snažit udržet ceny na co nejnižší úrovni. Proto bude i nadále nezbytné najít způsoby, jak zlepšit efektivitu a zvýšit produktivitu na stále více konkurenčním trhu s peletami.

PELETY, EKOPALIVA A KOTLE NA BIOMASU V ČESKÉ REPUBLICE

Marek Řebíček, Vladimír Stupavský

Klastr Česká peleta
rebicek@cdp.cz , predseda@ceska-peleta.cz

ANOTACE

Kotle na biomasu pro užití v domácnostech hrají na trhu v České republice dlouhodobě svoji nezastupitelnou úlohu. Tím, jak jsou různorodá paliva na bázi biomasy, liší se i konstrukce a pojetí spalovacích zařízení.

ÚVOD

V České republice jsou obecně vnímány 3 kategorie kotlů:

- zplynovací kotle na dřevo a brikety z biomasy,
- automatické kotle na pelety a sypká ekopaliva,
- krbová kamna a krbové vložky.

Zplynovací kotle na dřevo a brikety z biomasy zahrnují tepelné zdroje pro vytápění rodinných domů, kde bývají nejčastějšími palivy dřevěná polena nebo brikety vyrobené z biomasy a ojediněle také dřevní štěpka. Nejvíce klasických kotlů na kusové dřevo vyrábí firmy Viadrus a Dakon, nejvíc zplynovacích kotlů na kusové dřevo firma Atmos.

Automatické kotle na pelety a sypká ekopaliva jsou plně automatické tepelné zdroje pro vytápění rodinných domů. Kotlů na dřevní pelety se v České republice zatím vyrábí méně, různé typy peletových kotlů nabízejí např. firmy Verner, Atmos, OPOP, Benekov nebo Ponast.

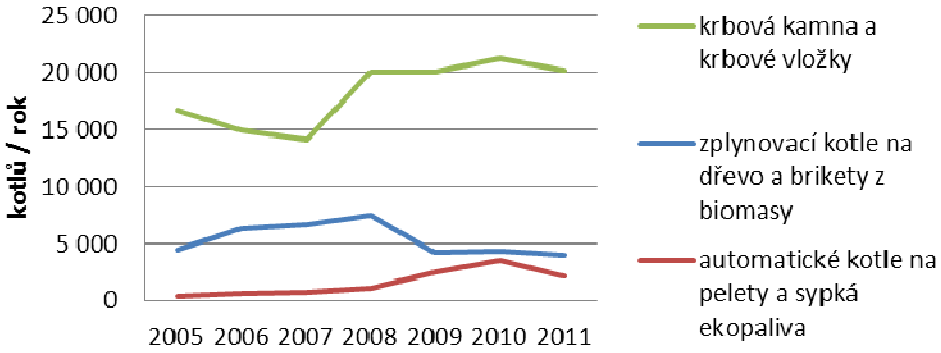
Krbová kamna a krbové vložky jsou naopak tepelnými zdroji umístěnými v obytných místnostech, mnohdy se jedná o zajímavé designové prvky. Vhodnými palivy jsou dřevěná polena a dřevěné brikety.

Celkový obrat sektoru výroby, prodeje, distribuce a servisu kotlů na biomasu se podle odhadů Klastru Česká peleta pohybuje okolo 1,3 mld. Kč za rok.

Následující tabulky a grafy přinášejí podrobnější přehled o prodejích kotlů na biomasu pro domácnosti v České republice a porovnání s ostatními prodeji kotlů do výkonu 50 kW. Data o prodejích byla shromážděna od členů a z informačních zdrojů CZ Biom, Klastru Česká peleta a portálu tzb-info.

***Tab. 1** Vývoj prodeje kotlů na biomasu v ČR [1]*

Druh kotle / rok	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**
zplynovací kotle na dřevo a brikety z biomasy	4 523	6 375	6 677	7 499	4 198	4 351	4 025
automatické kotle na pelety a sypká ekopaliva	408	652	809	1 132	2 536	3 580	2 117
krbová kamna a krbové vložky	16 641	14 953	14 121	20 103	20 089	21 181	20 212
Celkem	**21 572**	**21 980**	**21 607**	**28 734**	**26 823**	**29 112**	**26 354**

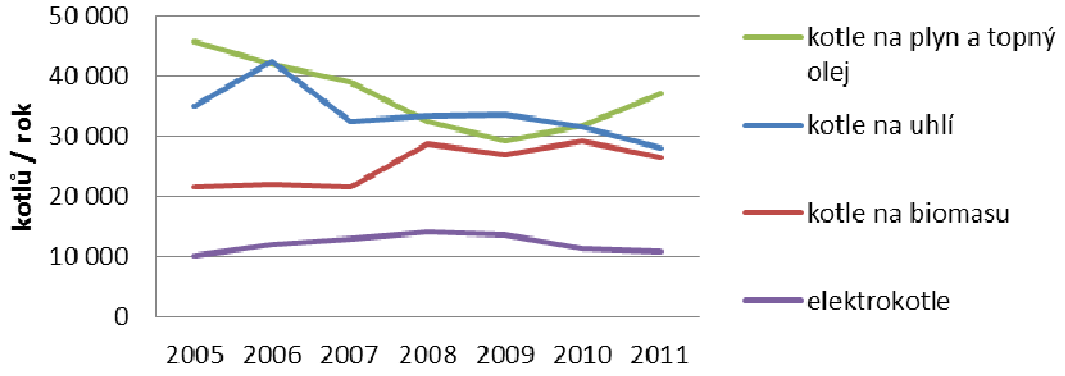


Obr. 1 *Vývoj prodeje kotlů na biomasu v ČR [1]*

Tab. 2 *Vývoj prodeje kotlů na biomasu v ČR [1]*

Druh kotle / rok	**2005**	**2006**	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**
kotle na uhlí	34 968	42 524	32 506	33 502	33 587	31 531	28 083
kotle na biomasu	21 572	21 980	21 607	28 734	26 823	29 112	26 354
kotle na plyn a topný olej	45 727	41 908	39 083	32 488	29 204	31 748	37 147
elektrokotle	10 207	11 896	12 939	13 973	13 554	11 218	10 762
Celkem	**112 474**	**118 308**	**106 135**	**108 697**	**103 168**	**103 609**	**102 346**

Z vývoje prodejnosti kotlů v posledních letech lze vyčíst, že poměrně stabilní meziroční prodeje mají pouze elektrokotle. Prodeje kotlů na uhlí, zemní plyn a topný olej vykazují za dané období sestupnou tendenci. Jedinými druhy kotlů s narůstajícími objemy prodejů jsou kotle na biomasu. Pokud se podíváme na statistiky kotlů na biomasu blíže, rostoucí prodeje lze pozorovat u krbových kamen, krbových vložek, které jsou v tomto porovnání dominantní, a také u automatických kotlů na pelety, jejich prodej se od roku 2005 zvedl více než sedminásobně. U zplynovacích kotlů na dřevo a brikety z biomasy došlo k výraznějšímu poklesu prodejů mezi lety 2008 a 2009, současný stav prodejů je na úrovni roku 2005.



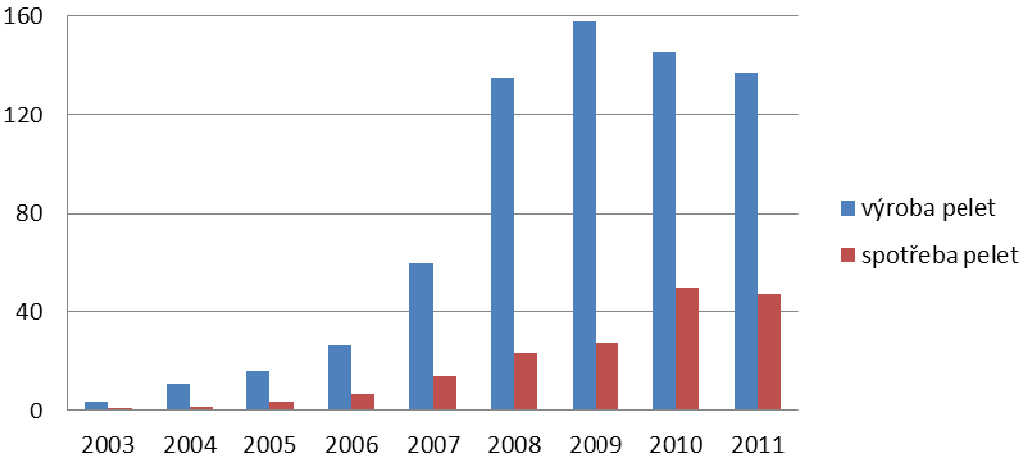
Obr. 2 *Vývoj prodeje kotlů na biomasu [1]*

V tomto výčtu je třeba zdůraznit, že kotle na biomasu v České republice mohou jako jediné, navzdory celkovému poklesu prodejů na trhu tepelných zdrojů, vykázat rostoucí trend. Výrobci kotlů na biomasu, pelet a ekopaliv spolu čile komunikují a každoročně se potkávají na společných akcích.

Obr. 3 *Společný prestižní stánek 11-ti úspěšných firem z oboru biomasa na mezinárodním veletrhu Moderní vytápění 2012 [1]*

VÝROBA A SPOTŘEBA PELET V ČESKÉ REPUBLICE

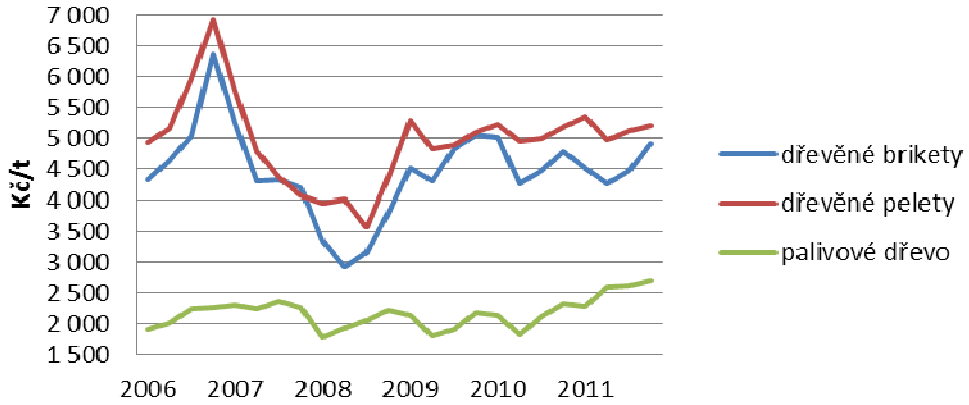
Česká republika je v současnosti ve výrobě dřevěných pelet především exportérem, domácí spotřeba je oproti vývozům nízká a nejsou využity všechny výrobní kapacity.



Obr. 4 *Výroba a spotřeba pelet v ČR (data za rok 2011 jsou z části stanovena odhadem) [1]*

Vývoj v oblasti využívání pelet je pozitivní. V roce 2010 bylo vyrobeno zhruba 145 tisíc tun dřevěných pelet, z toho vývoz činil 111 tisíc tun, dovoz přesáhl 13 tisíc tun. Tuzemská spotřeba se tak pohybuje ve výši cca 50 tisíc tun. Ačkoliv mírně poklesla výroba a poklesl vývoz, vzrostla tuzemská spotřeba a to především v sektoru domácností.

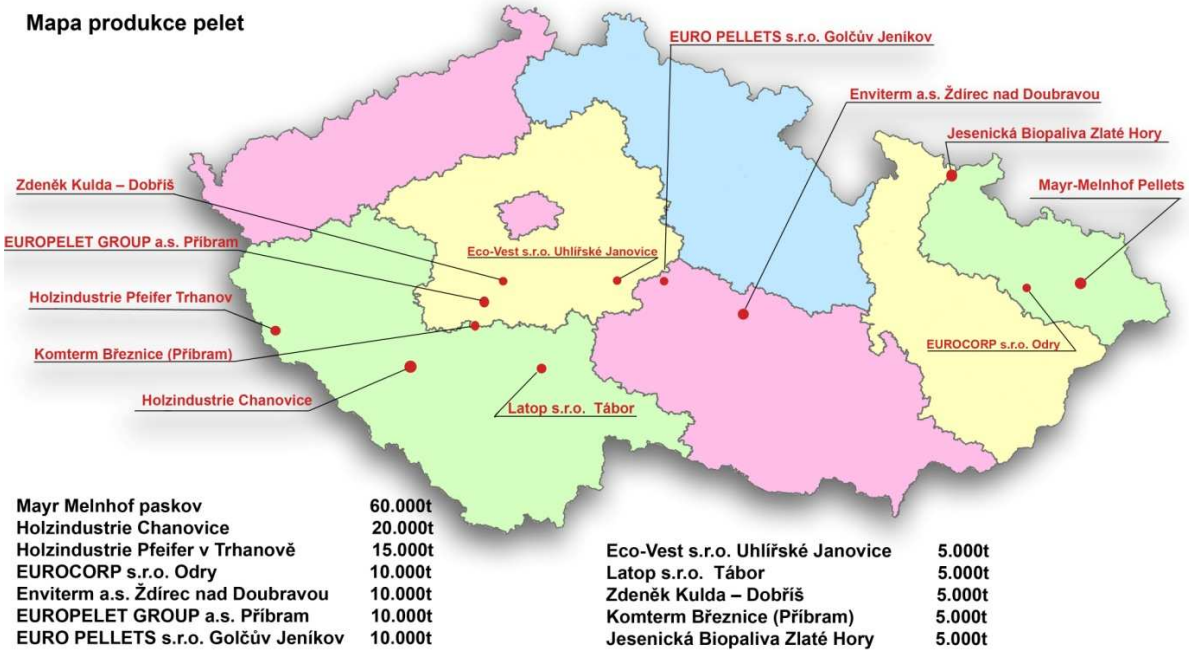
Poptávka rostla i po automatických kotlích na pelety – v roce 2010 se jich prodalo přes 4800, což bylo především zapříčiněno možností národní dotace z programu Zelená úsporám. Jejich celkový počet však dosud není nijak vysoký, v domácnostech je odhadem 11 tisíc kusů (ke konci roku 2010). V prodejích se v posledních dvou letech objevují i krbová kamna na pelety, nicméně jejich prodej je zatím okrajový. Perspektivně je možno předpokládat, že celá tuzemská produkce pelet se uplatní v České republice a že se jisté množství bude dovážet ze Slovenska, Polska, Ukrajiny či Ruska. Vývoj dovozů za první čtvrtletí roku 2011 odpovídá zhruba stejnému období roku předchozího.



Obr. 5 *Vývoj cen paliv z biomasy pro domácnosti [1]*

S ohledem na současný propad počtu prodaných kotlů na pelety (konec programu Zelená úsporám) je však nepravděpodobné, že během pár let bude česká výrobní kapacita vyčerpána.

V roce 2010 nastala také pro menší výrobce pelet neznámá situace, díky změnám v dřevozpracujícím průmyslu (veřejné tendry státního podniku Lesy České republiky) nastal nedostatek a vysoká cena vstupní suroviny, díky čemuž došlo minimálně v jednom případě k ukončení výroby a v jednom případě k přechodu na výrobu rostlinných pelet. České pelety se čím dál hůře prodávají v zahraničí. Tradiční trhy v Rakousku a Itálii obsazují výrobci z Rumunska a Bosny.



Obr. 6 *Mapa výrobců pelet v České republice [2]*

Leadrem trhu je největší česká pila Mayr-Melnhof v Paskově s výrobou okolo 60 tisíc tun. (kapacita je však 100 000 t). Druhá ve velikosti je Holzindustrie Chanovice v západních Čechách (společnost Haas Fertigbau) s výrobou okolo 20 000 t. Třetí je Holzindustrie Pfeifer v Trhanově u Domažlic (cca 15 000 t). Dále následují ryze čeští výrobci s kapacitou okolo 10.000 t ročně.

- EUROCORP s.r.o., Odry;

- Enviterm a.s., Ždírec nad Doubravou;
- EUROPELET GROUP a.s., Příbram;
- EURO PELLETS s.r.o., Golčův Jeníkov.

Z malých výrobců okolo 5 000 t jsou uvedeny jen ti, kteří mají nějakou tradici a stabilitu na trhu:

- Eco-Vest s.r.o., Uhlířské Janovice;
- Latop s.r.o., Tábor;
- Zdeněk Kulda, Dobříš;
- Komterm, Březnice.

Výrobci pelet okolo kapacity 2 000 t ročně nejsou uvedeni, jejich význam je okrajový a lokální.

Obr. 7 *Mayr-Melnhof Pellets, Paskov (vlevo), Holzindustrie Chanovice (uprostřed), Holzindustrie Pfeifer, Trhanou (vpravo)*

Především je potřeba si uvědomit, že výroba pelet přirozeně kopíruje silný dřevozpracující průmysl či je ideálně jeho součástí. Dnes stojí řada českých peletáren na zelené louce a pilina je dovážena. Tato situace může být do budoucna neudržitelná, logistika prodražuje pelety, výrobce pelet nemá jasnou vazbu na surovinu a jeho výrobní stabilita je v zimě proměnlivá. Výrobou pelet výrazně zamíchá vybudování energocentra v pile Stora Enso ve Ždírci nad Doubravou (pořez 1 mil. m^3 kulatiny ročně), kdy od roku 2013 nebude pravděpodobně dostupná surovina pro výrobce pelet a briket v kraji Vysočina. Pro výrobu certifikovaných pelet je nutná čistá odkorněná smrková pilina a nelze ji nahradit jako u briket jiným druhem.

Při produkci pelet existuje jasné vymezení mezi vysokou kvalitou a cenou (cca 200 eur/t) pro pelety do rodinných domů a budov a průmyslovou peletou, i když dřevěnou, která nemá větší cenu než cca 120 eur/t a může konkurovat dřevní štěpce. Kotle na pelety i velkých výkonů prakticky neumí spalovat jiné než certifikované pelety a popelnatost větší než 2 % z objemu spolu s nižším bodem tavení popela znamená, že popel struskuje a napéká se na hořáky.

Budoucnost by mohla vypadat tak, že tak jak se bude koncentrovat pilařská výroba u pár výrobních gigantů, bude i výroba pelet pouze u původců suroviny. Tato vize může být pro lokálního prodejce sáčkovaných pelet značně radikální, avšak větší distributorské firmy se potýkají s problémem, že pokud chtějí dodat zákazníkovi pelety komfortně cisternou, palivo naloží pouze ve velkých peletárnách, kterých je v České republice málo. Ostatní nejsou pro danou dopravu buď připraveni, nebo nemají dostatečnou kapacitu či zaručenou kvalitu pelet po celý rok. Tento koncept zpravidla funguje v cizině.

To však neznamená, že pelet bude nedostatek, největší výrobci svoji produkci převážně exportují (jsou navíc vlastněni rakouskými či německými dřevařskými koncerny). Pokud stoupne prodej pelet v České republice, rádi zaměří svůj prodej na domácí trh, i pro ně je export pro dopravní náklady obtížný. V současnosti převyšuje německá výroba cca 1,5-krát německý domácí trh a zejména severní Čechy se pro import z Německa hodí.

DOSTUPNOST PELET

Pokud se podíváme na dostupnost pelet v jednotlivých regionech ČR z pohledu koncového zákazníka, je situace uspokojivá. Po letech, kdy pelety byly spíše osobním hobby, jsou nyní k nalezení v každé lokální prodejně řeziva, řetězcích, u topenářů a také malí výrobci se zaměřují na osobní prodej. Obsluha zákazníka je problematičtější, většinou se prodejci spoléhají na odběr pár set kilo osobními auty, doprava je realizována místním nákladním automobilem s nevyrovnanou kvalitou služby. Za ideální standard se považuje nákladní auto s terénním manipulátorem, které umí paletované zboží uskladnit až zákazníkovi do garáže.

Obr. 8 *Nákladní auto s terénním manipulátorem (vlevo) a specializovaná cisterna pro dodávku pelet (vpravo)[2]*

Cisternové dodávky s celorepublikovým pokrytím se teprve rozjíždějí, ale již fungují. Ostatní dodavatelé dopravu řeší nájmem zemědělského přepravníku na krmiva či cementovou cisternou. Kvalita a spotřebitelská úroveň je však proměnlivá, auta nemají certifikované váhy, čímž se vystavují sankcím obchodní inspekce, nelze odsávat prach ze skladů apod. Nicméně cisternová přeprava je vnímána jako klíč pro rozšíření topení dřevěnými peletami.

LITERATURA

[1] Klastr Česká peleta, 2012
[2] CDP.cz, 2012

DIMENZOVÁNÍ A VOLBA TEPELNÉHO ČERPADLA PODLE ROČNÍ ENERGETICKÉ BILANCE A OPTIMÁLNÍHO PROBĚHU

Václav Helebrant

Stiebel Eltron spol. s r.o.
vaclav.helebrant@stiebel-sltron.cz

ANOTACE

Příspěvek se zabývá dimenzováním a volbou tepelného čerpadla podle roční energetické bilance a optimálního proběhu v systémech země-voda a vzduch-voda. Popisuje i návaznosti na nízkoenergetické a pasivní domy.

ÚVOD

Se stoupajícími cenami zdrojů energie vystupuje do popředí mj. i maximální využití její primární formy pro provoz zdroje s tepelným čerpadlem. Cena tepelné energie z tepelného čerpadla je kolem 0,90 Kč/kWh, cena plynu kolem 1,50 Kč/kWh a cena elektřiny pro vytápění cca 2,50 Kč/kWh. Tím stoupá požadavek na roční provozní využití tepelného čerpadla, což je proces žádoucí. Přitom však majitel tepelného čerpadla často klade otázku, jak se tím ovlivňuje životnost kompresoru.

Při masivním uvedení kompresorů scroll na trh před cca 10 lety odpovídali výrobci tepelných čerpadel, že životnost kompresorů bude nejméně 30 000 provozních hodin. Víme, že na řadě instalací byla tato hodnota již překročena a tepelná čerpadla fungují bez problémů dále. Simulované zátěžové zkoušky, které jsme prováděli v laboratoři po dobu 6 let, ukázaly menší opotřebení, než byl původní odhad. Domníváme se proto, že dobře instalované a provozované tepelné čerpadlo může mít životnost 50 000 provozních hodin i vyšší. Samozřejmě, nesmí být trvale zatěžováno na maximální parametry. Ostatně s autem také nejezdíme stále na plný plyn. O optimální provoz tepelného čerpadla a kotelny se stará jeho ekvitermní regulátor, který však nesmíme nutit do extrémů.

V tomto článku bude popsán postup pro návrh tepelného čerpadla. Součástí instalace tepelného čerpadla systému země - voda je soustava vrtů nebo zemního kolektoru a pro jeho dimenzování je nutno také stanovit mj. i roční proběh.

NÁVRH ZDROJE S TEPELNÝM ČERPADLEM ZEMĚ - VODA

Návrh soustavy vrtů nebo plošného kolektoru

Porovnejme si současně doposud obvyklý způsob stanovení tepelného výkonu vrtů procentem z výkonu čerpadla a podle roční energetické bilance. Obvyklá prvotní úvaha vycházela z průměrného topného faktoru a říkala, že výkon vrtů musí být cca 65 až 70 % z vypočtené tepelné ztráty, hodnota 65 až 70 % je empirická a koresponduje s uvažovaným topným faktorem. Zbytek energie dodává kompresor.

Lze uvést příklad, kde vypočtená tepelná ztráta Q_n je 7,2 kW. Potřebný výkon vrtů je uvažován $0{,}65 \cdot Q_n = 4{,}7$ kW. Při uvažovaném měrném výkonu půdy 55 W/m se stanoví potřebná délka vrtu 85 m.

Využijme nyní metodiku podle [1] a stanovme roční proběh vrtů na 2 200 provozních hodin. K tomuto proběhu jsou totiž v literatuře stanoveny měrné výkony půdy ve W/m délky vrtu nebo W/m^2 plochy plošného kolektoru. Musíme tedy především vypočítat roční potřebu tepla.

Pro tepelnou ztrátu 7,2 kW bude uvažováno 15 600 kWh/rok. Průměrný roční topný faktor COP je 4,0. Práce kompresoru tedy bude 3 900 kWh/rok. Energie požadovaná pro dodávku z vrtů je 11 700 kWh/rok (15 600 – 3 900). Při požadovaném proběhu 2 200 h/rok bude průměrný výkon vrtů

11 700 / 2 200 = 5,32 kW.

Délka vrtů při předpokládaném průměrném měrném výkonu 55 W/m bude 97 m. Bilanční metodou tedy dospějeme k vrtům o cca 13 % až 15 % delším a tuto hodnotu považujme za správnou. Opírá se totiž především o fyzikální, tj. tepelně technické vlastnosti domu a vrtů.

Návrh tepelného čerpadla země - voda

Ve stejném duchu lze pokračovat i při volbě tepelného čerpadla země – voda. Je nutné především respektovat roční proběh 2 200 hodin, neboť musí být shodný s proběhem vrtů. Roční potřeba tepla je uvažována opět 15 600 kWh/rok. Průměrný výkon tepelného čerpadla tepelného čerpadla bude

15 600 / 2 200 = 7,09 kW.

Tepelné čerpadlo nyní musíme zvolit podle správného parametru. Pro jeho výběr zvolíme tepelný výkon v bodě B0 °C/W35 °C. Tento výkon uvádí každý výrobce a nejlépe vystihuje průměr otopné sezóny ve smíšené soustavě radiátory + podlahové topení, tj. teplotu otopné vody na výstupu tepelného čerpadla 35 °C a teplotu na výstupu vrtů 0 °C, což odpovídá spíš horšímu stavu vrtů nebo plošného kolektoru na konci otopné sezóny. Výběr tepelného čerpadla lze takovýmto přibližným přiřazením ukončit.

Správnější je však přiřazení konkrétního tepelného čerpadla podle provozních hodin. K tomu potřebujeme výpočtový program, např. podle [2]. Tepelné čerpadlo pak volíme tak, abychom se co nejvíce přiblížili požadovanému proběhu. Při tom mimoděk zjistíme, že takto zvolené tepelné čerpadlo pokryje nejméně 95% roční potřeby tepla prací kompresoru a maximálně 5 % tepelné energie dodá druhý zdroj, například elektrokotel. Přitom je to další žádoucí výsledek: minimalizovat dodávku tepla z bivalentního zdroje.

Příklad

Ukažme si vztah výkonu tepelného čerpadla a ročního proběhu na grafu (viz obrázek 1). Pro příklad zvolíme tepelnou ztrátu domu 20 kW při -12 °C, abychom se s požadovaným výkonem dostali doprostřed výkonové řady tepelných čerpadel a vyjádření bylo výstižnější (viz tabulka 1).

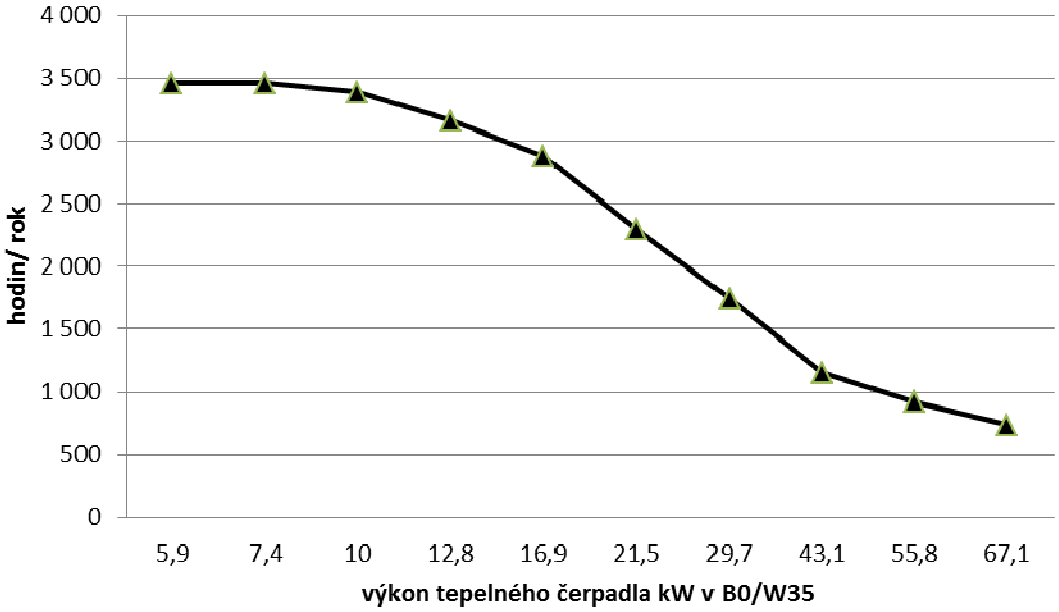
Tab. 1 *Volba tepelného čerpadla země-voda*

Typ WPF	**5**	**7**	**10**	**13**	**16**	**20**	**27**	**40**	**52**	**66**
výkon v B0/W35 kW]	5,9	7,4	10	12,8	16,9	21,5	29,7	43,1	55,8	67,1
proběh pro -12°C [h]	3 459	3459	3387	3160	2876	**2297**	1743	1152	920	739
bivalence pro -12°C [%]	85,4	77,3	65,4	43,3	27,9	1	0	0	0	0

Graficky je vztah mezi proběhem a výkonem tepelného čerpadla uveden na obrázku 1. Je vidět, že optimálního proběhu i minimální spotřeby energie z bivalentního zdroje se dosahuje pro výkon 21,5 kW tepelného čerpadla dané výkonové řady.

Závěr

V systému země – voda volíme tepelné čerpadlo, jehož výkon v bodě B0/W35 odpovídá tepelné ztrátě při výpočtové venkovní teplotě.



Obr. 1 *Vliv výkonu tepelného čerpadla na roční proběh*

NÁVRH TEPELNÉHO ČERPADLA VZDUCH - VODA

Při použití tepelného čerpadla vzduch – voda se postupuje na počátku stejně, tzn. nejprve se stanoví průměrný výkon tepelného čerpadla z požadovaného ročního proběhu. Vycházejme opět z tepelné ztráty 20 kW. Roční potřeba tepla je uvažována 46 300 kWh/rok, průměrný výkon tepelného čerpadla tepelného čerpadla tedy bude

46 300 / 2 200 = 21,0 kW.

Poněkud jiný je postup přiřazování. Jako vztažný bod volíme hodnotu A2/W35, tzn. venkovní teplota (na vstupu do tepelného čerpadla) je +2 °C, výstupní teplota otopné vody 35 °C. Tepelná čerpadla vzduch – voda jsou v průběhu sezóny velmi závislá na teplotě venkovního vzduchu. Proto v dané výkonové řadě volíme tepelné čerpadlo nejméně o jeden stupeň větší, než odpovídá tepelné ztrátě při oblastní výpočtové teplotě. Přesněji provedeme přiřazení pomocí výpočtového programu, např. podle [2].

Tab. 2 *Volba tepelného čerpadla vzduch-voda*

Typ WPL	**10**	**13**	**18**	**23**	**33**	**34**	**47**	**57**
výkon v A2/W35 [kW]	6,4	8,1	11,3	15,7	17,7	19,2	26,5	29,9
bivalence pro -12°C [%]	78,6	68,2	44,5	26,6	8,3	12,7	0,5	0,1
proběh pro -12°C [h]	3356	3314	3107	2772	2466	2392	**1862**	1706
bivalence pro -19°C [%]	78,1	68,2	50,5	31,2	14,2	23,3	4,5	1,5
proběh pro -19°C [h]	5189	4850	4405	3986	3585	3488	2804	2590

Závěr

Použití tepelných čerpadel vzduch - voda, zejména pro nízké oblastní výpočtové teploty (např. -15 °C až -19 °C) o jeden až dva stupně vyšší, je jednak logické a dále jen minimálně zvyšuje investici ve vztahu k celému zdroji tepla a otopné soustavě. Ostatní příslušenství je stejné a rozdíl v ceně tepelného čerpadla o vyšším výkonu v rámci typové řady je obvykle v tisícikorunách. Navíc zdroje primární energie, tj. tepla ze vzduchu, je neomezeně a je

zdarma. Zejména důležité je minimalizovat dotop bivalentním zdrojem pod 5 % ročně a i zde je volba většího tepelného čerpadla synergickým řešením.

NÁVAZNOSTI V RÁMCI ZDROJE S TEPELNÝM ČERPADLEM

Akumulace tepla u tepelného čerpadla vzduch - voda

Zejména tepelná čerpadla vzduch – voda vyžadují pro svůj optimální provoz akumulátor tepla. Pro stanovení objemu akumulačního zásobníku je vhodné za výše uvedené volby výkonu přidržet se výkonu tepelného čerpadla a poměru cca 20 litrů na 1 kW výkonu. Tzn. pro tepelné čerpadlo o výkonu 19,2 kW zvolíme akumulační zásobník nejméně 400 l. Objem otopné soustavy je pro optimální provoz tepelného čerpadla méně významný, protože je obvykle oddělen regulačními armaturami.

Zajištění optimálního průtoku tepelným čerpadlem

Uvedená metoda přiřazuje otopné soustavě poměrně velký výkon tepelného čerpadla. Do popředí tedy vystupuje i správné dimenzování potrubí a armatur v kotelně, protože pro správné provozní podmínky potřebuje tepelné čerpadlo, jakožto nízkoteplotní zdroj, velký průtok. Ten musí zajistit teplotní spád Δt = 5 K. Pro porovnání se podívejme na potřebné průtoky s tepelným čerpadlem (Δt = 5 K) a plynovou kotelnou (Δt = 15 K), viz tabulka 2. Je vidět, že na propojení tepelného čerpadla je nutno používat potrubí s dimenzí o 2 stupně vyšší než u plynové kotelny.

Tab. 3 *Dimenze potrubí a přenášený výkon pro různá Δt*

Δ*t* [K]	**5**	**7**	**9**	**15**
kW	DN	DN	DN	DN
5	20	16	16	12
7	25	20	16	12
10	32	25	20	16
14	32	25	25	20
20	40	32	32	20
25	40	40	32	25
30	50	40	32	25

Návaznosti v nízkoenergetických a pasivních domech

Při dimenzování zdroje s tepelným čerpadlem je v domech s velmi nízkou tepelnou ztrátou třeba mít na mysli požadovaný průtok do otopné soustavy, daný okamžitou tepelnou ztrátou. Tepelné čerpadlo bude mít technologický požadavek na průtok podle tabulky 4.

Tab. 4 *Průtok tepelným čerpadlem pro Δt = 5 K*

Výkon [kW]	**DN [mm]**	**V [m3/h]**	**w [m/s]**
5	20	0,9	0,8
6	20	1,0	0,9
7	25	1,2	0,7
8	25	1,4	0,8
9	25	1,5	0,9
10	32	1,7	0,6

Nicméně otopná soustava při venkovní teplotě +2 °C potřebuje průtok podle tabulky 5.

roční měrná potřeba [kWh/m^2.rok]	**15**	**30**	**50**
plocha domu [m^2]	průtok [l/h] při +2 °C		
100	103	207	344
120	124	248	413
140	145	289	482
160	165	331	551
180	186	372	620

Závěr

Z porovnání hodnot v tabulce 4 a 5 je zřejmé, že průtoky tepelným čerpadlem a otopnou soustavou se násobně liší. Jediným možným řešením je zde akumulace, tj. použití akumulačního zásobníku.

ZÁVĚR

Se stoupajícími cenami energie je použití tepelných čerpadel stále výhodnější. Je však třeba maximálně využívat práci kompresoru a dbát, aby podíl na roční bilanci energie z bivalentního zdroje byl nižší než 5 %. V tomto článku bylo ukázáno, že se takovým návrhem současně i optimalizuje proběh kompresoru kolem 2 200 hodin ročně a je zajištěna životnost tepelného čerpadla delší než 15 až 20 let.

LITERATURA

[1] SVAČINKA M. *Metodika pro návrh tepelného čerpadla země – voda.* Metodický materiál Asociace pro využití tepelných čerpadel, únor 2012, dostupný na www.avtc.cz

[2] ŠAFRÁNEK D., HELEBRANT V. *Výpočet návratností.xls.* Výpočtový systém pro výběr a porovnávání zdroje s tepelným čerpadlem s jinými tepelnými zdroji. Podklad Stiebel Eltron, dostupný na firemním DVD

[3] NOVOHRADSKÝ I. *Metodika pro návrh tepelného čerpadla vzduch – voda.* Metodický materiál Asociace pro využití tepelných čerpadel, duben 2012, dostupný na www.avtc.cz

VYTÁPĚNÍ VELKOPROSTOROVÝCH OBJEKTŮ SÁLAVÝMI PANELY A TEPELNÝMI ČERPADLY

Ondřej Hojer[1], Robert Krainer[2]

[1]ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí
[2]NUKLEON s.r.o, Ptáčov 73, Třebíč
ondrej.hojer@fs.cvut.cz, krainer@nukleon.cz

ANOTACE

V článku je podrobně rozebíráno téma vytápění velkoprostorových objektů v kontextu neustálého zpřísňování požadavků na součinitele prostupu tepla obálek nových budov. Snižováním potřebného měrného instalovaného výkonu (Watt na metr čtvereční podlahové plochy) klesá i potřeba instalace vysokoteplotního zdroje tepla pro vytápění velkoprostorových objektů. Porovnává se roční potřeba tepla na vytápění relativně nové průmyslové haly s obálkovými konstrukcemi vyhovujícími normě ČSN 73 0540-2:2007 při uvažování čtyř různých zdrojů tepla (centrální zásobování teplem, standardní plynový kotel, kondenzační kotel a tepelné čerpadlo země-voda). Otopnou soustavu ve všech případech tvoří jedna z nejhospodárnějších soustav pro velkoprostorové objekty, závěsné stropní sálavé panely. Pro jednotlivé varianty je zpracováno ekonomické vyhodnocení návratnosti investice metodou NPV. V tomto konkrétním projektu vychází doba návratnosti investice do nového tepelného čerpadla země–voda 16 let. Tato hodnota není ideální, ale není zase tak vysoká, aby se vzhledem k nejistotám jednotlivých ovlivňujících faktorů (cena za zdroj tepla, růst ceny energie, diskont) nemohla stát varianta s tepelným čerpadlem zajímavou pro celou řadu projektů.

ÚVOD

Tak, jak se zvyšují požadavky na snižování spotřeb energie a emisí CO_2, zpřísňují se i požadavky na součinitele prostupu tepla jednotlivých obvodových konstrukcí staveb. V české normalizaci lze zpřísňování požadavků sledovat na vývoji normy ČSN 73 0540-2. Díky širokému uplatňování požadavků této normy v praxi se u nových staveb výrazně snižují tepelné ztráty prostupem. Současně se zlepšuje i těsnost obálek budov a tak výrazně klesá i tepelná ztráta větráním, která se u velkoprostorových objektů dříve realizovala převážně infiltrací. Dnes se čím dál častěji objevuje i u velkoprostorových budov větrání nucené. U většiny nových velkoprostorových objektů se však větrání více méně neřeší. Vše vede k výraznému snížení potřebného měrného instalovaného výkonu otopných soustav. Ukazuje se, že pro celoplošné rovnoměrné vytápění je výrazně lepší u takovýchto nových objektů instalovat takové otopné soustavy, které pracují s nižšími povrchovými teplotami činné otopné plochy. Díky tomu se otevírá i u takovýchto objektů prostor pro dosud příliš nevyužívané zdroje tepla, jako jsou kondenzační kotle nebo dokonce tepelná čerpadla.

Důležitým aspektem pro volbu co nejhospodárnější otopné soustavy se u velkoprostorových objektů ukazuje být způsob vytápění. Výhodou sálavého vytápění oproti teplovzdušnému je skutečnost, že při sálavém vytápění neohříváme celý objem vzduchu v hale, abychom dosáhli tepelné pohody. Vzhledem k vyšší střední radiační teplotě mohou být teploty vzduchu až o 2 až 4 K nižší, než v případě teplovzdušného vytápění při zachování stejné úrovně tepelné pohody. Tím je společně s možností lokálně odstavovat jednotlivé otopné plochy možné dosáhnout úspor až ve výši 40 % spotřebované energie na vytápění proti běžným nástěnným teplovzdušným soupravám [1].

V příspěvku byla vybrána specifická otopná soustava, která umožňuje splnit oba předchozí body pro dosažení hospodárné otopné soustavy, tedy využívat maximálně princip přenosu tepla sáláním a přizpůsobovat povrchovou teplotu otopné plochy potřebě daného prostoru. Jedná se o vodní sálavé panely.

Základem sálavých panelů je trubkový registr, který má rozšířenou přestupní plochu o kovové lamely (nejčastěji hliník nebo ocel). Tato otopná plocha se zavěšuje pod strop a spojuje se do souvislých pásů libovolné délky, šířka je u většiny výrobců maximálně 1200 mm (viz obrázek 1).

Obr. 1 *Typické pásy sálavých panelů vytápějících skladový prostor*

Protože hospodárná otopná soustava sama o sobě nezaručí optimální provozní chování celku, bylo třeba se zaměřit i na výběr vhodného zdroje tepla. K těmto účelům byla zpracována případová studie vytápění průmyslové haly sálavými panely s využitím:

a) tepelného čerpadla země–voda TČ;

b) kondenzačního kotle KK;

c) standardního kotle SK;

d) centrálního zásobování teplem CZT.

Tyto zdroje se liší jednak účinností výroby (KK, SK) nebo transformace (TČ, CZT) tepelné energie a jednak výpočtovou výstupní teplotou vody. Konkrétní výpočtové hodnoty jsou patrné v tab. 1.

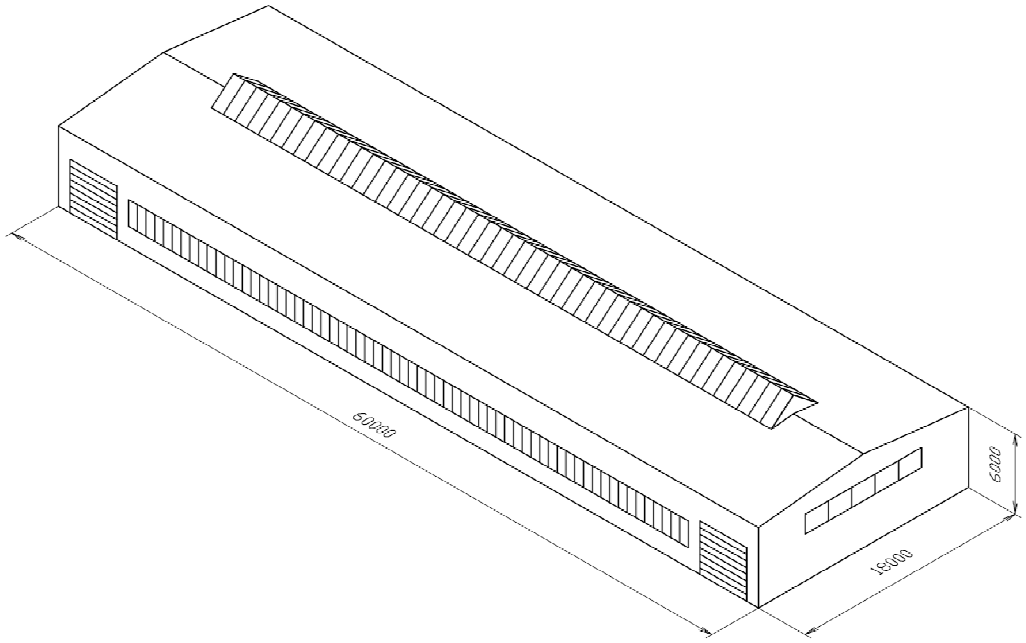
METODA ČISTÉ SOUČASNÉ HODNOTY NPV

Metoda čisté současné hodnoty NPV (Net present value) [2] spočívá v obvyklém výpočtu celkových nákladů za dobu životnosti daného řešení. Rozdíl je, že NPV se na celý projekt dívá ze současného pohledu. Peníze, které budu muset investovat v budoucnosti (typicky provozní náklady) z dnešního pohledu nemají takovou absolutní hodnotu, protože za to

období můžu peníze, které bych investoval dnes zhodnotit jiným způsobem. Procentní hodnota alternativního zhodnocení peněz se nazývá diskont a při konzervativním odhadu se pohybuje od 2 do 7 %. V případové studii byla použita hodnota 3 %.

PŘÍPADOVÁ STUDIE

Pro případovou studii byla zvolena standardní průmyslová hala o rozměrech 60 × 18 × 6 m pod vazník. Na bočních stranách má prosklená okna a dvoje vrata, na střeše sedlový světlík (viz obrázek 2). Veškeré obvodové konstrukce odpovídají ČSN 73 0540-2:2007, tedy období výstavby od roku 2007 do loňského listopadu. Výsledné celkové tepelné ztráty vychází 75 kW. Pro stanovení tepelných ztrát větráním byla uvažována intenzita větrání 0,3 h^{-1}. Přitom podíl tepelné ztráty větráním vyšel 30 %. Se zlepšujícími se tepelně-technickými vlastnostmi obvodové konstrukce podíl tepelné ztráty větráním výrazně stoupá (při uvažování přívodu stejné množství čerstvého vzduchu).



Obr. 2 *Průmyslová hala vyhodnocovaná v případové studii*

Pro výše zmíněné parametry, rozměry a různé teplotní rozdíly teplonosné látky odpovídající jednotlivým zdrojům tepla (viz tabulka 1) byly do haly navrženy vodní sálavé panely. Ve všech případech vyšly vzhledem k šířce haly čtyři pásy, 56 metrů dlouhé, ovšem vždy jinak široké. U CZT od 300 až 450 mm až po 1200 mm u TČ země-voda. Technická specifikace a pořizovací náklady jsou patrné z tabulky 1.

Provozní náklady byly u všech variant stanoveny denostupňovou metodou pro Prahu (t_{ev} = -12,0 °C, 225 dnů otopného období, t_{em} = 4,3 °C). Kalkulace byla provedena pro pětidenní pracovní týden a 2 směny (e_i = 0,70, e_t = 0,90, e_d = 0,80). Jednotlivá zadání se lišila pouze ztrátami v rozvodech a účinností zdroje. Účinnost rozvodů (ztráty v rozvodech) byla stanovována pro střední teplotu teplonosné látky. Čím vyšší teplota, tím nižší účinnost. Průměrné účinnosti jednotlivých zdrojů tepla byly převzaty z portálu tzb-info [3].

Ceny elektrické energie byly pro výpočet uvažovány podle sazby D56d pro jistič od 3x16A do 3x20A: **348 Kč/měsíc + 2,60779 Kč/kWh** [3]**.** Ceny zemního plynu byly uvažovány pro průmysl **10 Kč/m^3** (7,11 Kč/m^3 uvádí pro průmysl Eurostat [4], 15,97 Kč/m^3 je poslední sazba pro spotřeby maloodběratelů do 63 000 kWh/rok [3], zde je roční potřeba

112 000 kWh/rok). Cena tepla byla uvažována **550 Kč/GJ** dle průměrných hodnot pro ČR z roku 2011 [5]. Důležitým faktorem, který také vstupuje do vyhodnocení, je předpokládaný průměrný roční nárůst ceny energie. Z vyhodnocení cen elektrické energie a zemního plynu za posledních pět let (Eurostat) [4] a [6] vyplývá průměrná hodnota růstu ceny zemního plynu 8,0 % a elektrické energie 7,0 %. Růst ceny tepla podle dat Teplárenského sdružení [5] za stejné období vychází 7,5 %.

Tab. 1 *Porovnání technické specifikace sálavých panelů a pořizovacích nákladů pro jednotlivá řešení*

	TČ	**KK**	**SK**	**CZT**
Výpočtový teplotní rozdíl [°C/°C]	55/45	65/55	90/70	130/70
Otopná plocha [m^2]	270,0	200,0	115,0	85,0
Měrný instalovaný výkon [W/m^2]	275	395	675	980
Sálavá účinnost panelů [%]	73,0	71,0	69,5	71,0
Účinnost zdroje η_z [%]*	3,0**	92,0	80,0	95,0
Účinnost rozvodů η_r [%]	98,0	97,0	96,0	95,0
Účinnost obsluhy η_o [%]	100,0	100,0	100,0	100,0
Pořizovací náklady panely (dodávka, montáž, potrubí) [Kč]	770 000	630 000	470 000	400 000
Pořizovací náklady zdroj tepla (dodávka, montáž, rozdělovače, regulace) [Kč]	1 020 000	330 000	270 000	185 000
Pořizovací náklady celkem [Kč]	**1 790 000**	**960 000**	**740 000**	**585 000**
Roční potřeba energie [MWh]	95,1	104,6	121,3	103,2
Průměrná cena energie [Kč/kWh]	0,91	1,08	1,08	1,98
Roční provozní náklady [Kč]	**86 900**	**112 600**	**130 600**	**204 400**

* účinnost výroby tepla vztažená ke spalnému teplu

** u tepelného čerpadla se jedná o průměrnou hodnotu *COP* za otopné období *COP* = 3

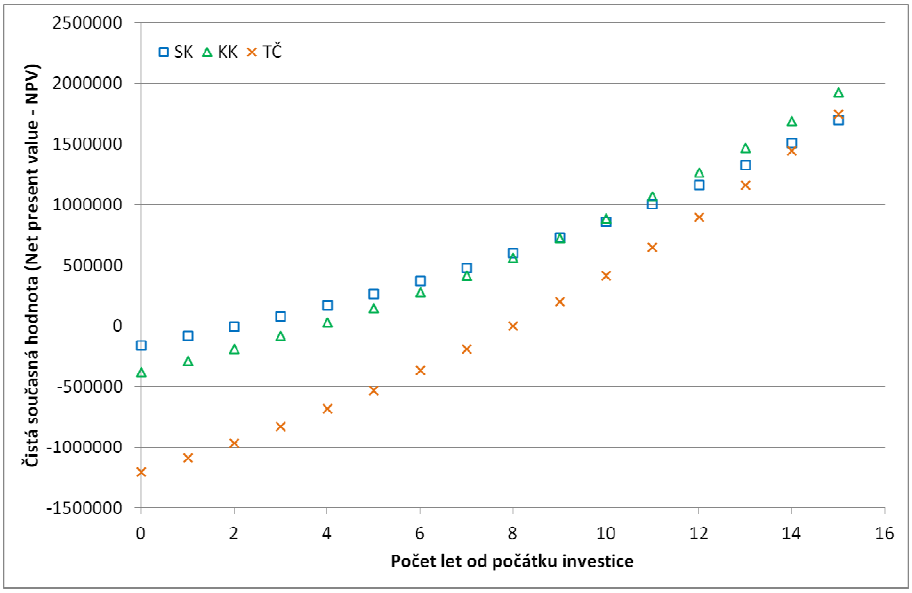
VYHODNOCENÍ

Co se týká pořizovacích a ročních provozních nákladů, výsledky v zásadě nepřekvapí (viz tabulka 1). Nejnižší celkové pořizovací náklady má varianta, kde je „zdrojem“ předávací stanice tepla, tedy centrální zásobování teplem (CZT). Musíme si však uvědomit, že do vyhodnocení nebyla zahrnuta cena za přípojku tepla. Je možné, že ta bude hrazena dodavatelem tepla. Další v pořadí je varianta s klasickým kotlem, následuje kotelna s kotlem kondenzačním a investičně nejnáročnější (oproti CZT až trojnásobně) je varianta s tepelným čerpadlem. Co se týká provozních nákladů je výsledek také očekávatelný, a to přesně opačný. Varianta s tepelným čerpadlem má nejnižší provozní náklady a naopak CZT nejvyšší.

Výsledky porovnání jsou nejlépe patrné z grafu (na obrázku 2). Vzhledem k tomu, že body zobrazují aktuální čistou hodnotu investice v daném roce oproti referenční variantě (zde byla

zvolena varianta CZT), je aktuálně nejvýhodnější varianta ta, jejíž hodnota NPV je nejvyšší. Pro rozhodování o investování je směrodatné, která varianta bude mít nejvyšší hodnotu NPV v roce, kdy končí životnost zařízení. Toto téma je u celé řady projektů klíčové. V tomto případě je trend jednotlivých křivek z grafu dobře patrný i pro období relativně krátké, a to patnáct let. Současně předpokládáme, že životnost všech zmíněných zdrojů tepla bude přibližně stejná. Mírnou výhodu pro další období má tepelné čerpadlo, jehož vrt se pravděpodobně po skončení životnosti vlastního TČ znovu nebude muset realizovat. Vyhodnocení zde bude provedeno k 15. roku investice, kdy můžeme ještě předpokládat, že všechna zařízení při pravidelných ročních servisních prohlídkách budou provozuschopná.

Jak vyplývá z obrázku, nejhůře dopadá referenční varianta, tedy s centrálním zásobováním teplem (vzhledem k tomu, že se jedná o vztažnou hodnotu je její hodnota NPV stále rovna 0). Nevýhodnost této varianty je dána převážně relativně vysokou cenou za energii (teplo). To je patrné již ze srovnání roční potřeby energie z tabulky 1. Přestože CZT nemá roční potřebu energie nejvyšší, v nákladech ostatní převýší. Druhé a třetí nejhorší po patnácti letech vychází společně varianta s tepelným čerpadlem a se standardním kotlem. Přestože má TČ velmi nízké provozní náklady, dříve než za 15 let se investice proti ostatním nevrátí. Navíc je třeba mít na paměti, jakou nejistotu obsahují vstupní parametry. Ty mohou totiž celý projekt posunout buď výrazně k ziskovým číslům, nebo naopak oproti jiným variantám výrazně do ztráty. Nejlépe tedy ve srovnání dopadla varianta s kondenzačním kotlem, ovšem rozdíly všech tří variant (kromě CZT) nejsou nijak velké. Investice do TČ by se podle trendu křivky vrátila až někde kolem 18. roku investice. Velmi dobrý výsledek obou variant s plynovými kotli je dán relativně výhodnou, pro průmysl však reálnou cenou plynu (10 Kč/m^3).



Obr. 3 *Vyhodnocení investic do jednotlivých zdrojů metodou čisté současné hodnoty NPV Porovnání proti referenční variantě CZT (SK – běžný kotel, KK – kondenzační kotel, TČ – tepelné čerpadlo)*

ZÁVĚR

Z případové studie vyplývá, že relativně nízká investice do předávací stanice tepla (varianta CZT) je již za tři roky kompenzována vysokými náklady na provoz a po velmi krátké době se přestává vyplácet. Od tří do cca deseti let je nejvýhodnější varianta s klasickým plynovým kotlem, který má stále ještě relativně nízké pořizovací náklady na kotelnu a ne až zas tak vysoké náklady provozní. Po deseti letech začíná být nejvýhodnější kondenzační kotel,

nicméně, jak je z trendu křivek patrné, někde kolem osmnáctého roku se do popředí dostane varianta s tepelným čerpadlem. Když si uvědomíme, jak výrazně se mohou výsledky měnit jednak s diskontem, odhadem budoucího růstu cen energie a i absolutní cenou energie, může být varianta s tepelným čerpadlem naprosto konkurenceschopnou variantou i u velkoprostorových staveb, kde se může zdát počáteční investice do takovéhoto zdroje odrazující. Důležité je však si uvědomit, že celé vyhodnocení bylo provedeno pro konkrétní velikost zdroje tepla, a právě ta může výsledky výrazně ovlivnit. Na určitých výkonových úrovních totiž dochází ke skokovým změnám pořizovacích i provozních nákladů. Je to dáno konstrukcí zdrojů i náklady na provoz. Vše je třeba při vyhodnocení brát v úvahu.

LITERATURA

[1] KOTRBATÝ M. *Vytápění průmyslových a velkoprostorových objektů I až XIV*. Seriál článků na portále tzbinfo.cz, Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz >, Topinfo, 2007

[2] ZIKMUND M. *Hodnocení investic: Čistá současná hodnota (NPV) stručně a jasně.* Dostupné z: <http://www.businessvize.cz >, srpen 2010

[3] TOPINFO. *Porovnání nákladů na vytápění podle druhu paliva.* Dostupné z: <http:// www.tzb-info.cz>, Topinfo, 2012

[4] EUROSTAT. *Gas prices for industrial consumers*. Dostupné z: <http:// http://epp.eurostat.ec.europa.eu>, 2012

[5] TEPLÁRENSKÉ SDRUŽENÍ ČESKÉ REPUBLIKY. *Energetika v tabulkách a grafech.* Dostupné z: <http://www.tscr.cz>, srpen 2010

[6] EUROSTAT. *Electricity prices for industrial consumers*. Dostupné z: <http:// http://epp.eurostat.ec.europa.eu>, 2012

STOKOVÝ VÝMĚNÍK A JEHO VYUŽITÍ PRO TEPELNÁ ČERPADLA

Petr Horák[1], **Marcela Počinková**[1], **Adam Bartoník**[2]

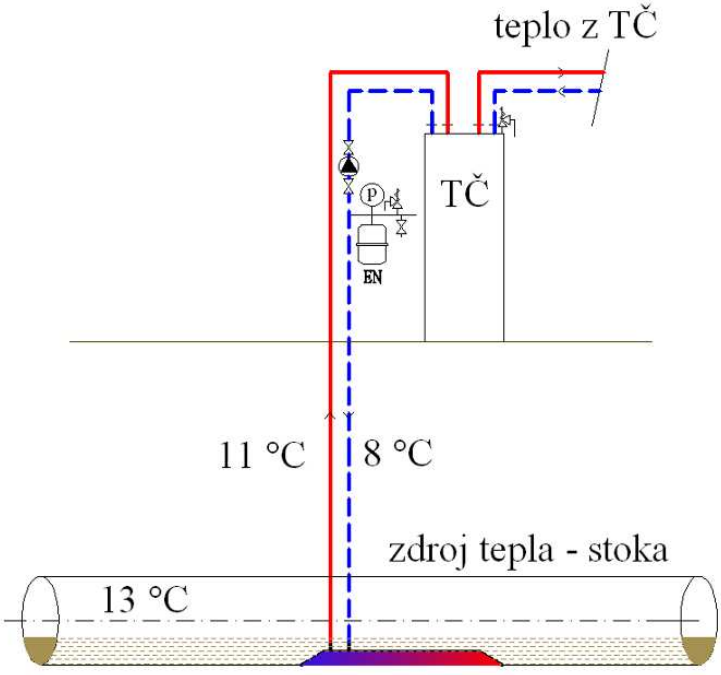
[1]Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav TZB
[2]ASIO, spol. s r.o.
horak.p@fce.vutbr.cz, pocinkova.m@fce.vutbr.cz, bartonik@asio.cz

ANOTACE

Odpadní voda je zdrojem tepelné energie, přičemž její potenciál je dnes téměř nevyužíván. Stokové sítě se vyznačují téměř konstantní teplotou v průběhu celého roku, u velkých aglomerací mají rovněž konstantní průtok. Tato skutečnost vybízí k užití stokových výměníků tepla, pro získávání tepelné energie ze splaškových vod. Výměníky ve spojení s tepelnými čerpadly nabízí možnosti využití vyrobené energie v oblasti vytápění budov či ohřevu teplé vody. Článek popisuje experiment, jehož výstupem je vyrobený stokový výměník, jenž byl verifikován v reálném provozu.

ÚVOD

Odpadní voda, která přitéká do čistíren odpadních vod (ČOV) je zdrojem velkého množství energie, odborná literatura uvádí, že obsahuje více než 9 × více energie než je nutné na její vyčištění [1]. V zahraničí je využití tepla ze stokových vod podstatně na vyšší úrovni než v ČR, tato problematika má například již v Německu legislativní rámec [2]. První instalace stokových výměníků proběhla již před více než 25 lety [3]. Teplo z odpadní vody je možné odebírat přímo v budově na domovní kanalizaci, nebo mimo budovu, ve stoce kdekoliv na trase od objektu až po ČOV, popř. i za ČOV. V případě odběru tepla ze stoky pomocí stokového výměníku, může schéma zapojení s tepelným čerpadlem (TČ) principielně vypadat jako na obrázku 1.



Obr. 1 *Umístění stokového výměníku a napojení na TČ*

Odpadní vody mají v průběhu roku teplotu v rozsahu 10 až 15 °C. V praxi se ukazuje, že čím je vyšší počet obyvatel připojených na stoku, tím méně je teplota a množství odpadní vody variabilní v čase. Tato skutečnost je pro využití odpadního tepla příznivá, a proto je možné tuto tepelnou energií využít jako zdroj pro tepelné čerpadlo [4].

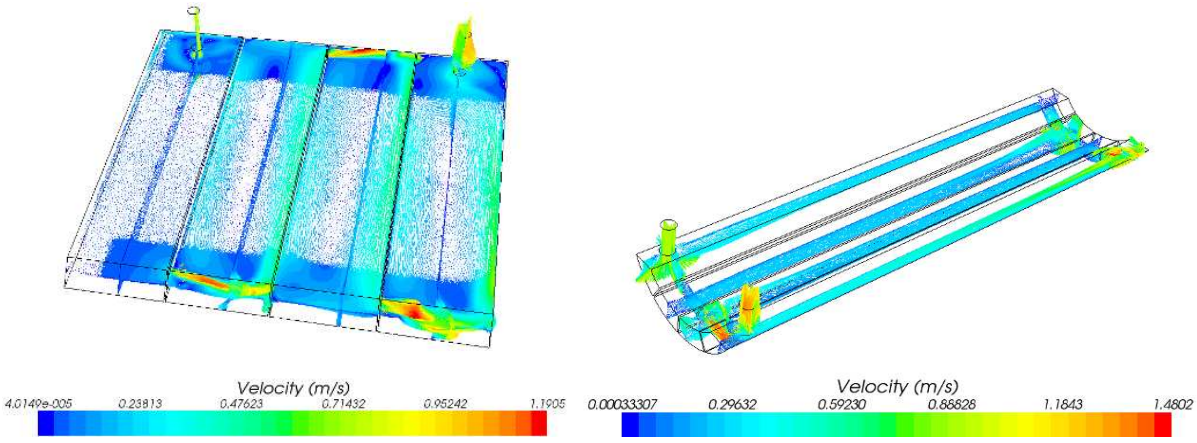
EXPERIMENT

V rámci výzkumného projektu byly vyrobeny dva prototypy stokových výměníků. Tyto výměníky byly následně nainstalovány na ČOV a bylo provedeno ověření jejich parametrů. Jeden výměník byl určen do stoky DN 300, druhý výměník byl vyroben pro osazení do čtyřhranné jímky, viz obrázek 2.

Obr. 2 *Vlevo výměník do jímky, vpravo výměník do stoky*

Numerické modelování

Vzhledem k tomu, že bylo třeba znát tepelné parametry výměníků před vlastní výrobou, bylo třeba provést návrh těchto výměníku. Nejprve byl proveden návrh čtyřkomorového výměníku, tato varianta byla zvolena z několika možných připadajících v úvahu. V rámci návrhu byl posléze vytvořen matematický model zvoleného čtyřkomorového výměníku a proběhla numerická simulace v CFD prostředí programu Star-CCM+. Cílem simulace bylo zjistit tepelný výkon výměníku, aby bylo možné vybrat adekvátní tepelné čerpadlo. Měřením bylo následně ověřeno, že simulace se ve výsledku lišila oproti naměřeným hodnotám v rámci experimentu jen o několik procent.



Obr. 3 *Numerická simulace, vektory proudění teplonosné látky uvnitř výměníků*

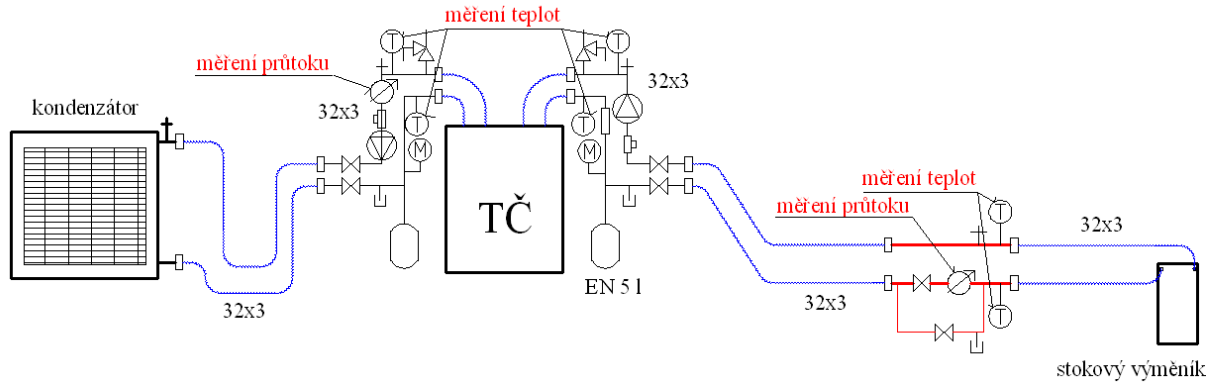
Výroba prototypů výměníků

Jakmile byly známy výsledky numerických simulací, byly vyrobeny prototypy výměníků. Bylo nutné respektovat vysokou hodnotu pH odpadních vod, která může běžně přesahovat

hodnotu 7. Použití mědi bylo z těchto důvodů zavrženo a jako výrobní materiál byla použita nerezová ocel tl. 2 mm. Výměník do jímky má rozměry 750×750 mm, výměník do stoky je dlouhý 1 m, a je uzpůsoben pro uložení do stoky DN 300. Každý výměník je uvnitř rozdělen na 4 komory, tyto komory jsou mezi sebou cik-cak propojeny malým otvorem, aby došlo k pomalému prodění a dostatečnému ohřátí teplonosné látky proudící skrze výměník. Vstup a výstup do výměníku je prostřednictvím nátrubku DN 25.

Měření výkonu výměníků

Jakmile byly prototypy k dispozici, byl sestaven zkušební okruh, který měl ověřit výkon výměníků v reálných provozních podmínkách, schéma okruhu je na obrázku 4. Bylo použito TČ voda-voda, vyrobené teplo v rámci experimentu bylo odváděno do vzduchem chlazeného vodního výměníku. Okruh byl propojen pryžovou hadicí z důvodů snadnější manipulace. Bylo sledováno povícero parametrů, včetně topného faktoru TČ. Nejdůležitějším výstupem měření byl teplený výkon výměníků. K jeho určení byly sledovány teploty a průtok na straně stokového výměníku.



Obr. 4 *Schéma zapojení zkušebního okruhu*

Na obrázku 5 je v levé polovině vidět část měřicí sestavy, která byla osazena na přenosném prvku. Dále je na obrázku jímkový výměník, který je připravován k měření, zatím není plně zaplaven odpadní vodou.

Obr. 5 *Část měřící sestavy, výměník v jímce*

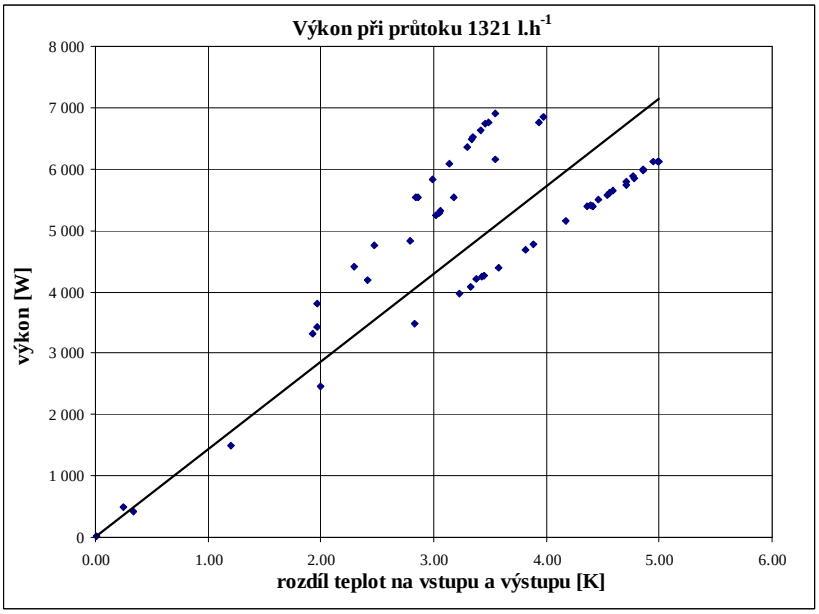
VÝSLEDKY

Měřením byly určeny tepelné výkony výměníků. Základní výsledky obou výměníků pro dané okrajové podmínky jsou uvedeny v tabulce 1. Jímkový výměník má díky větší teplosměnné ploše zhruba dvojnásobný výkon. Na obrázku 6 je uveden výkon jímkového výměníku pro

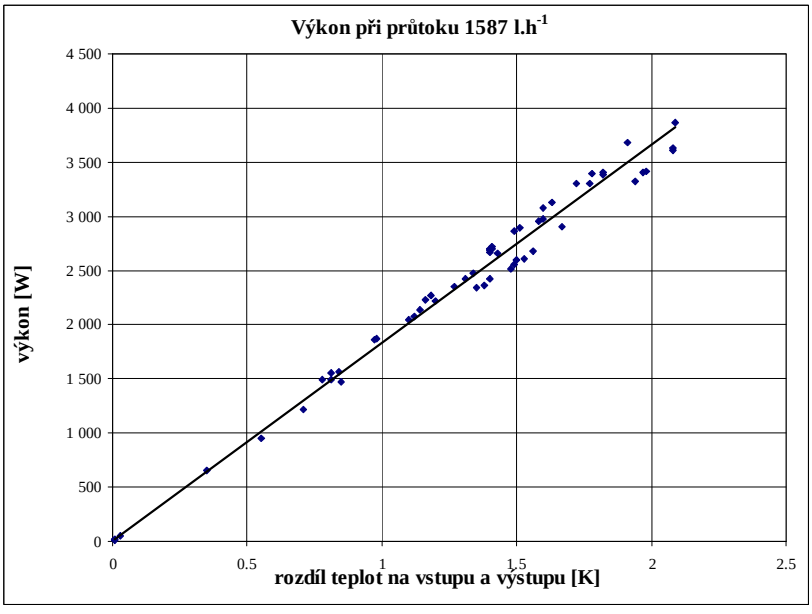
průtok 1321 l/h v závislosti na gradientu vstupní a výstupní teploty z výměníku a teplotě splaškových vod 15,8 °C. Obrázek 7 znázorňuje tutéž charakteristiku pro stokový výměník a průtok 1587 l/h.

Tab. 1 *Změřený výkon výměníků*

Typ výměníku	Objemový průtok [l/h]	Teplota Splaškových vod [°C]	Teplota výměník vstup [°C]	Teplota výměník výstup [°C]	Výkon výměníku [W]
Stokový	1587	15,8	9,49	10,82	2,4
Jímkový	1321	15,8	8,41	11,76	4,9



Obr. 6 *Naměřená charakteristika jímkového výměníku*



Obr. 7 *Naměřená charakteristika stokového výměníku*

ZÁVĚR

Je třeba si uvědomit, že teplo obsažené v odpadních vodách uniká bez užitku po vyčištění do recipientu. Přitom technologie čistírenských procesů umožňuje částečné snížení teploty odpadní vody, aniž by byl narušen proces čištění. Na druhou stranu je požadavek, aby teplota vyčištěné vody vstupující do recipientu byla co nenižší, tato skutečnost argumentuje použití stokového výměníku na výstupu z ČOV. Pokud použijeme stokový výměník ve větších vzdálenostech před ČOV není nutné brát ochlazení odpadní vody vůbec v potaz, protože stoka funguje jako zemní výměník a dochází v ní k dohřevu ochlazené odpadní vody. Pro praxi by bylo vhodné provádět dlouhodobější měření stokových výměníků. Bylo možné takto ověřit např. vliv biofilmu vznikající na povrchu výměníku v čase, na výkon výměníků.

LITERATURA

[1] SHIZAS I., BAGRY D.M.: *Experimental Determination of Energy Content of Unknown Organics in Municipal Wastewater Streams*, J. Energy Eng., 130, 2, pp. 45-53, 2004.

[2] Merkblatt DWA-M 114 – *Energiegewinnung aus Abwasseranlagen*. Německo, 2009. ISBN 978-3-941089-65-5.

[3] SCHIMD F.: *Sewage Water: Interesting heat source for heat pumps and chillers*. 9th International Energy Agency Heat pump Conference 2008, Zűrich, Schwitzerland 2008. ISBN 9789185829811.

[4] HORÁK P.,KOŇAŘÍK M.: *Uplatnění tepelných čerpadel v aktivních budovách*. Konference SHK 2011, Brno 2011, ISBN 978-80-02-02310-4.

Příspěvek byl zpracován ve Spolupráci s firmou Asio spol. s r.o. za pomoci Ministerstva průmyslu a obchodu z operačního programu Podnikání a inovace – pilotní projekt „Inovativní akce“ – podpora transferu znalostí.

PRAKTICKÁ REALIZÁCIA PLYNOVÉHO TEPELNÉHO ČERPADLA A JEHO EKONOMIKA

Emil Izakovič

ESM-YZAMER, energetické služby a monitoring s.r.o.
yzamer@yzamer.sk

ANOTÁCIA

Príspevok sa zaoberá plynovým tepelným čerpadlom a jeho praktickou realizáciou v historickej budove Smolenického zámku. Plynové tepelné čerpadlo AISIN Toyota pracuje v systéme vzduch/voda, na pohon kompresorov využíva spaľovací motor, ktorý spaľuje zemný plyn.

ÚVOD

V súčasnosti narastá tlak na aplikáciu takých riešení v oblasti vykurovania, chladenia a ohrevu teplej úžitkovej vody, ktoré vedú jednak k zvyšovaniu účinnosti celkového systému a zároveň prispievajú k znižovaniu emisií oxidu uhličitého a zvyšujú energetické zatriedenie budov. V súvislosti s uvedeným sa čoraz častejšie do popredia dostáva problematika využitia plynových tepelných čerpadiel, ktoré majú veľký potenciál poskytnúť takéto riešenie.

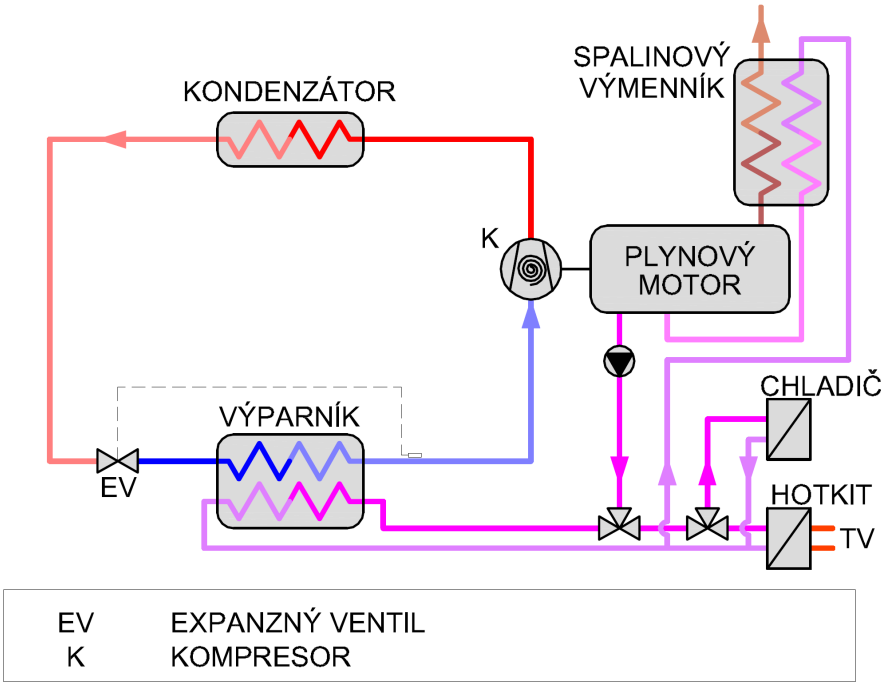
Plynové tepelné čerpadlo predstavuje vysoko energeticky účinný systém nakoľko ide o zariadenie, ktoré využíva viaceré zdroje tepla. Primárne využíva nízkopotenciálne teplo z vonkajšieho prostredia z nízkoteplotných zdrojov, ktorými môžu byť okolitý vzduch, pôda, geotermálne pramene, podzemná alebo povrchová voda a pod. K ďalším zdrojom tepla patria chladiaci okruh motora a produkované spaliny.

Z technického hľadiska predstavuje využitie okolitého vzduchu ako primárneho zdroja tepla najmenej komplikovanú alternatívu, keďže pre jeho inštaláciu nie je potrebná ani kotolňa ani zemné práce väčšieho rozsahu ako napr. vrty, zemné kolektory, a taktiež nie je potrebné ani zvyšovanie inštalovaného elektrického príkonu.

TEPELNÉ ČERPADLO POHÁŇANÉ PLYNOVÝM MOTOROM

Vo všeobecnosti, tepelné čerpadlá predstavujú alternatívne zariadenia na výrobu tepelnej energie v porovnaní s jej klasickou výrobou prostredníctvom spaľovania fosílnych palív. Plynové tepelné čerpadlo (GHP – z angl. Gas Heat Pump) funguje na rovnakom princípe termodynamického procesu ako tepelné čerpadlá poháňané elektromotorom s rovnakými chladivami a scroll kompresormi. Rozdiel spočíva v tom, že elektrický motor je v prípade plynového tepelného čerpadla nahradený plynovým motorom. Teplo, ktoré vzniká spaľovaním zemného plynu v plynovom motore, sa využíva na naparovanie chladiva, alebo sa môže využiť priamo na ohrev vody. Teplo zo spalín je odoberané v spalinovom výmenníku a je využívané na ohrev chladiacej zmesi.

Termodynamický obeh sa v tepelnom čerpadle uskutočňuje pomocou pracovnej látky, ktorou je chladivo. Jeho vlastnosti, a to predovšetkým bod varu a kondenzácie v závislosti od tlaku, musia zodpovedať požadovaným teplotným parametrom tepelných tokov do výparníka a z kondenzátora. V súčasnosti najväčší podiel realizovaných tepelných čerpadiel pracuje na princípe parného kompresorového chladiaceho obehu, pričom hlavnými komponentmi takéhoto systému sú kompresor, kondenzátor, expanzný ventil a výparník. Zjednodušenú schému zapojenia znázorňuje nasledovný obrázok.



Obr. 1 *Zjednodušená schéma zapojenia*

Chladiaci okruh spaľovacieho motora je naplnený nemrznúcou zmesou (glykol+voda). Riadenie plynového tepelného čerpadla rozhoduje podľa teploty vonkajšieho prostredia o rozdelení tepelného výkonu motora medzi naparovanie chladiva vo výparníku (priorita) a odovzdanie výkonu do doskového výmenníku - HOT-KIT. Vychladená zmes prechádza pred vstupom do motora cez spalinový výmenník, kde sa ohrieva na požadovanú teplotu vratky.

Výhody plynového tepelného čerpadla

Plynové tepelné čerpadlo sa vyznačuje nízkymi prevádzkovými nákladmi a vďaka svojej sofistikovanej technológii vyžaduje minimálnu údržbu. Realizáciou plynového tepelného čerpadla sa dosahuje nielen zníženie nákladov, ale aj výrazné zníženie emisií a skleníkových plynov oproti plynovým kotlom až o 50 %, čo je odrazom vysokej účinnosti tohto zariadenia. Ďalšou výhodou plynového tepelného čerpadla je skutočnosť, že za účelom pohonu kompresora spaľuje zemný plyn, pričom pomer ceny 1 kW paliva medzi zemným plynom a elektrickou energiou sa z dlhodobého hľadiska drží v pomere 1:3 v prospech zemného plynu. Navyše spaľovaním zemného plynu nevznikajú v spaľovacom priestore valcov karbónové zlúčeniny, čo má priaznivý vplyv na životnosť motora. Po celú dobu životnosti plynového tepelného čerpadla nie je potrebná generálna oprava motora.

Čo sa týka servisu, ten prebieha v desaťtisíc hodinových cykloch s požiadavkou na výmenu olejového filtra a sviečok, doliatia oleja a vyčistenia vzduchového filtra. Plynové tepelné čerpadlo má vysoký tepelný výkon aj pri nízkych vonkajších teplotách vzduchu, nakoľko tepelný výkon motora je stabilný aj pri teplote až –25 °C. Tieto zariadenia sa vyznačujú pomerne nízkou hlučnosťou, sú riadené pomocou inteligentného riadiaceho systému a ekvitermickej regulácie. Nespornou výhodou plynového tepelného čerpadla je aj možnosť výroby teplej vody súbežne s funkciou chladiaceho systému. Investíciou do tohto zariadenia ako jediného zdroja tepla a chladu sa znižujú náklady na vytvorenie tepelného systému v porovnaní s budovaním dvoch zdrojov pre kúrenie a chladenie, preto sa návratnosť investície pri celoročnom využití jedného zdroja výrazne skracuje.

REALIZÁCIA PLYNOVÉHO TEPELNÉHO ČERPADLA NA SMOLENICKOM ZÁMKU

Smolenický zámok sa nachádza na úpätí Malých Karpát, cca 60 km severozápadne od Bratislavy a slúži ako Kongresové centrum SAV. Interiér zámku sa postupne zmodernizoval tak, aby sa dal využívať na usporadúvanie konferencií, sympózií, odborných seminárov a iných vzdelávacích podujatí. Celková ubytovacia kapacita tohto Kongresového centra je 85 lôžok. Priestory v zámku slúžia prednostne pre akcie SAV, ale v prípade voľnej ubytovacej kapacity je možné ju prenajať i cudzím organizáciám s prioritou pre štátne organizácie, ministerstvá a vysoké školy.

Obr. 2 *Smolenický zámok*

Cieľom rekonštrukcie vykurovacieho systému zámku bolo zmodernizovať energetickú sústavu zámku ako celku vrátane vykurovania, hydraulického vyregulovania vykurovacej sústavy, ako aj prípravy teplej vody a chladenia.

Pôvodné technické riešenie vykurovacieho systému zámku

Tepelný systém Smolenického zámku prešiel poslednou rekonštrukciou pred dvadsiatimi rokmi, čomu zodpovedal aj technický stav sústavy. Vykurovanie zámku bolo pred rekonštrukciou riešené teplovodným vykurovaním z plynovej kotolne, kde boli nainštalované dva kotly s celkovým výkonom 850 kW. Ďalej sa tam nachádzali hlavné obehové čerpadlá ÚK 80 NTR-85 a 80 NTV-102, ktoré napájali jednotlivé stúpačky cez ležatý rozvod tepla vedený v suterénnych priestoroch zámku. Zložité ležaté rozvody ÚK boli komplikované z dôvodu niekoľkonásobných prerábaní a zmien koncepcie počas histórie ústredného vykurovania.

Obr. 3 *Pôvodný stav kotolne*

Súčasné technické riešenie vykurovacieho systému zámku

Podstatnú časť rekonštrukčných prác na modernizácii energetickej sústavy zámku predstavovala výmena a rekonštrukcia technológie kotolne, ktorej súčasťou je aj plynové tepelné čerpadlo AISIN AGXP 25 HP pracujúce v systéme vzduch/voda s výkonom 80 kW. Toto čerpadlo sa využíva celoročne na predohrev vody v zásobníku OPV, v prípade požiadavky akumuluje chlad v akumulačnej nádobe s objemom 800 litrov. Chladivový okruh tohto plynového tepelného čerpadla využíva chladivo R410A (t.j. bezfreónové chladivo s nulovým koeficientom rozpadu ozónu), pričom okruh je uzatvorený cez výmenník chladivo/voda – AWS Yoshi. Tepelné čerpadlo môže pracovať tak v režime dodávky tepla, ako aj chladu. Vonkajšia jednotka čerpadla je osadená v blízkosti kotolne pod hradobným múrom na samostatnom betónovom základe, čo sa týka vnútornej jednotky, tá je osadená v priestore zásobníkov OPV.

Ako náhrada technologicky zastaraných teplovodných kotlov PGV 40 bola zvolená inštalácia kondenzačných kotlov Vitocrosal 200. Kotle sú osadené vlastnou automatikou s modulmi zabezpečujúcimi ochranu kotla, reguláciu výkonu horáka a kaskádové radenie kotlov do prevádzky. Práve kotlová kaskáda a modulácia výkonu horáka je zabezpečená reguláciou Vitotronic 333, pričom kotle sú vzájomne prepojené komunikačnou zbernicou. Tepelný výkon každého z dvojice kotlov je 311 kW. Kondenzačné kotle zabezpečujú prípravu teplonosného média do všetkých vetiev vykurovania v priestoroch zámku a podieľajú sa taktiež aj na dohreve ohriatej pitnej vody na požadovanú teplotu.

Obr. 4 *Umiestnenie zdrojov – GHP vedľa kotolne pod hradobným múrom, strojná časť GHP, AWS výmenník v technických priestoroch zámku*

Ako už bolo spomenuté, v rámci modernizácie energetickej sústavy Smolenického zámku prebehla aj rekonštrukcia rozvodov tepla, ktoré zabezpečuje zónové vykurovanie celého objektu s modernejšou koncepciou a úspornejším chodom. Kvôli požiadavke na zónové vykurovanie bol objekt zámku rozdelený na 11 zón, pričom každá zóna bola osadená vlastným obehovým čerpadlom a trojcestným zmiešavacím ventilom, čo umožňuje riadiť teplotu obehového média pre každú zónu separátne. Týmto boli vytvorené v podstate samostatné regulačné stanice tepla pre každú jednu vetvu.

Podstatnou časťou prác na rekonštrukcii rozvodov vykurovania bolo aj hydraulické vyregulovanie vykurovacej sústavy. Na jednotlivé vetvy rozvodov boli inštalované vyvažovacie ventily, ktorých úlohou je dosiahnutie rovnakého pomeru zatekania teplonosného média do jednotlivých vetiev vykurovania vzhľadom k výkonu telies, ktoré sú na vetvu pripojené. Vykurovacie telesá boli osadené termostatickými hlavicami s diaľkovým riadením.

Klimatizovanie kongresových sál a apartmánov

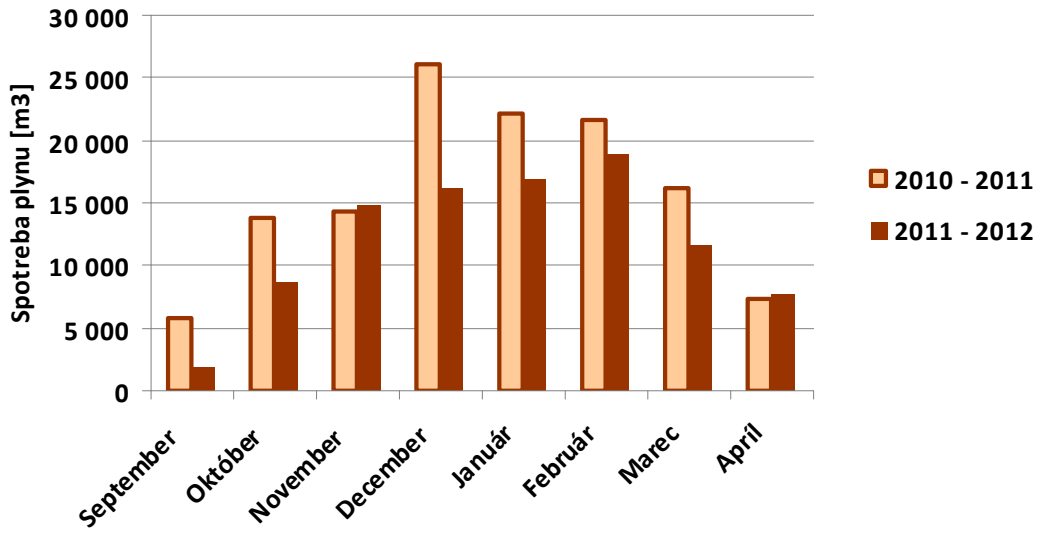
Z modulu AWS Yoshi AWS 25 HP je vyvedený dvojrúrkový rozvod, na ktorom je osadený trojcestný ventil s pohonom, ktorý prepína na základe potreby chladu, resp. tepla na ohrev OPV. Potrubný rozvod chladu je vedený chodbou v suterénnej časti. Hlavná potrubná trasa je zaústená do akumulačného zásobníka chladiaceho média (upravenej vody) s objemom 800 litrov s vypúšťaním. Rozvod chladiva z plynového tepelného čerpadla do AWS je vyhotovený z medeného potrubia spájaného tvrdou spájkou. Rozvod je vedený súbežne s potrubím vykurovania na závesoch pod stropom. Rozvod potrubia z HOT-KITu je realizovaný z medeného potrubia a vedený súbežne s chladivovým potrubím od plynového tepelného čerpadla.

Na sekundárnej časti akumulačného zásobníka pokračuje potrubný rozvod 2 x DN 65 chodbami v suterénnej časti až po vertikálne stúpanie do určených priestorov. Zo suterénu stúpajú potrubia do kongresovej sály na poschodí a napájajú sa na vertikálne klimatizačné jednotky Fancoily.

Obr. 5 *Klimatizačné jednotky*

SPOTREBA ZEMNÉHO PLYNU A VYHODNOTENIE OSEMMESAČNEJ PREVÁDZKY

Súčasný vykurovací systém zámku bol uvedený do prevádzky v septembri v roku 2011. Nasledovný graf zachytáva vývoj spotreby zemného plynu za obdobia september 2010 – apríl 2011 (t.j. obdobie pred rekonštrukciou vykurovacieho systému) a september 2011 – apríl 2012 (t.j. obdobie po rekonštrukcii vykurovacieho systému).



Obr. 6 *Vývoj spotreby zemného plynu za sledované obdobia*

Ako možno z grafu na obrázku 6 vidieť, v období september 2011 – apríl 2012 vďaka rekonštrukcii vykurovacieho systému poklesla spotreba zemného plynu v porovnaní s predchádzajúcim obdobím. V sledovanom období pred rekonštrukciou bola spotreba zemného plynu zámku 127 204 m^3, kým za rovnaké obdobie po rekonštrukcii poklesla na 96 499 m^3, čo v percentuálnom vyjadrení predstavuje úsporu vo výške 24,14 %.

ZÁVER

Rekonštrukcia energetickej sústavy Smolenického zámku ponúkala jedinečnú možnosť nasadenia nových, progresívnych technológií, ktoré nielenže zabezpečia uspokojenie energetických potrieb kongresového centra, ale šetrením spotreby primárnych energetických zdrojov prispievajú aj k ekonomicky a ekologicky hodnotnejšej prevádzke. Modernizáciou energetickej sústavy zámku sa dosiahli očakávané predpoklady a požiadavky na zabezpečenie tepelnej pohody v priestoroch zámku a zároveň sa dosiahli aj úspory energií.

LITERATÚRA

[1] AISIN. *Domovská stránka spoločnosti*, aktualizované 25.5.2012. Dostupné z: <http://www.aisin.com>.
[2] AISIN. *GHP outdoor unit installation instructions.*

TEPELNÁ ČERPADLA S CO_2 PRO OHŘEV VODY

Petr Šimek

ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav energetiky
petr.simek@gmail.com

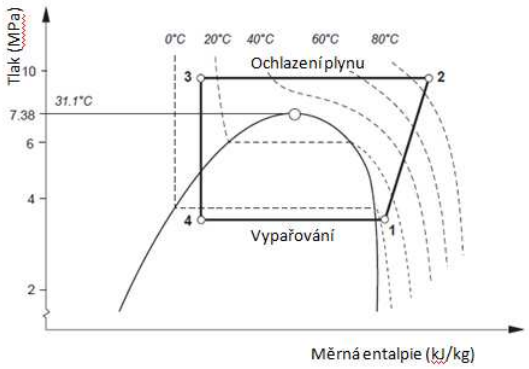
ANOTACE

S ohledem na životní prostředí, ceny energií a legislativu v oblasti energetické náročnosti budov se tepelné čerpadlo s CO_2 jeví jako vhodná alternativa k zařízením se syntetickými chladivy. Příspěvek si proto klade za cíl poskytnout základní informace o systémech tepelných čerpadel (dále v textu TČ) s CO_2.

Typickou aplikací TČ s CO_2 je ohřev vody, jelikož proces předávání tepla probíhá v nadkritické oblasti v chladiči plynu, kde se využívá maximálního teplotního spádu a jedinečných termodynamických vlastností CO_2. Pro režim přípravy teplé vody (dále v textu TV) spojeného s ohřevem otopné vody pro vytápění využívají systémy s CO_2 důmyslně navržený chladič plynu rozdělený do několika samostatných sekcí kombinující předehřev a ohřev vody. TČ s CO_2 dosahují poměrně vysoké účinnosti, kdy teplota ohřívané vody dosahuje až 80 °C bez dodatečného ohřevu externím zdrojem. Jako zdroj tepla pro práci TČ s CO_2 je možné použít například teplo z okolního vzduchu či země nebo odpadní teplo z větrání.

ÚVOD

CO_2 byl jako chladivo používán do období kolem roku 1950, kdy byl vytlačen syntetickými chladivy (halogenovanými uhlovodíky). Tato syntetická chladiva jsou v dnešní době s ohledem na životní prostředí postupně zakazována a hledají se vhodné alternativy hlavně v podobě přírodních chladiv. Vede k tomu obava, že by další nová syntetická chladiva v budoucnu mohla z důvodů dnes známých či neznámých negativně působit na životní prostředí. Jako vhodná alternativa se jeví CO_2, protože je nehořlavý, netoxický, inertní, levný a všude dostupný. CO_2 je přírodní chladivo, které se nepodílí na narušování ozonové vrstvy (ODP = 0) a ani na globálním oteplování (GWP = 1). Dále se vyznačuje výbornými termofyzikálními vlastnostmi vedoucími k dobrému přestupu tepla, účinnou kompresí a kompaktní konstrukcí systému, a to díky velké objemové chladivosti.



Obr. 1 *Princip nadkritického oběhu s CO_2: 1-2: komprese, 2-3: ochlazení nadkritického plynu, 3-4: škrcení, 4-1: vypařování.*

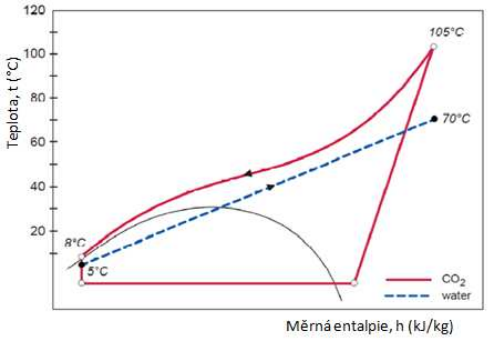
Vzhledem k nízké kritické teplotě CO_2 (31,1 °C) pracuje oběh TČ v nadkritickém oběhu. To znamená, že vypařování probíhá stejně jako u konvenčních systémů při vypařovacím tlaku

(20 až 40 bar), jenž odpovídá podkritické oblasti. K předávání tepla u CO_2 dochází však nad kritickým bodem v nadkritické oblasti (80 až 130 bar), což je patrné z obrázku 1. Důsledkem toho je, že pracovní tlak u tepelných čerpadel s CO_2 je řádově 5 x až 10 x vyšší než u chladiv typu HFC. V nadkritické oblasti nedochází ke kondenzaci, tak jak ji známe, nýbrž pouze k ochlazení nadkritického plynu v chladiči voda/CO_2 s maximálním využitím teplotního spádu. Uvedený proces je výhodný především pro ohřev vody a to zejména při jejím nízkém průtoku.

OHŘEV VODY TEPELNÝM ČERPADLEM S CO_2

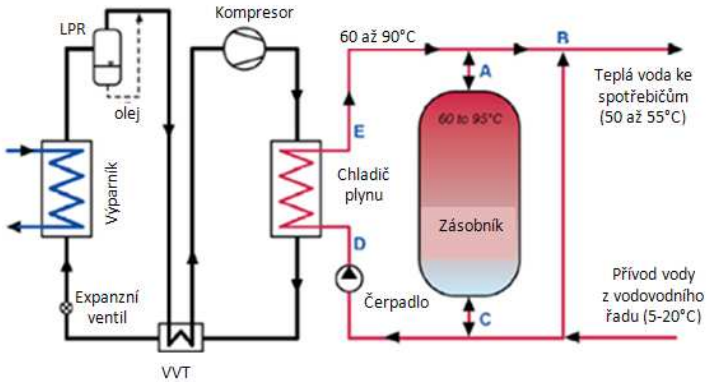
Hlavní charakteristika systému a provedení

Vzhledem k vysoké energetické účinnosti je jednou z nejslibnějších aplikací pro využití nadkritického cyklu TČ s CO_2 příprava teplé vody pro domácnosti. Tento systém dosahuje vysokých hodnot topného faktoru díky dobře přizpůsobitelným teplotním průběhům obou pracovních látek CO_2/voda v protiproudém chladiči nadkritického plynu. Především to platí u průtočných systémů, kdy je možno dosáhnout nízkých teplot plynného CO_2 na výstupu z chladiče, což je žádoucí s ohledem na topný faktor. Dále jsou to vynikající termofyzikální vlastnosti CO_2 vedoucí k vysokým přestupním součinitelům a relativně vysoké izoentropické účinnosti kompresoru. Ve prospěch tohoto systému hovoří i schopnost ohřívat vodu na teplotu 60 °C až 90 °C bez nutnosti použít dodatečný zdroj k dohřevu. Obrázek 2 znázorňuje principiálně oběh CO_2 TČ pro přípravu TV z 5 °C na 70 °C.



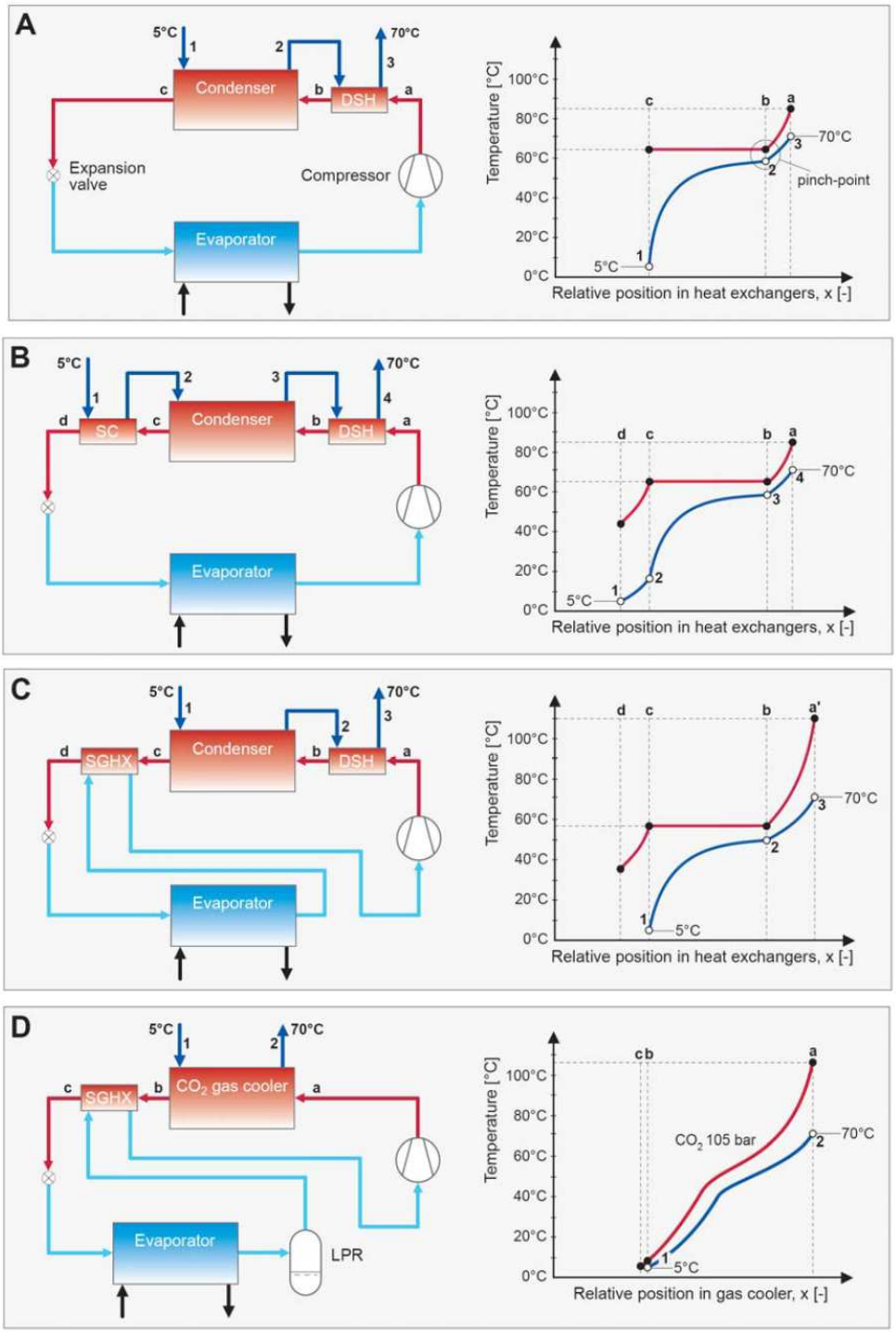
Obr. 2 *Oběh TČ s CO_2 vykreslen v závislost teploty a měrné entalpie.*

Na obrázku 3 je vyobrazeno schéma jednostupňového CO_2 TČ pro přípravu TV. Okruh se skládá z nízkotlakého sběrače (LPR), výměníku pro vnitřní výměnu tepla (VVT) a protiproudého chladiče plynu. Průtok vody je regulován frekvenčním měničem na čerpadle. Chladič plynu je napojen k zásobníku teplé vody, který je napájen z vodovodního řadu.



Obr. 3 *Princip TČ s CO_2 napojený na zásobník TUV.*

Během spotřeby vody ze zásobníku je ohřátá voda odebírána z horní části nádrže (A) a následně smíchána s vodou z vodovodu na teplotu 50 °C až 55 °C za směšovacím ventilem (B). Takto teplá voda je vedena ke spotřebičům. Vstup studené vody ve spodní části zásobníku (C).



Obr. 4 *Principiálně znázorněny 4 systémy TČ určených pro ohřev teplé vody (vlevo) včetně teplotních průběhů v kondenzátoru nebo chladiči plynu (vpravo).*

Nevýhodou tohoto systému však je, že během ohřevu dochází uvnitř zásobníku ke zvýšení teploty vody. Ohřívaná voda cirkuluje chladičem. Čím je voda teplejší na vstupu do chladiče, tím více klesá topný faktor. Proto je důležité na spodní části zásobníku (C) instalovat difuzor za účelem snížení rychlosti proudění vody a použít specifický tvar zásobníku, který se

vyznačuje malým poměrem průměru vůči jeho výšce, což slouží k redukci možnosti promíchávání teplé a studené vody uvnitř zásobníku.

Termodynamické srovnání tepelných čerpadel

Na obrázku 4 jsou znázorněny 4 systémy TČ určených pro ohřev teplé vody včetně teplotních průběhů v kondenzátoru nebo chladiči plynu [1].

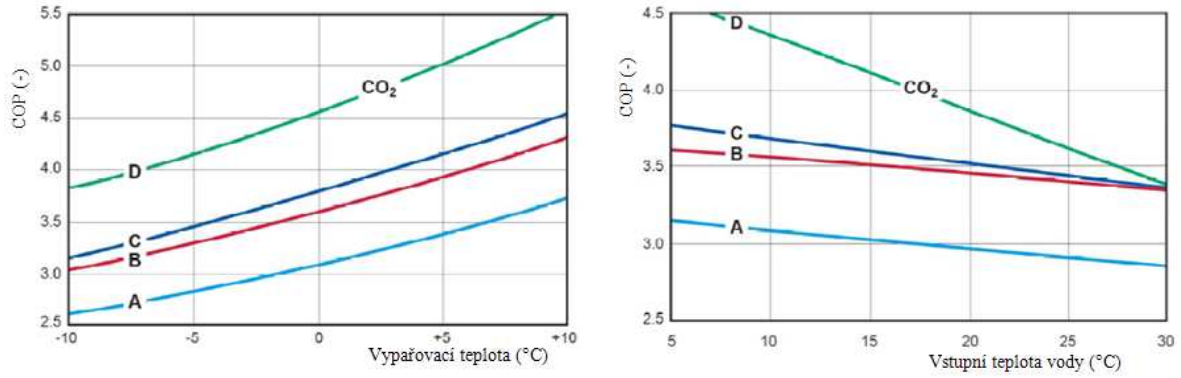
A) R134a: TČ s kondenzátorem a využitím tepla z přehřátých par (DSH)

B) R134a: TČ s kondenzátorem a využitím tepla z přehřátých par a dochlazovač (SC)

C) R134a: TČ s kondenzátorem a využitím tepla z přehřátých par a vnitřní výměnou (SGHX)

D) CO_2 - TČ s chladičem plynu a optimalizací výtlačného tlaku

Systémy jsou porovnávány z hlediska dosažitelného topného faktoru v závislosti na vypařovací teplotě, jak lze vidět na obrázku 5 (vlevo). Z uvedené závislosti je zřejmé, že TČ s CO_2 dosahuje vyššího topného faktoru ve srovnání s ostatními konvenčními systémy, přičemž reálné TČ s CO_2 by mělo topný faktor dokonce ještě vyšší díky lepší účinnosti přestupu tepla ve výparníku a nižším tlakovým ztrátám v okruhu oproti konvenčnímu oběhu TČ.



Obr. 5 *Vypočtený topný faktor pro různé typy TČ v režimu přípravy TV [1].*

Obrázek 5 (vpravo) demonstruje závislost topného faktoru na vstupní teplotě vody. TČ s CO_2 vykazuje značnou citlivost na teplotu vstupující vody do chladiče plynu oproti systémům s R134a. Z tohoto důvodu je nutné zajistit relativně nízkou teplotu vstupující vody do chladiče, aby byl zajištěn energeticky výhodný provoz TČ.

Komerčně dostupná CO_2 TČ

První TČ s CO_2 vzduch/voda o výkonu 4,5 až 6 kW určená pro přípravu teplé vody v domácnostech byla uvedena na trh v Japonsku pod obchodní značkou *EcoCute* firmou Denso v roce 2001. Tato TČ byla vyvinuta na základě výzkumu a patentů, který provedl: SINTEF Energy Research a The Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Norsk Hydro (Norsko). O masové nasazení těchto systémů se zasloužila především japonská vláda svými štědrými dotacemi na podporu provozu účinných, energeticky nenáročných a k životnímu prostředí šetrných technologií. Do roku 2010 bylo cílem japonské vlády instalovat přibližně 5,5 miliónů systémů EcoCute. Příklady systémů EcoCute TČ s CO_2 od japonských firem (Denso, Daikin, Hitachi, Sanyo) jsou zobrazeny na obrázku 6.

Obr. 6 *Různá provedení systému EcoCute od Japonských firem (Denso, Daikin, Hitachi, Sanyo).*

ZÁVĚR

CO_2 je přírodní chladivo, které má příznivé vlastnosti nejen z hlediska životního prostředí. Systém TČ pracuje v nadkritickém režimu, kde CO_2 nekondenzuje, ale ochlazuje se v chladiči plynu. Tento systém dosahuje až o 20 % lepšího topného faktoru než konvenční systémy. Z tohoto pohledu se CO_2 jeví jako slibná náhrada především pro přípravu teplé vody. Nevýhodou systému je značná citlivost na teplotu vstupující vody do chladiče plynu oproti konvenčním systémům.

LITERATURA

[1] HJERKINN T. *Analysis of Heat Pump Water Heater Systems for Low-Energy Block of Flats.* Master thesis at The Norwegian University of Science and Technology (NTNU), November 2007. EPT-M-2007-24

[2] STENE J. *Residential CO2 Heat Pump System for Combined Space Heating and Hot Water Heating,* Doctoral thesis at the Norwegian University of Technology and Science (NTNU), ISBN 82-471-6316-0 (printed ver.), ISBN 82-471-6315-2 (electronic ver.), 2004.

[3] STENE J. *Residential CO2 Heat Pumps for Combined Space Heating and Hot Water Heating – System Design, Test Procedures and Calculation of SPF*. SINTEF Report TR A 6102. ISBN 82-594-2806-7. SINTEF Energy Research, Norway, 2005.

[4] REULENS W. *Natural Refrigerant CO2 EDITED BY WALTER REULENS,* OCTOBER 2009 (Leonardo project)
Dostupné z: <http://www.atmosphere2009.com/files/NaReCO2-handbook-2009.pdf>.

SOLÁRNÍ KOLEKTORY A TEPELNÁ ČERPADLA NA BYTOVÝCH DOMECH

Milada Matiovská

Quantum, a.s.
milada.matiovska@quantumas.cz

ANOTACE
Článek pojednává o připravované pilotní instalaci solárních kolektorů a tepelných čerpadel v bytovém domě ve dvou základních variantách. Součástí článku je i ekonomické zhodnocení navrhovaného projektu.

ÚVOD
Bytové družstvo ve Vyškově na Puškinově ulici dokončilo v polovině roku 2008 regeneraci všech svých 3 domů s 62 byty, a to nejen výměnu oken a zateplení, ale i modernizaci všech výtahů, rekonstrukce vstupů do domů a vybudování zádveří tam, kde nebyla.

Výchozí spotřeba tepla na vytápění a přípravu TV z CZT v roce 2011 činila 1147 GJ (roční spotřeba teplé vody 1443 m^3). Měrná spotřeba tepla na ohřev TV byla za rok 2011 za celé bytové družstvo 0,275 GJ/m^3 a měrná potřeba tepla na vytápění 0,049 GJ/m^3 obestavěného prostoru.

Tab. 1 *Stávající spotřeby tepla v BD Puškinova*

měsíc	**spotřeba tepla na vytápění**			**spotřeba tepla na přípravu TV**		
	2009 [GJ]	**2010 [GJ]**	**2011 [GJ]**	**2009 [GJ]**	**2010 [GJ]**	**2011 [GJ]**
leden	225	165	136	48	57	53
únor	184	124	126	50	52	47
březen	131	82	77	52	56	50
duben	15	35	17	50	51	47
květen	1	13	6	47	47	45
červen	0	0	0	45	43	39
červenec	0	0	0	43	38	39
srpen	0	0	0	43	29	34
září	0	15	0	43	42	38
říjen	60	64	48	50	47	44
listopad	86	70	98	52	46	44
prosinec	132	161	111	56	51	48
Celkem	**834**	**729**	**619**	**579**	**559**	**528**

Průměrná cena za teplo uvažovaná v ekonomických bilancích je 575 Kč/GJ.

Pokud se potvrdí teoretické výpočty, pak v roce 2013 po realizaci instalace solárního systému s tepelnými čerpadly by spotřeba měla činit 202 GJ. Celkové dosažené úspory tepla by měly činit 82 %.

Obr. 1 *BD Puškinova Vyškov*

Dosavadní způsob revitalizace panelových domů spočívá především v revitalizaci obálky budovy a většinou neřeší revitalizaci zařízení TZB, tzn. zdroje tepla nebo samotných rozvodů. Současná cena tepla v BD Pušlinova je 512,5 Kč/GJ bez DPH. Lze předpokládat, že v budoucnu cena tepla poroste tak, jak se budou zdražovat ceny surovin pro výrobu tepla ve zdroji CZT. Již nyní jsou roční náklady na dodávku teplé vody a vytápění v průměru na bytovou jednotku tohoto BD 22 000,- Kč ročně.

Obr. 2 *Příklad instalace solárních kolektorů na šikmé střeše BD*

Jediným současným a technicky dostupným zdrojem tepelné energie, kterým lze snížit spotřebu tepla na přípravu TV, je využití solární energie v kombinaci s tepelnými čerpadly. V roce 2012 bude firma Quantum Vyškov instalovat systém 24 solárních kolektorů Q7-3000-

FKN s celkovou aperturou 55,0 m^2 a celkovém jmenovitém výkonu 38,5 kW[1] a a 5 tepelných čerpadel vzduch/voda MasterTherm BoxAir-45Z-2011 o celkovém výkonu 91,0 kW (A7/W35) pro předehřev studené vody určené k přípravě TV a vytápění. Po instalaci systému by v roce 2013 měla činit měrná spotřeba tepla na ohřev TV 0,0495 GJ/m^3 a měrná potřeba tepla na vytápění 0,009 GJ/m^3 obestavěného prostoru.

EKONOMIKA PROJEKTU

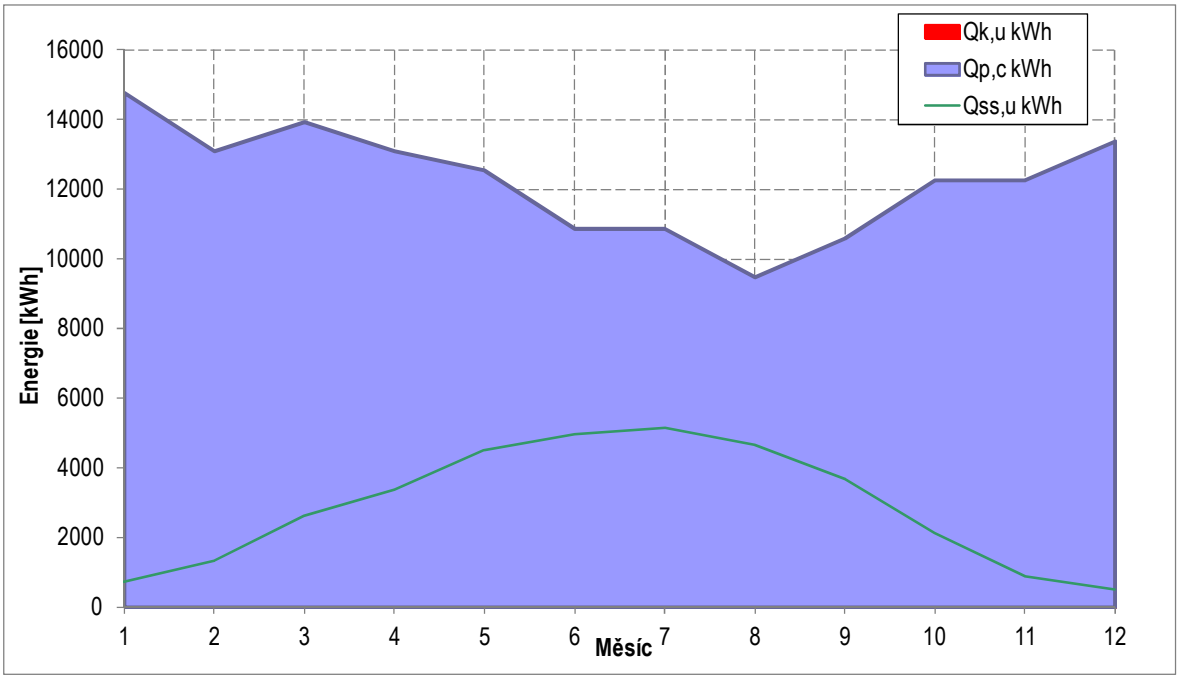
Bytovému družstvu byly nabídnuty dvě varianty projektu. V první variantě pouze instalace kolektorů slunečního záření, v druhé variantě kombinace obou opatření, tedy kolektory slunečního záření i tepelná čerpadla.

Investiční opatření na jednotlivé varianty jsou:

Varianta 1 1 095,- tis. Kč bez DPH,

Varianta 2 2 920,- tis. Kč bez DPH.

Aby bylo možné vyhodnotit ekonomiku navrhovaných variant, byly provedeny energetické bilance jednotlivých opatření. Pro vyhodnocení přínosu solární soustavy, byl využit postup stanovený dle TNI 73 0320 [1].

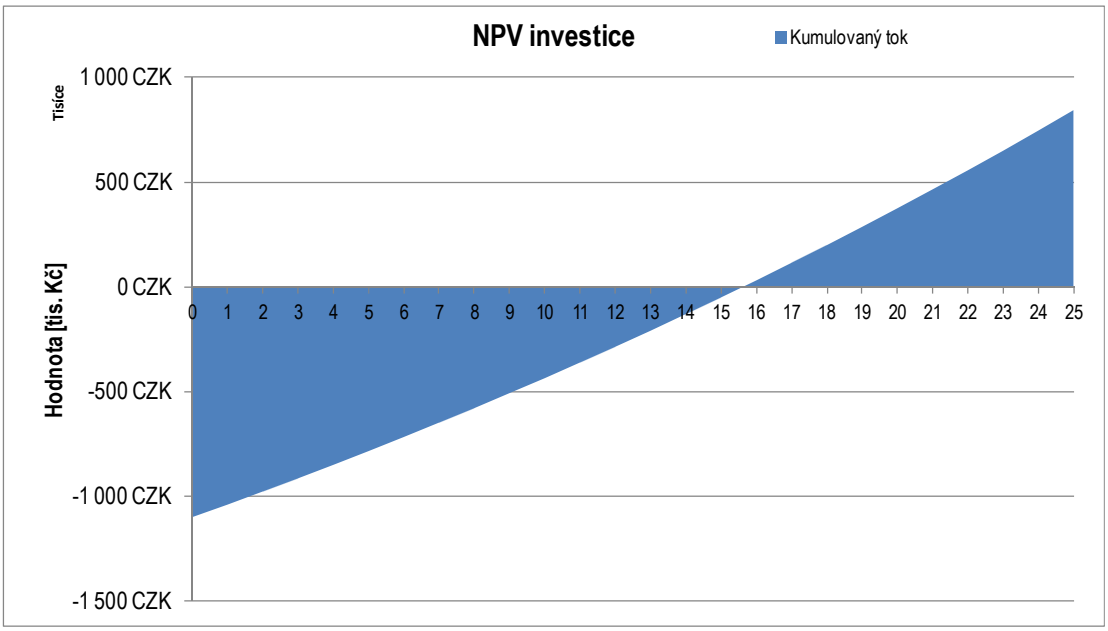


Obr. 3 *Energetická bilance navrhované solární soustavy*

Celková roční energetická úspora 123,8 GJ (34 391 kWh), tzn. ca. 11 % z celkové spotřeby energie. To představuje finanční úsporu 63 400 Kč/rok.

Při uvažovaném ročním růstu ceny energie 7 % a úrokové míře 4,9 % je čistá současná hodnota po 25 letech NPV = 803,4 tis. Kč a diskontovaná doba návratnosti ca. 15,5 let.

[1] určen jako 0,7 kW/m^2 apertury



Obr. 4 *Ekonomická bilance Varianty 1*

Bilance tepelných čerpadel byla provedena pomocí softwarového nástroje, který je sestaven na základě ČSN EN 15316-4-2 [2]

OPERAČNÍ PROGRAM ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ | EVROPSKÁ UNIE Fond soudržnosti | Pro vodu, vzduch a přírodu

Výpočtové energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly - zadání 1/2

Objekt: Bytový dům, Společenství vlastníků, IČ: 28261844
Adresa: Puškinova 523, 524, 525; Vyškov
GPS: 49°16'42.968"N, 16°59'1.440"E

Klimatické podmínky:

Výpočtová venkovní teplota	$t_{e,N}$	-12	°C
Průměrná venkovní teplota v otopném období	$t_{e,Z}$	3.7	°C
Doba trvání otopného období	d	229	dní
Průměrná celoroční venkovní teplota	$t_{e,rok}$	8.5	°C

Vytápění / otopná soustava:

Roční potřeba tepla na vytápění	$Q_{p,VYT}$	171994	kWh/rok
Výpočtová vnitřní teplota	$t_{i,N}$	20	°C
Průměrná vnitřní teplota v otopném období	$t_{i,Z}$	20	°C
Návrhová teplota přívodní otopné vody	$t_{w1,N}$	50	°C
Návrhová teplota vratné otopné vody	$t_{w2,N}$	40	°C
Teplotní exponent otopných ploch	n	1.3	
Příkon pomocných zařízení pro vytápění	P_{VYT}	0	W

Příprava teplé vody:

Roční potřeba tepla na přípravu teplé vody	$Q_{p,TV}$	112314	kWh/rok
Návrhová teplota teplé vody	t_{TV}	50	°C
Příkon pomocných zařízení pro přípravu teplé vody	P_{TV}	0	W

Tepelné čerpadlo:

Druh tepelného čerpadla		vzduch-voda	
Příkon pomocných zařízení nízkopotenciálního zdroje tepla	P_{NPT}	200	W
Minimální počet hodnot podle EN 14511	p_{min}	10	

Výkon tepelného čerpadla Φ_k [kW]

$t_{w1} \setminus t_{k2}$	-10	2	7	20
35	65.0	82.5	99.5	120.0
40	63.8	80.0	97.3	117.5
45	62.5	77.5	95.0	115.0
50	62.5	75.0	90.0	110.0

Topný faktor tepelného čerpadla *COP*

$t_{w1} \setminus t_{k2}$	-10	2	7	20
35	3.6	4.5	5.4	6.0
40	3.2	3.9	4.7	5.4
45	2.7	3.3	4.0	4.8
50	2.1	2.5	3.0	3.8

OPERAČNÍ PROGRAM ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ | EVROPSKÁ UNIE Fond soudržnosti | Pro vodu, vzduch a přírodu

Výpočtové energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly - výsledky 2/2

Objekt: Bytový dům, Společenství vlastníků, IČ: 28261844
Adresa: Puškinova 523, 524, 525; Vyškov
GPS: 49°16'42.968"N, 16°59'1.440"E

Potřeba tepla

na vytápění	$Q_{p,VYT}$	171994	kWh/rok
na přípravu teplé vody	$Q_{p,TV}$	112314	kWh/rok
celkem	Q_p	284308	kWh/rok

Teplo dodané tepelným čerpadlem

na vytápění	$Q_{TČ,VYT}$	171215	kWh/rok
na přípravu teplé vody	$Q_{TČ,TV}$	112314	kWh/rok
celkem	$Q_{TČ}$	283529	kWh/rok

Teplo dodané doplňkovým zdrojem

na vytápění	$Q_{d,VYT}$	779	kWh/rok
na přípravu teplé vody	$Q_{d,TV}$	0	kWh/rok
celkem	Q_d	779	kWh/rok

Pohonná energie tepelného čerpadla

na vytápění	$E_{TČ,VYT}$	50187	kWh/rok
na přípravu teplé vody	$E_{TČ,TV}$	46893	kWh/rok
celkem	$E_{TČ}$	97080	kWh/rok

Pomocná elektrická energie soustavy s tepelným čerpadlem

na vytápění	$E_{pom,VYT}$	104	kWh/rok
na přípravu teplé vody	$E_{pom,TV}$	104	kWh/rok
celkem	E_{pom}	207	kWh/rok

Doba provozu tepelného čerpadla

na vytápění	$E_{pom,VYT}$	2076	kWh/rok
na přípravu teplé vody	$E_{pom,TV}$	1294	kWh/rok
celkem	E_{pom}	3370	kWh/rok

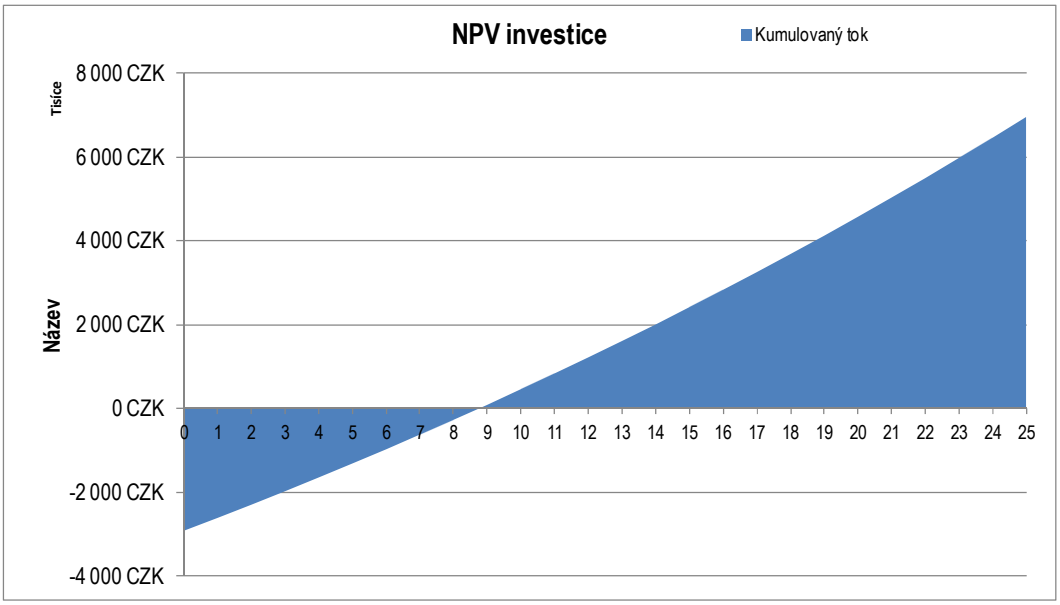
Sezónní topný faktor soustavy s el. poháněným TČ

na vytápění	SPF_{VYT}	3.40	kWh/rok
na přípravu teplé vody	SPF_{TV}	2.39	kWh/rok
celkem	SPF	2.91	kWh/rok

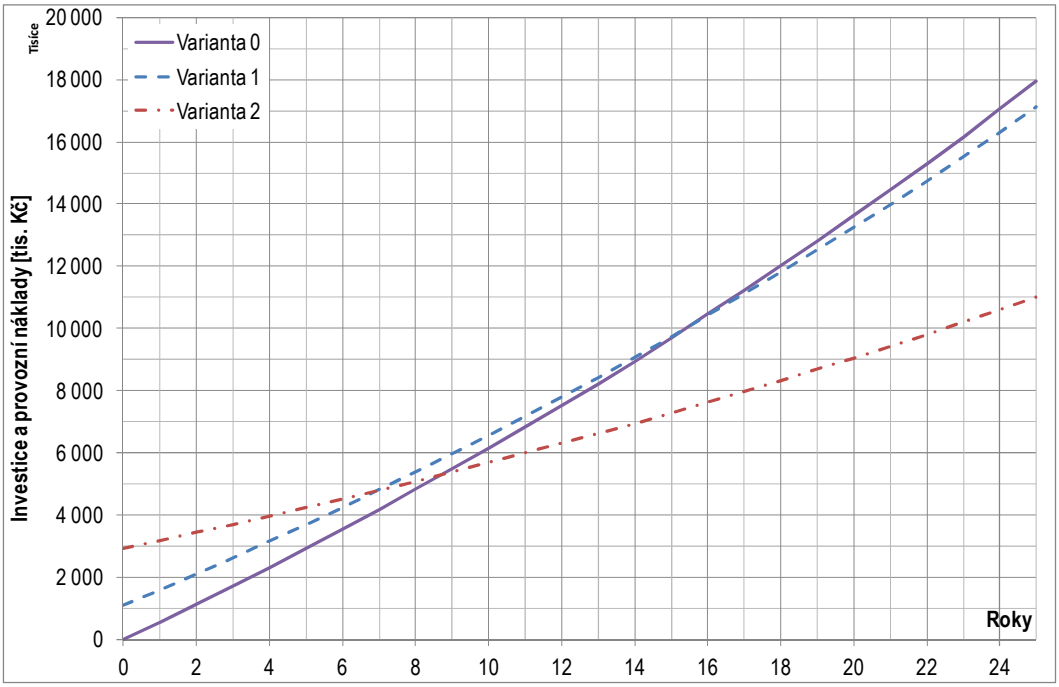
Zpracovatel:

Obr. 5 *Energetická bilance tepelných čerpadel u Varianty 2*

Výsledná spotřeba elektrické energie po odečtení úspor ze solární soustavy je 98 066 kWh. Celková roční energetická úspora 794 GJ (220 630 kWh), tzn. ca. 69 % z celkové spotřeby energie. To představuje finanční úsporu 323 200 Kč/rok. Při uvažovaném ročním růstu ceny energie 7 % a úrokové míře 4,9 % je čistá současná hodnota po 25 letech NPV = 6 627 tis. Kč a diskontovaná doba návratnosti ca. 8,8 let.



Obr. 6 *Ekonomická bilance Varianty 2*



Obr. 7 *Porovnání obou variant vzhledem ke stávajícímu stavu (Varianta 0)*

ZÁVĚR

Zda je obdobný projekt realizovatelný z ekonomického hlediska (z technického hlediska je realizovatelný prakticky vždy), záleží na místních podmínkách, tzn. na aktuální ceně energie pro stávající zdroj tepla (CZT, ZP atd.) a na nové ceně za elektrickou energii. Záleží také na tom, jaká kritéria zadavatel nastaví (dobu návratnosti, typ financování ap.). V tomto

konkrétním případě byl zadavatel s vypočtenou dobou návratnosti spokojen a projekt bude realizován.

LITERATURA

[1] TNI 730302 *Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup*. ÚNMZ 2009.

[2] ČSN EN 15316-4-2 Tepelné soustavy v budovách - Výpočtová metoda pro stanovení energetické potřeby a účinností soustavy - Část 4-2: Výroba tepla pro vytápění, tepelná čerpadla. ČNI 2011.

NEJČASTĚJŠÍ CHYBY V OBLASTI NÁVRHŮ A MONTÁŽÍ SOUSTAV SE SOLÁRNÍMI TERMICKÝMI KOLEKTORY

Marek Bezouška

Viessmann spol. s r.o.
bzu@viessmann.com

ANOTACE

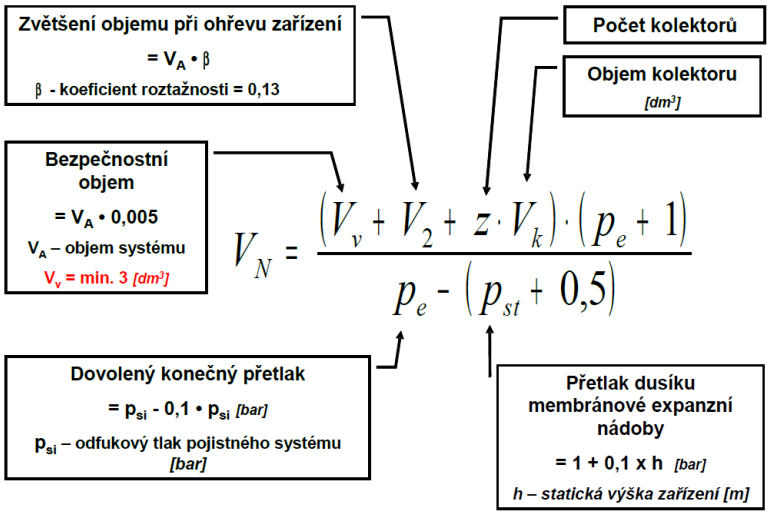
Příspěvek se zabývá problematikou chyb v projektování, montáži a následném servisu termických solárních systémů[1] v České republice z pohledu výrobce a dodavatele s vlastními, ale i externími proškolenými a autorizovanými servisními techniky.

ÚVOD

V České republice i díky dotačním systémům jsou solární termické systémy používány již velmi dlouho. Z toho plyne určitá zkušenost při návrzích a montážích, často prověřená praxí a také zkušenostmi např. z ostatních, pro nás podobných středoevropských trhů. Nejčastější použití solárních systémů je na rodinných domech, které byly v minulosti nejvíce podporovány.

ČASTÉ PROBLÉMY PŘI NAVRHOVÁNÍ SOLÁRNÍCH SYSTÉMŮ

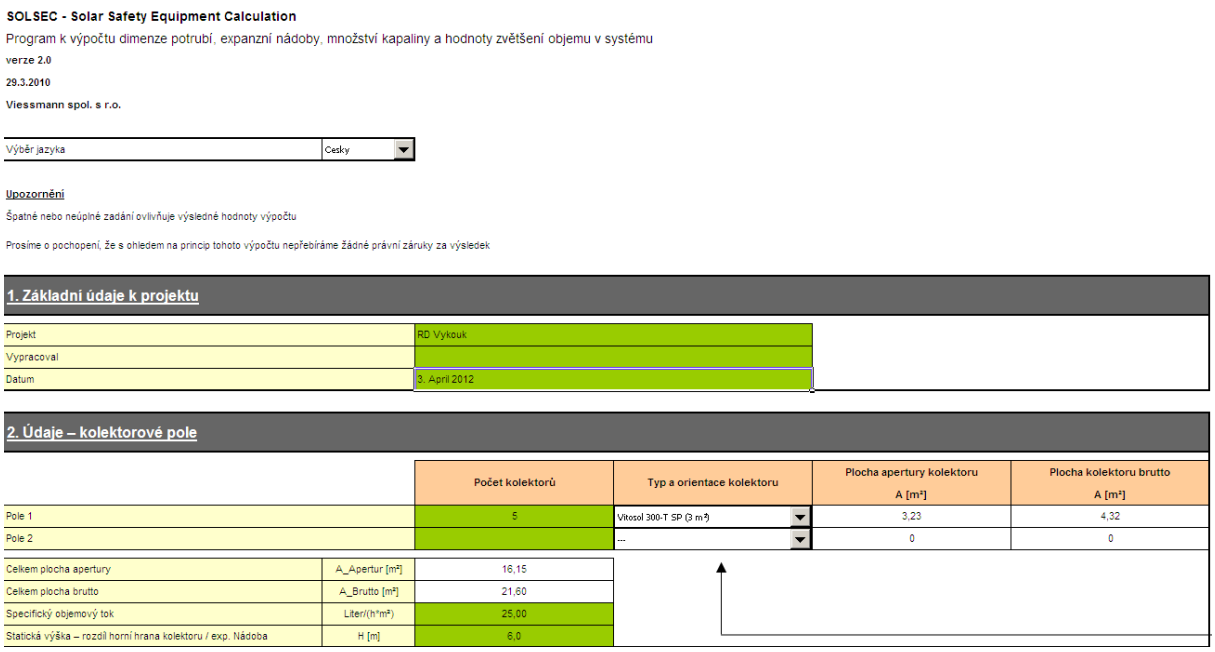
V ČR se v poslední době rozšiřuje trend aplikovat solární systémy kompletně bez projektu. Je faktem, že sestavy většiny výrobců vychází z osvědčených ploch kolektorů a jednotlivých sladěných součástí (tak aby ploše/počtu kolektorů odpovídala velikost zásobníku/teplosměnné plochy spirály, upevnění, čerpadlová skupina atd.). Zde ale často není vyřešen správný objem **membránové expanzní nádoby** – v sestavách se vyskytuje velkoryse dimenzovaný objem expanzní nádoby, přesto by odpovědná osoba měla vždy zkontrolovat přepočtem vhodnost použití na dané aplikaci. Nepsaným pravidlem je, že o něco větší expanzní nádoba je v solární soustavě spíše výhodou.



***Obr. 1** Ukázka výpočtu objemu expanzní nádoby z původních projekčních podkladů.*

[1] zde je používán výraz solární systém, ve firemní terminologii se jedná o takřka kompletní dodávku všech potřebných komponent = ucelený systém

Pro jednodušší a rychlejší návrh a také kontrolu je volně k dispozici excelovská tabulka *SOLSEC*, pomocí které může návrh i kontrolu objemu expanzní nádoby zvládnout i začínající projektant nebo odborná montážní firma. Často vůbec není řešeno potřebné opatření pro ochranu membrány expanzní nádoby proti vniknutí horké kapaliny nebo páry při stagnaci a to buď v provedení jako neizolované potrubí, předřazené nádoby a nebo chladiče s potřebným výkonem. Správně nadimenzovaná a nastavená membránová expanzní nádoba je v solárních systémech základním prvkem pro automatický provoz. Při výkyvech teploty a tlaku, zvláště pak při stagnaci, pomáhá k opětovnému navrácení solární soustavy do provozu bez zásahu zvenčí. V projektech se většinou přesné hodnoty tlaku, jak v expanzní nádobě, tak i provozní tlak neobjevují. Pojistný ventil je v solárních soustavách uvažován až jako „poslední bezpečnostní prvek“ (pokud ventil zareaguje příliš brzy, musí někdo opět celý systém uvést do provozu).



SOLSEC - Solar Safety Equipment Calculation

Program k výpočtu dimenze potrubí, expanzní nádoby, množství kapaliny a hodnoty zvětšení objemu v systému

verze 2.0

29.3.2010

Viessmann spol. s r.o.

Výběr jazyka: Cesky

Upozornění

Špatné nebo neúplné zadání ovlivňuje výsledné hodnoty výpočtu

Prosíme o pochopení, že s ohledem na princip tohoto výpočtu nepřebíráme žádné právní záruky za výsledek

1. Základní údaje k projektu

Projekt	RD Vykouk
Vypracoval	
Datum	3. April 2012

2. Údaje – kolektorové pole

	Počet kolektorů	Typ a orientace kolektoru	Plocha apertury kolektoru A [m²]	Plocha kolektoru brutto A [m²]
Pole 1	5	Vitosol 300-T SP (3 m²)	3,23	4,32
Pole 2		---	0	0

Celkem plocha apertury	A_Apertur [m²]	16,15
Celkem plocha brutto	A_Brutto [m²]	21,60
Specifický objemový tok	Liter/(h*m²)	25,00
Statická výška – rozdíl horní hrana kolektoru / exp. Nádoba	H [m]	6,0

Obr. 2 *Ukázka z programu SOLSEC ver.2_1 pro stanovení a kontrolu objemu expanzní nádoby a náplně celé soustavy, dimenze potrubí a chladiče.*

Dalším často se opakujícím nedostatkem jsou chybné dimenze a materiály potrubí. Velmi často se potkáváme s dimezí potrubí Cu Ø 22 mm a větší, pro nejčastější sestavu 2 ks plochých kolektorů (Ø 22 mm však odpovídá připojovací dimenzi kolektoru). Jednoduchým výpočtem lze zjistit špičkový výkon 2 kusů kolektorů = cca 4,6 m^2 x 650 W = 3 kW – pro které určitě i při větším objemovém toku není třeba velkých dimenzí. Zde je potřeba vědět, že kolektory je možné spojovat do větších polí a tato dimenze odpovídá možnosti spojení až 12 ks do jednoho pole. Díky použití většího průměru přívodních potrubí dochází ke dvěma chybám:

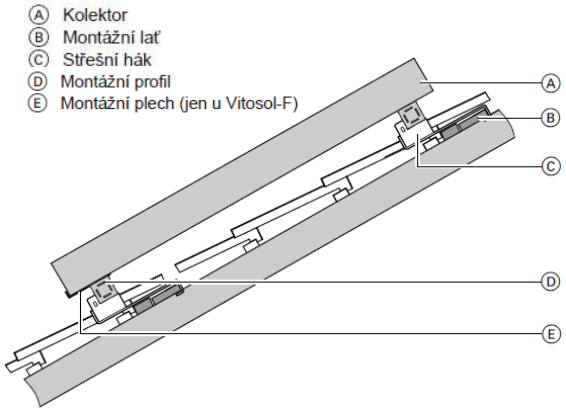
- zbytečně se prodražuje zakázka (potrubí, fitinky, izolace, více provozní kapaliny - příp. může znamenat větší expanzní nádobu).
- díky větší dimenzi se také zpomalí rychlost proudění v potrubí pod doporučenou hodnotu 0,4 m/s, nad kterou dochází ke strhávání plynů z nejvyššího místa (kolektory) a tím i správné funkci odlučovače plynů (spirovent – jeho správná pozice je na přívodu před výměníkem tepla/spirálou zásobníku).

V projektu by měl být vždy popsán typ potrubí a jeho způsob spojování, který odpovídá vždy předpisům výrobce (tvrdé pájení, lisování, svěrná šroubení) a taktéž vhodné izolace jako kaučuk, minerální izolace atd., které musí být odolné teplotám, vlhkosti, UV záření a mechanickému poškození (ve vnějším prostředí).

Obr. 3 *Ukázka nevhodně provedených izolací na potrubí*

UPEVŇOVÁNÍ KOLEKTORŮ

Pro upevnění kolektorů má většina výrobců v této době velmi dobře vyřešeno – ať je to kvalita materiálů nebo statické vlastnosti, případně odolnost proti povětrnostním vlivům. Podceňovány jsou body upevnění a to v případě šikmé střechy nejčastěji s krytinou z vlnitých tašek i samotné vlastnosti materiálu tašek (křehkost). V případě menších sklonů střechy a v lokalitách s větší sněhovou pokrýkou je nutno počítat s nejslabším článkem upevnění a tím je právě „křehká“ střešní taška. Tento bod by měl vždy řešit projektant příp. statik a učinit potřebná opatření v konstrukci střechy – jako nejjednodušší se nabízí zpevnění/podložení střešní tašky v místě opření upevňovacích háků (viz obrázky 4 a 5).

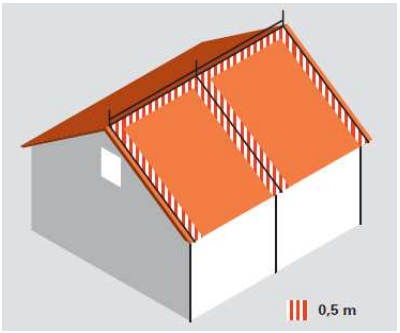


Obr. 4 *Detail upevnění plochých kolektorů*

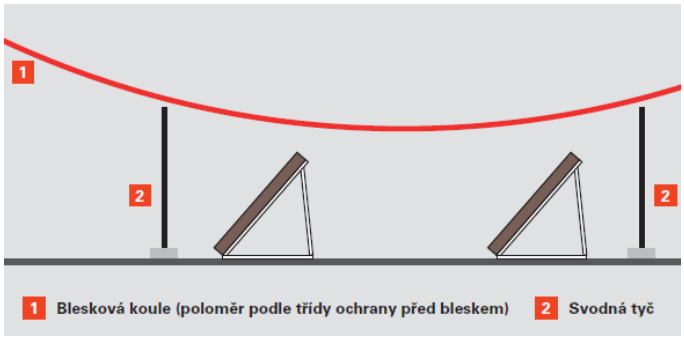
Obr. 5 *Ukázka poškozené střešní tašky vlivem extrémního množství sněhu a nízkého sklonu střechy*

Obecně je statika většiny střech v pořádku, i zde by však odborník/projektant měl prověřit možné komplikace a možná opatření. Pokud dojde například k prasknutí střešní tašky díky extrémnímu množství sněhu, je to pojistná událost a pojišťovna škodu uhradí. V lokalitách, kde je obecně více sněhu, je nutno například doplnit běžné upevňovací prvky, aby došlo k lepšímu roznesení váhy na více bodů. Přesto se může stát, že neodbornou montáží nebo zásahem do konstrukce a izolací střechy dojde ke ztrátě záruky. Větším problémem je riziko zjištění defektu/zatékání až po delší době, kdy jsou škody již rozsáhlé. Proto se doporučuje vždy součinnost se zhotovitelem střechy.

Důležitou částí projektování a montáže solárních soustav, která se opět neřeší je vliv kolektorů na střeše jako potenciálního prvku pro svedení blesku. Pokud se jedná o montáž na šikmé střeše ve vnitřním prostoru střechy je nutno dodržet minimální odstupy od okrajů střechy a vedení bleskosvodu. Zde jsou kolektory schované a nejvyšší body jsou opatřené bleskosvodem. Problémy mohou nastat, jakmile kolektory vyčnívají mimo obrysy budovy, např. na ploché střeše. V těchto případech je nutné investora minimálně upozornit na nutnost revize stávajícího systému ochrany proti blesku.



Obr. 6 *U montáže kolektorů je nutno zachovat bezpečnostní vzdálenost od bleskosvodu.*



Obr. 7 *Svodné tyče musí být tak vysoko, aby se blesková koule nemohla dotknout kolektorů.*

V praxi se také nachází nedostatečné uzemnění jednotlivých součástí. Každé vedení by mělo být pospojeno a svedeno na zemnící můstek k odvedení tzv. bludných proudů. Uzemnění pouze na zemnícím šroubku na opláštění např. zásobníkového ohřívače nic neřeší. Samotná ochrana smaltovaného zásobníku v podobě magnesiové anody nestačí – tako anoda v případě bludných proudů nevydrží ani sezónu. Musí se také každoročně kontrolovat – měřením. V případě chybné montáže dochází ke zničení zásobníku. Alternativní možností je použití elektricky napájené anody.

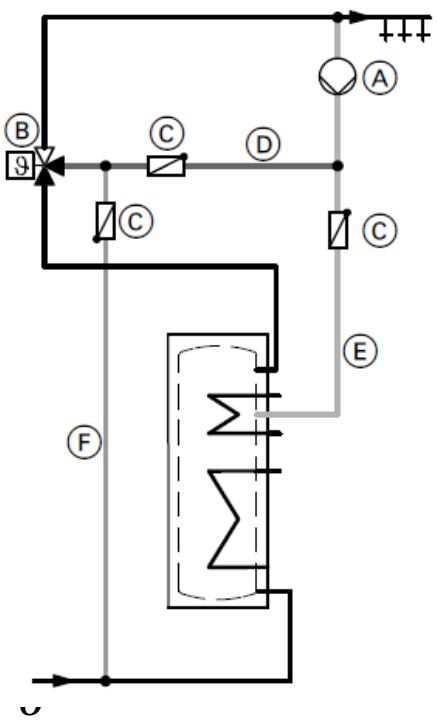
Obr. 8 *Ukázka prorezavělé topné spirály u smaltovaného zásobníku (bez ochrany proti bludným proudům)*

Obr. 9 *Pohled přes čistící otvor*

Obecný problém také vzniká při použití kombinací materiálů, u kterých vzniká elektrochemický článek. Často se jedná o spojení prvků na střeše ve venkovním prostředí. Takto může být ohrožena nejen funkčnost, ale i bezpečnost celé solární soustavy.

Pro ochranu uživatele a hlavně jeho dětí je nutné vždy použít termostatický směšovací ventil, který zaručuje, že se při překročení teploty zásobníku nad 50 °C nikdo neopaří. Tyto ventily opět nejsou vždy používány. Navíc při použití ve spojení s cirkulačním okruhem TV dochází ke špatnému zapojení, které neumožňuje funkci cirkulace až s možným výsledným defektem oběhového cirkulačního čerpadla. Správné je zapojení tzv. „tří zpětných klapek“ (viz obrázek 10).

Ⓐ Cirkulační čerpadlo
Ⓑ Termostatický směšovací automat
Ⓒ Zpětná klapka
Ⓓ Vratná větev cirkulace v létě
Potřebná vedení pro zabránění nadměrné teploty v létě.
Ⓔ Vratná větev cirkulace
Max.výstupní teplota 60 °C.
Ⓕ Přívod k termostatickému směšovacímu automatu
Nejkratší možné vedení, protože v něm v zimě nedochází k proudění.



Obr. 10 *Zapojení cirkulace TV*

VÝSLEDKY

V tomto příspěvku není možné dostat se do úplných detailů výše popsaných chyb při návrzích a montážích. Faktem je, že z dlouhodobého hlediska dochází ke zlepšení kvality instalací solárních termických systémů a to díky většímu rozšíření a informovanosti odborné veřejnosti. Přesto je při uváděních solárních systémů do provozu cca 60 % aplikací minimálně s drobnou chybou nebo zápisem servisního technika neumožňujícím provoz. Díky dotačním systémům jako byla *Zelená úsporám,* se v branži objevilo mnoho nových solárních specialistů. Často prošli pouze obecným školením a nejsou schopni zajistit jak kvalitu montáže, tak životnost a hlavně funkčnost systému, která je společně se slibovanými úsporami to nejdůležitější.

LITERATURA

[1] Viessmann GmbH, *Projekční příručka – Solární termické systémy.* 2009
[2] Technické podkady a provozní servisní materiály Viessmann

PRAKTICKÉ POZNATKY Z PROVOZU VELKÝCH SOLÁRNÍCH SOUSTAV A JEJICH MONITORINGŮ

Stanislav Němec

Regulus, spol. s r.o.
stanislav.nemec@regulus.cz

ANOTACE

Článek se zabývá praktickými poznatky a problémy při návrhu, instalaci a provozu velkých solárních soustav, jejich monitoringů a vyhodnocování naměřených dat. Detailněji rozebírá důležité funkce solárních regulací, vymezení jejich použití a možnost jejich aplikace pro velké solární soustavy.

ÚVOD

Během několika minulých let u nás došlo k velkému nárůstu instalací velkoplošných solárních soustav, zejména pro bytové domy. Program Zelená úsporám, ať již byl jakkoliv kritizovaný, bezesporu úspěšně nastartoval revitalizaci bytových domů u nás a mnohde doslova změnil tvář šedé městské zástavby. I když většina objektů logicky přistoupila nejprve k zateplení, které obyčejně přinese největší úspory na provozu objektu, bylo i hodně těch, kteří zároveň investovali do rekonstrukce vytápění či přípravy teplé vody. Ty objekty, které pouze zateplily a byla jim vyplacena dotace, nyní opět disponují finančními rezervami a začínají hledat další prostor pro úspory v provozu objektu. První „na ráně“ je obyčejně příprava teplé vody, která je většinou po vytápění tím druhým nejvyšším výdajem. Zatímco stavební firmy provádějící zateplení mají nyní bohužel nouzi o práce, oblast velkých solárních soustav bez výraznějších zpomalení pokračuje v nastoleném trendu rychlého rozvoje.

Bohužel, pouze zlomek nainstalovaných velkoplošných solárních soustav je osazen detailnějším monitoringem a záznamem dat. Detailnější sledování chování jednotlivých systémů a jejich vyhodnocování, podle našich zkušeností může vytvořit další prostor pro úspory v objektu, které nemusí být zanedbatelné. Pohybují se v rozmezí 2 - 5 % z ročních solárních zisků a jsou i případy, kdy úspora dodatečnou optimalizací narostla o více než 10 %. Nemusí jít o podstatné změny nebo zásahy, mnohdy stačí pouze posunout čidlo o několik centimetrů, změnit spínací či vypínací teplotu o několik °C a systém může přinést další trvalé úspory. Je jasné, že vzhledem k vyšším pořizovacím nákladům systému s monitoringem a relativně velkému konkurenčnímu prostředí v tomto odvětví, není možné ani do budoucna počítat s přílišným nasazováním těchto zařízení, někdy ovšem ke škodě věci samotné - mnohé systémy tak nevyužijí plně svého potenciálu. Možná v budoucnu, v souvislosti s nějakým dotačním programem, směrnicí pro velkoplošné solární soustavy, od určitých výkonů? Uvidíme …

Vzhledem k množství systémů, které jsme již měli možnost instalovat a monitorovat, uvádíme několik postřehů, vyplývajících z dlouhodobějších sledování těchto systémů. Článek si neklade za cíl zahltit čtenáře různými grafy, tabulkami či schématy, ale pouze jednoduše a snad srozumitelně popsat několik problémů spojených s velkoplošnými solárními soustavami, jejich návrhu a provozu. Vhodnější však bude začít právě problematikou monitoringů samotných.

MONITORING - VÝZVĚDNÁ SLUŽBA, NIKOLIV POLICIE

Asi takhle lze přibližně definovat rozdíl mezi systémem zařízení zajišťující sběr dat a jejich přehledného upořádání (monitoring) a zařízením, které zabezpečuje chod samotné solární soustavy, přípravy teplé vody či vytápění (regulace). Od monitoringu samotného není možné očekávat, že automaticky zoptimalizuje systém do jeho ideálních provozních podmínek. Téměř každá solární soustava je svým způsobem unikátní, těžko by se dal najít „levný strojek“ s tak dobrou umělou inteligencí, aby vyhodnotil množství dat na sobě v různých situacích jinak závislých. Toto zařízení však může jednoduše nahradit inteligence přirozená - člověk se základní znalostí problematiky, který po vyhodnocení dat zadá příslušné změny do regulace. Jako ve všem i zde platí, že řetěz bude tak silný jako je jeho nejslabší článek - může být přesný, podrobný a přehledný monitoring, zaškolená obsluha, ale pokud je na systému osazen regulátor se základní diferenciální funkcí, zásah a zlepšení nebude možné, v lepším případě bude možná částečné, pokud bude vyhodnocena chyba v nastavení právě spínací a vypínací diference. Jako jedno z prvních poučení tedy vyplývá: monitoring lze rozumně využít pouze tam, kde bude alespoň v prvním roce provozu docházet k pravidelnému vyhodnocování naměřených dat a kde bude nasazen takový regulátor, který umožní pružnější chování soustavy například tím, že disponuje alespoň minimální rezervou volněji programovatelných výstupů.

INTERNET - SOLÁRNÍ SYSTÉM VŽDY PO RUCE, ALE…

Internet, vzdálený přístup, tablet, jedním dotykem…to jsou moderní zaklínadla, kterými spousta firem doslova „očarovává“ zájemce o instalaci solární soustavy. Kouzla jsou to jistě mocná, těžko jim odolat. Je však třeba připomenout několik problémů, které je nutné pro dobře fungující vzdálený monitoring překonat. Tím prvním problémem je samotné připojení monitorujícího zařízení k internetu - většina cenově dostupných monitorujících zařízení vyžaduje pro volnou komunikaci se světem pevnou (veřejnou) IP adresu. Ta je však většinou poskytovatelů připojení k internetu nabízena pouze za úplatu - měsíční poplatek se běžně pohybuje v řádech stokorun, cena připojení je tak obyčejně dvakrát vyšší než za obvyklé připojení. Druhý problém může nastat v zabezpečení připojení regulátoru. Situaci můžeme přirovnat ke klíči a zámku od kotelny. Můžeme nastavit vysokou úroveň zabezpečení přístupu, připojení a datové komunikace - zámek, ale pokud zůstanou nezměněna tovární přístupová hesla (klíč) uvedená obyčejně na internetu ve volně přístupném návodu zařízení, je to jako bychom klíče od kotelny pověsili na ulici vedle dveří kotelny. Obecně vžité hledisko, že kde nic není, není ani co odcizit zde neplatí. Daleko větší část společnosti věnující se podvratným IT činnostem to nedělá pro peníze, ale z čisté radosti z úspěchu při akci samotné.

A třetí problém souvisí také s ochranou, tentokrát takříkajíc sama sebe. Vzdálené ovládání může znamenat rizika, zejména pokud se jedná o testování různých konfigurací, manuální spínání jednotlivých výstupů, apod. Žádné připojení není stoprocentně stabilní, pokud dojde k jeho přerušení během rizikovějšího zásahu, můžeme systém dostat do situace jako letadélko na dálkové ovládání, jehož vysílačka přestane fungovat - třeba je nasměřováno dobře a nějak přistane, třeba půjde do vývrtky, třeba ale má základního autopilota, který ho po přerušení spojení nějak navede na zem. S tím by k tomu měly přistoupit i firmy a uživatelé, využívající monitoring a vzdálený přístup. Funkce ovlivňující zásadním způsobem chování a bezpečnost systému zpřístupnit pouze administrátorovi, nebo je rovnou ze vzdáleného přístupu vyloučit. Před každou změnou konfigurace přes vzdálený přístup je vhodné se vždy nezapomenout zamyslet nad tím, co se stane, pokud změna selže. Pokud je odpovědí „průšvih“, lze obyčejně najít schůdnější řešení - domluvit se s uživatelem aby byl v tu dobu na místě k případné korekci, nebo ty nejzávažnější změny, které mohou způsobit kolaps systému provádět takzvaně „nakrátko“, přímo na místě instalace. K zahození rozhodně nejsou softwarová

řešení, které při selhání regulace provedou restart do továrního nastavení. To může být během delší doby provozu systému již poměrně odlišné, ale je většinou zdravé natolik, že zajistí přechodný provoz systému do doby, kdy obsluha provede patřičnou nápravu. Monitoring a vzdálený přístup do ovládání systému je nutné zabezpečit stejně jako domácí počítač, hierarchie jednotlivých přístupů (účtů) musí být striktně dodržena: administrátor - servis - uživatel - host a veškeré vzdálené zásahy by měly být zajištěny z hlediska možného selhání obsluhy či připojení, buď jejich omezením, nebo softwarovou ochranou.

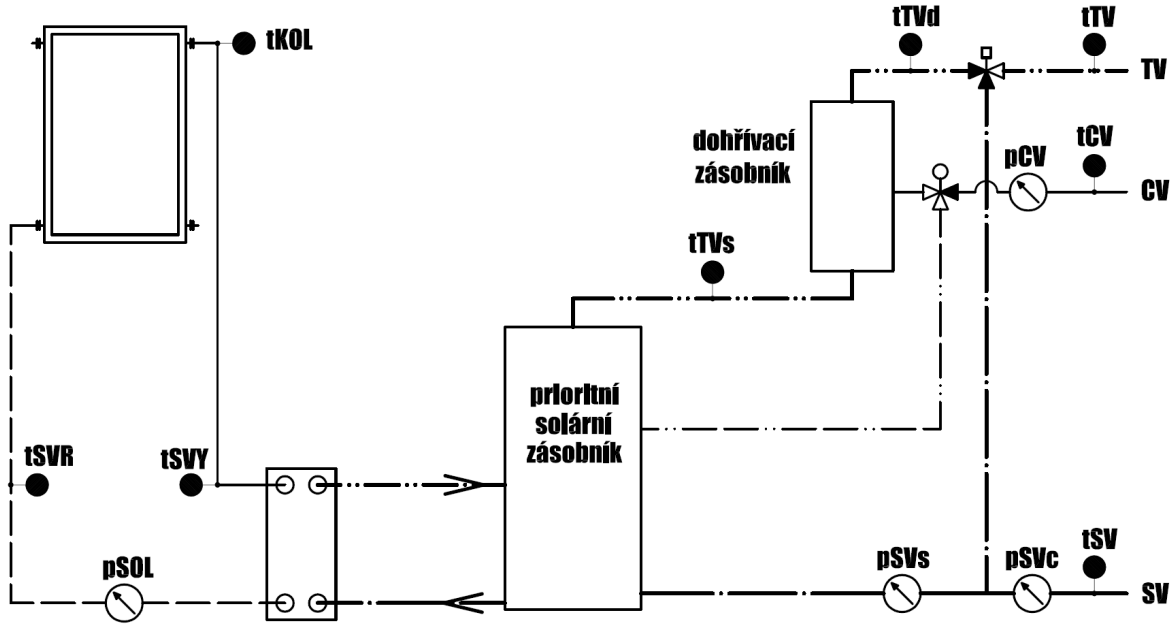
REGULÁTOR - VOLBA VELIKOSTI HŘIŠTĚ SOLÁRNÍHO SYSTÉMU

Je pravdou, že na regulaci se myslí vždy až naposled. Regulace se obyčejně snaží „vtlačit“ a natvarovat do navrženého hydraulického zapojení. Mnohdy se tak po republice potuluje poptávka na regulaci typického systému s tak netypickým schématem zapojení, že po ukončeném kolečku po většině firem zabývajícím se regulacemi je nutné systém osadit volně programovatelným regulátorem s celkovou cenou i několikanásobně vyšší než jsou ceny standardních regulací. Volba vhodného regulátoru je jednou z podmínek smysluplného provozu monitoringu - tedy aby bylo možné docílit účinné zpětné vazby a provézt korekci nastavení či funkcí systému. Regulátor určuje manipulační prostor pro jednotlivé korekční úkony a volbou nevhodného nebo i méně „otevřeného“ regulátoru můžeme znesnadnit nebo úplně omezit budoucí korekční zásahy a optimalizaci systému. Velkým přínosem k těmto úkonům jsou regulátory, které mají několik výstupů „volněji“ programovatelných. Tím volnějším programováním je myšlena možnost nastavení základních spínacích a vypínacích podmínek sepnutí těchto výstupů. Plně vyhoví funkce termostatu, teplotní diference a případně časovače. Volnou kombinací těchto tří triviálních základních regulačních funkcí na výstupu regulátoru lze obyčejně dosáhnout jakékoliv požadované úpravy systému, např. vypnutí dohřevu v závislosti na provozu nebo teploty solární soustavy, snížení teploty dohřevu při provozu solární soustavy, dodatečné sepnutí cirkulace pro dochlazení akumulace tepla, či předání tepla, atp. To jsou funkce, které obyčejně regulátor ve svém standardu nemá a pokud by neměl volně programovatelný výstup, systému by se nadalo bez montáže dalších regulačních prvků pomoci. Ve většině případů také regulátor zajišťuje samotný monitoring. Do běžných standardů a cenových hladin se již dostávají regulace s přímým připojením na internet, SD kartou pro ukládání dat, vestavěným webserverem s definovaným grafickým provozním schématem na konkrétní schéma zapojení s online přehledem teplot, průtoků a výkonů. Součástí bývají i jednoduché tablety umožňující uživateli okamžitý přístup k informacím o stavech systému s možností rychlého zásahu, samozřejmě se všemi důsledky, které z toho plynou - viz předchozí kapitola. Návratnost vyšší investice do inteligentnější regulace může být v případě zpětné vazby výsledků monitoringu velmi krátká, rozdíl v ceně základní a volněji programovatelné regulace je řádově 10 000 Kč, což bývá asi 0,5 % celkové investice. Ovlivnění ročního zisku optimalizací se může průměrně pohybovat kolem 5 %, takže u větších solárních soustav s ročním ziskem kolem 50 000 KWh může být dosaženo úspory přibližně 2500 kWh - tedy při ceně cca 2 Kč/kWh asi 5 000 Kč - návratnost 2 roky. I při úspoře optimalizací 1% bude návratnost této investice kratší nebo přibližně stejná než návratnost samotné solární soustavy.

UŽITNÁ HODNOTA DAT - VELKÉ MNOŽSTVÍ DAT VĚTŠINOU PŘITÍŽÍ

Je-li rozhodnuto o instalaci monitoringu, je nutné také stanovit co měřit. Zvážit by se měl hlavně účel monitoringu, kterých může být několik. K těm základním, jako již zmiňovaný uživatelský přehled a optimalizace to může být například propagace, která cíleně směřuje na konkrétní okruh potenciálních zákazníků. Ve většině případů není nutné osadit v podstatě každou trubku či větev měřením teploty či průtoku. Naopak, střízlivější přístup k počtu čidel a průtokoměrů vede k přehlednosti monitoringu, potřebná velikost datového úložiště

naměřených dat je nižší - levnější, a nakonec, levnější je samozřejmě i cena samotného monitoringu. V propagačním monitoringu toto platí dvojnásob. Množství teplot, výkonů, energií a jejich vzájemnou provázenost nelze běžnými silami v několika větách zákazníkovi vysvětlit. Základní body měření, které obyčejně postačují ke kvalitnímu monitoringu solárního systému jsou patrné na obrázku 1.



Obr. 1 *Schéma solární soustavy pro BD s body měření*

Solární soustava

Z hlediska solárního okruhu lze běžně vystačit se třemi čidly a jedním průtokoměrem. Z nich se dá stanovit přesně výkon a energie dodávaná solární soustavou a lze z nich i relativně přesně vyhodnotit tepelnou ztrátu solární soustavy. Připojením čidla měřícího aktuální výkon slunečního svitu lze odhadnout i okamžitou účinnost solární soustavy, i když dle našich zkušeností je zobrazení tohoto stavu zejména ve volně přístupné části monitoringu zavádějící. Čidlo osvitu měří aktuální hodnotu, ale výkon solární soustavy se měří se zpožděním - než dojde kapalina z kolektoru do měřícího bodu na vstupu do spotřebiče, navíc je potřeba kalkulovat s tepelnou setrvačností kolektorů a potrubí. Tento odhad účinnosti by byl možný pouze v ustálených podmínkách. Proto se čidlo osvitu používá prakticky pouze jako indikátor aktuálního výkonu slunečního záření na plochu kolektorů a ve výstupu monitoringu pro propagační účely je nutné hodnotu převést do jednoduché informace jasno, polojasno, oblačno, mnohdy i pomocí jednoduchých grafických výstupů (slunce, mrak). Velmi zajímavou hodnotou, zejména pro dodavatelské firmy a empirické účely je hodnota tepelných ztrát solární soustavy. Z obrázku 1 vyplývá, že přesně měříme pouze jednu její polovinu - na přívodní (teplém) potrubí z kolektoru (rozdíl mezi čidlem tKOL a čidlem tSVY). Jedna polovina je to však pouze domněle. Je třeba brát v úvahu teplotní spád solárního okruhu, takže pro úplné zjednodušení je možné si stanovit, že měříme cca 60 % tepelných ztrát, zbylých 40 % je ve vratném chladnějším potrubí. Pro soustavy low - flow bude tento podíl jistě vyšší, klidně i 70 % ku 30 %, teplotní rozdíl low - flow soustav bývá běžně 30 - 40 K, rozdíl mezi tepelnými ztrátami potrubí tedy budou vyšší. Už z několika těchto informací lze poměrně přesně zjistit stav, zhodnotit provoz a bezchybnost solární soustavy, takže u většiny jednodušších nebo menších solárních aplikací toto měření zcela postačuje. Pro propagační účely jsou tyto hodnoty velmi dobře pochopitelné i pro nepoučenou osobu a hlavně solární soustavu opravdu „propagující“, neboť jsou ukazovány pouze „vyšší“ zisky systému přípravy

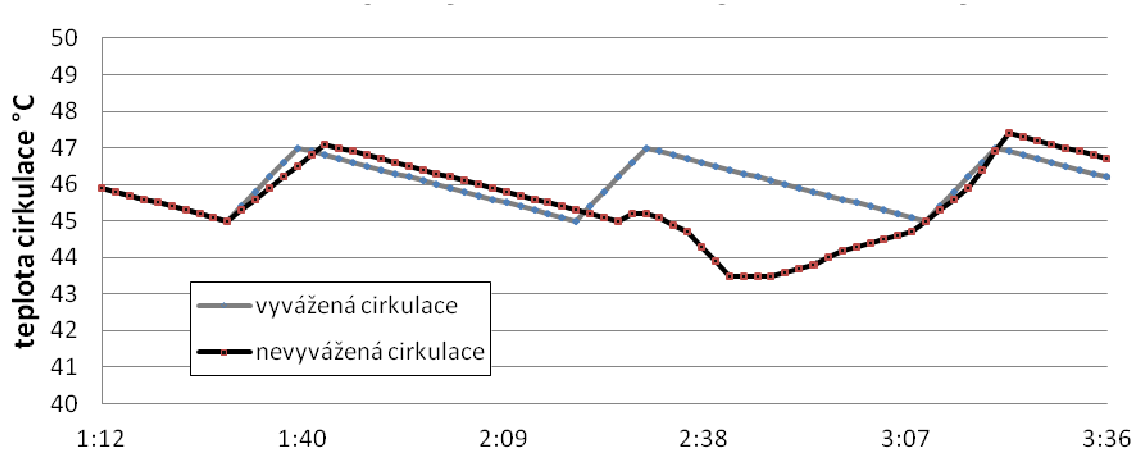
TV ze solární soustavy, neberou se totiž v potaz další ztráty solární akumulace, rozvodů, výměníků, apod. Samozřejmě existují systémy, ve kterých je vhodnější měřit a uvádět spíš spotřebu energií dohřívacího zdroje - v případech, kde je malá účinnost dohřívacího zdroje, je úspora energie vyšší než solární zisk (palivo se zbytečně nepromrhá v neúčinném zdroji), jedná se podle našich zkušeností zejména o starší velké plynové kotelny, kde je i pro relativně malý potřebný výkon do TV spínán kotel o několikanásobně vyšším výkonu. U těchto systémů může být úspora v letním provozu i dvojnásobně vyšší než samotný solární zisk a je samozřejmě škoda to v prezentaci monitoringu nevyužít a přitom navíc nelhat, neboť se opravdu jedná o „úsporu provozem solární soustavy“.

Příprava teplé vody

Měření a monitoring samotné přípravy teplé vody je instalován méně často, zejména kvůli podstatnému navýšení celkové ceny monitoringu. Vzhledem k nutnosti směšování výstupu teplé vody kvůli vysoké teplotě solární akumulace je nutné použít minimálně 2 průtokoměry, které oproti solárnímu okruhu (průtok relativně rovnoměrný) musí být přesnější a pružnější (kvůli častým a skokovým změnám průtoku odběrů TV) a to v celém jejich rozsahu, který navíc musí zachytit i malý odběr teplé vody (mytí rukou) i měřit velké večerní odběrové špičky o velikosti několika m^3/h, aniž by do rozvodu přinášel podstatnou dodatečnou tlakovou ztrátu. Problém nastává i v samotném měření, respektive četnosti zaznamenávaných dat. Běžně používané četnosti kolem 10 s, už mohou v tomto případě přinášet chyby - odběr TV může být jistě kratší než 10 s. Vyšší četnost ovšem znamená podstatné zvýšení nároků na úložnou velikost měřených dat a samozřejmě i nároky výpočetní jednotky na jejich zpracování (online vykreslení grafů, počítání měsíčních bilancí, apod.). Běžný denní „log“ většího systému solární přípravy teplé vody zabere při četnosti záznamů 10 s i několik MB. Pokud se ale přistoupí i na měření přípravy teplé vody, vzniká další, mnohdy podstatný prostor pro další optimalizaci a navýšení úspory systému. Je možné vysledovat denní a měsíční charakteristiku odběru TV a adekvátně časově i teplotně „naladit“ dohřev, čímž lze zvětšit manipulační prostor pro solární soustavu, aniž by byl nějak narušen komfort v distribuci teplé vody. Aby mohl být měřen podíl jednotlivých zdrojů na přípravě teplé vody je nutné měřit teplotu TV vždy před a za jednotlivým stupněm ohřevu, průtok zůstává stejný. Odlišný průtok je až za směšovacím ventilem a ten je zachycen samostatným průtokoměrem, na obrázku 1 se jedná o průtokoměr SVc. Průtokoměr SVs měří průtok vody přes zdroje, dále jsou využity teploty tSV a tTV pro stanovení celkové spotřeby teplé vody, tSV a tTVs pro stanovení energie dodané do teplé vody v solárním ohřevu, tTVs a tTVd pro stanovení energie dodané dohřevem. Tuto stanovenou hodnotu lze porovnávat s měřením spotřeby paliva či energie na dohřev a stanovovat okamžitou účinnost ohřívacího zdroje, pokud je možné hodnoty spravedlivě porovnávat v jednom daném okamžiku, jinak je doporučeno používat spíše integrální hodnoty za určité období.

Velice důležitou hodnotou z hlediska bilancování systému je účinnost rozvodů, rep. tepelné ztráty rozvodů a cirkulace. U velkých bytových domů mohou tyto ztráty tvořit zásadní podíl v celkové spotřebě energie na přípravu teplé vody, výjimkou vůbec nejsou bytové domy bohužel i relativně nové, ve kterých je energie na hrazení tepelných ztrát rozvodů stejně velká jako potřeba energie na samotný ohřev spotřebované teplé vody. Tato ztráta se samozřejmě sama nabízí ke svému snížení a prostor zde jistě je, jen je třeba upozornit na několik problematičtějších bodů. Samotné snížení tepelné ztráty se kromě dodatečného zaizolování dá řešit třeba inteligentním řízením spínání oběhového čerpadla cirkulace. To ovšem může být ošidná věc hned z několika důvodů. Je třeba brát v úvahu alespoň základní hygienická hlediska systému přípravy TV zejména možnost většího rozšíření bakterií Legionell, které mají při teplotách kolem 35 až 45°C ideální podmínky pro množení. Pokud tedy uživatel snižuje teplotu cirkulace (montážní firma je nucena cirkulaci nastavit dle norem na teplotu o

5 K nižší než je výstupní teplota TV), měl by řešit její nejlépe každodenní cyklické přehřívání, aby zamezil usazovaní a množení těchto bakterií a v objektech citlivých na hygienu (nemocnice, domovy důchodců) vůbec nepoužívat nízké teploty TV a cirkulace. Další potíže, které většinou nastanou, když se u systému s trvalým provozem cirkulace začne náhle cirkulace řídit, jsou s vyvážením jednotlivých stoupaček cirkulačního potrubí. Bohužel u těch bytových domů, které byly osazeny naším solárním systémem a které jsme měli možnost řešit, měla jen zhruba desetina vyvážené stoupačky cirkulace. Při trvalém provozu cirkulace se tato chyba mnohdy ani neprojeví, teplá voda obyčejně „nějak“ dojde i do těch nejvzdálenějších stoupaček - sice za delší dobu a o něco chladnější, ale obyvatelé si na tento stav zvyknou a domnívají se, že takto funguje distribuce teplé vody v celém objektu. Jakmile se však začne cirkulace řídit, což může fyzicky znamenat například 5 minut provozu a 10 minut zastavení, cirkulující teplá voda do těchto odběrů bytového domu vůbec nedoteče, respektive cirkulace funguje dle obrázku 2, kdy teplá vracející se voda z bližších stoupaček ohřeje čidlo cirkulace na dostatečnou teplotu a cirkulace vypíná, aniž by byla zajištěna teplota na všech výstupech v bytovém domě.



***Obr. 2** Graf teploty cirkulace v nevyvážené a vyvážené soustavě*

Stav se takto cyklicky opakuje, až se dostane do situace - zlomu, kdy převáží objem a nízká teplota vracející se vody z chladných (málo protékaných) stoupaček nad vyšší teplotou protékaných stoupaček, teplota cirkulace poklesne a ani při delším provozu není možné dosáhnout požadované teploty, cirkulace tak postupně ohřívá jednotlivé zanedbávané stoupačky, z nichž se postupně začne vracet teplejší voda a cirkulace se opět vypíná. Koncové stoupačky tak obyčejně nedosáhnou požadovaných teplot vůbec. Před jakýmkoliv pokusem o řízení cirkulace, je tedy nutné zajistit vyvážení jejích jednotlivých větví. Pokud k němu nedojde, na řízení cirkulace je po marném pokusu a stížnostech obyvatel nutné buď rezignovat, nebo zajistit dovyvážení cirkulace dodatečně, což se děje ve většině případech. Řízením cirkulace na minimální bezpečné teploty, někdy i jejím trvalým vypnutím na 1 - 3 hodiny v noci (pokud v daném druhu provozu hygienická legislativa umožňuje) a jejím vyvážením, lze dosáhnout i výrazných úspor v přípravě TV, ne zřídka to bývají úspory v řádech jednotek i desítek procent oproti stávajícímu stavu.

Dohřev

Měření a monitoring dohřívacího zdroje je u solárních soustav pro přípravu TV spíše výjimečná záležitost. Dohřev je ve většině případů ponechán stávající, obyčejně je již osazen měřením za účelem fakturace energie, toto měření však není kompatibilní s nově instalovaným měřením a dublování tohoto měření není ekonomicky přínosné - měřením spotřeby zdroje nedostáváme informace, podle kterých by bylo možné korigovat provoz

solární soustavy nebo přípravy TV, pouze může poukázat na nižší účinnost nebo nestabilnost tohoto zdroje. To však lze dovodit také z porovnání stávajícího měření zdroje a měřením energie, kterou zdroj do TV dal. Řešení nízké účinnosti zdroje obvykle bohužel znamená jeho výměnu.

SPECIÁLNÍ FUNKCE REGULÁTORŮ POMOHOU

Velké solární soustavy se z hlediska provozu od běžných malých odlišují. S těmito odlišnostmi je nutné počítat při návrhu soustavy, a to vhodným zapojením a volbou vhodné regulace či komponent. Pokud si uvědomíme, že tyto soustavy přinášení úspory v řádech desítek či spíše stovek tisíc korun za rok, jakákoliv malá chyba nebo nedostatek, který přinese snížení zisku jen o procento znamená snížení přínosu v řádech tisíců korun.

Řízení průtoku solárním okruhem

Běžně používané funkce řízení průtoku solárním okruhem pro zamezení jeho cyklování, jako například klasické vynechání části sinusoid v napájení oběhového čerpadla nelze ve většině případů pro velké solární soustavy využít. Relativně velký průtok v kombinaci s vyšší tlakovou ztrátou okruhu, znamená velké rázy a zátěž pro oběhové čerpadlo, spojené mnohdy s výraznými zvukovými projevy. Jak tedy zajistit kontinuálnější provoz solárního okruhu, bez několikaminutových zastavení a zbytečného chladnutí kvůli překonání teplotního rozdílu mezi spínací a vypínací diferencí kolektoru? Možností stále existuje několik, tou nejjednodušší je využití již vcelku běžné funkce solárních regulací – funkce deskového výměníku. Průtok tlakově „náročného“ primárního okruhu je možné ponechat stále maximální a regulují se otáčky sekundárního čerpadla v teplé vodě mezi výměníkem a zásobníkem. Přizpůsobuje se tedy odběr energie z výměníku, teplota primárního okruhu se nesnižuje a kolektor tak nemá možnost vychladnout pod vypínací diferenci. Čerpadlo sekundárního okruhu překonává pouze tlakovou ztrátu výměníku a několik metrů potrubí, jednoduché řízení jeho otáček je tedy obyčejně možné. Podle našich zkušeností je však možné použít tento postup i bez řízení otáček sekundárního čerpadla. Čerpadlo je možné řídit ON-OFF a udržet tím nebo dokonce regulovat požadovanou teplotu primárního okruhu, kterou v některých případech zapojení požadujeme. Zabrání se tím rozkmitání teploty v primárním okruhu zejména ve více spotřebičových solárních soustavách, kdy jednotlivé spotřebiče mohou mít výrazně odlišnou teplotu a i při krátkém přepnutí z teplejšího do studenějšího dojde k vychlazení primárního okruhu. Ten již nemá dostatečnou teplotu pro nabíjení teplejšího spotřebiče. Pokud k takové situaci dojde, nechá se primární okruh „propláchnout“ bez sepnutých sekundárních čerpadel, po krátké době bez nutnosti přerušení dojde k navýšení teploty okruhu a může se zahájit ohřev teplejšího spotřebiče. Pokud v době přepnutí nedojde k onomu „propláchnutí“ (čerpadlo primárního okruhu zůstává vypnuté), dojde k nárůstu teploty v kolektoru také a jistě i rychleji, ale v celé části vratného potrubí zůstává chladná kapalina o objemu i několika desítek litrů ještě ze studeného spotřebiče. Po spuštění okruhu se tato kapalina nestihne v kolektoru ohřát, což vede ke skokovému snížení teploty na výstupu z kolektoru a vypnutí okruhu v horším případě přepnutí zpět do studenějšího neprioritního spotřebiče a celý cyklus se pak opakuje – teplota v prioritním zásobníku neroste nebo jen velmi pomalu a naopak dochází k ohřevu neprioritního spotřebiče.

Další a samozřejmě daleko lépe využitelnou možností je instalace úporných oběhových čerpadel, jejichž otáčky lze spojitě regulovat. Doba těchto úsporných oběhových čerpadel však teprve přichází, na trhu se teprve teď začínají v širší míře objevovat regulace s možností funkčního řízení průtoků solárních okruhů pomocí „chytrých“ čerpadel.

Řízení dohřevu TV s ohledem na provozní stav solární soustavy

Aby byla zajištěna co nejvyšší využitelnost solární soustavy, je vhodné v některých aplikacích přihlédnout v řízení dohřevu TV na aktuální stav solární soustavy. Snížením teploty dohřevu dochází k rychlejšímu monovalentnímu využití solární soustavy a úspory na spotřebě energie bivalentního zdroje tedy mohou být vyšší i přes fakt že solární zisk není navýšen. Leckterý investor, klidně i bytový dům velmi rád snese krátkodobě nižší teploty TV (myšleno ale stále komfortní a na pocit horké, tedy kolem 40 až 45 °C) když ví, že té chvíli za ohřev této vody téměř neplatí. Obyčejně stačí pouze tento stav obyvatelům jednoduše vysvětlit a hledisko nulových nákladů většinou zvítězí. V těchto případech nejsou na místě ani obavy z možného výskytu bakterií Legionell – tato funkce trvá pouze několik hodin či pouze desítek minut, poté je již zajištěna běžná teplota TV, ať již ze solárního systému, nebo z dohřevu, který regulace zapíná hned, jakmile je jasné, že solární soustava není schopna požadovanou teplotu teplé vody svým výkonem zajistit.

Řízení cirkulace

Časové a teplotní řízení cirkulace již patří do standardního vybavení solárních regulací. Dobře se osvědčil teplotní formát řízení na komfortní a útlumovou teplotu v několika denních časových intervalech, ve kterém jsou možné i relativně velké úspory na ztrátách cirkulace v době, kdy jsou pouze minimální či nulové odběry TV v objektu, teplota vody v rozvodech se udržuje pouze na pohotovostních teplotách a s nižšími tepelnými ztrátami. Jedná se opět pouze o hodinové záležitosti, které by neměly mít výrazný vliv na hygienickou bezpečnost rozvodů vody v objektu. Přesto je dobré vědět, že většina regulací má k dispozici následující funkci.

Termická ochrana proti bakteriím

Legislativa u nás není v tomto ohledu tak přísná jako například u našich západních sousedů, pokud je ovšem systém přípravy teplé vody „zatížen“ různými teplotními útlumy, režimy snižováním teplot, apod., může v některých případech vzniknout požadavek na cyklickou termickou dezinfekci systému přípravy TV. Většina regulátorů je touto funkcí vybavena, většina ale také nedokáže s touto funkcí vhodně pracovat. Při termické dezinfekci je nutné ohřát celý systém přípravy TV, doslova každý její kout. Řízení této funkce by mělo být logické a přizpůsobitelné většině běžných schémat zapojení. Jednoduchý postup, kdy se pouze sepne dohřev na vyšší teploty obyčejně účinnou termickou dezinfekci nezajistí. Dobře naprogramovaná funkce začne již od čidel a jejich například týdenních záznamů teplot. Pokud byl solární systém v provozu a všechna zvolená čidla dosáhla požadovaných teplot, funkce se nevyvolá. Pokud za celý týden nedosáhla některá zvolená čidla bezpečných teplot, zahájí se funkce sepnutím dohřevu na teploty kolem 65 °C. Po dosažení této teploty se začne dohřívací zásobník promíchávat se solární akumulací a následně by mělo dojít i k sepnutí sekundárních solárních oběhových čerpadel, neboť zejména v zimním období může v solárních výměnících být delší dobu stále stejná voda o teplotě technické místnosti, pokud se jedná o výměníkovou stanici, mohou se tyto teploty pohybovat i kolem 30 °C – tedy ideální podmínky pro tvorbu bakterií Legionell. Na závěr je nutné spustit i cirkulaci. Zde může nastat komplikace v podobě termostatického směšovacího ventilu na výstupu TV, který vyšší teplotu do rozvodu nepustí. Toto lze řešit jeho by-passem s motorickým ventilem, u větších objektů kde se používají na směšování motorické ventily, regulace teplotu ve stoupačkách automaticky navýší. Po dosažení dostatečné teploty v celém systému přípravy TV by měl systém ještě nějakou dobu na vyšších teplotách setrvat. Samozřejmě je potřeba dodat, že tato funkce, třeba jen v týdenních cyklech, podstatně zvyšuje spotřebu energie na dohřev, která je jistě v mnoha případech vyšší že úspory snižováním teplot dohřevu a cirkulace, kvůli kterým se funkce aktivuje. Je proto na projektantovi stanovit jaký režim je pro danou aplikaci úspornější. V systémech, kde je dohřev trvale nastaven na bezpečnou teplotu, nebývá obvykle funkce

termické ochrany využita. Termická dezinfekce probíhá v dohřevu, pokud je zjištěno, že jím všechna voda ze zásobníků musí projít – ne vždy to tak je, stačí například chybným zapojením studenou vodu ze solárních akumulací používat pro směšování v TSV.

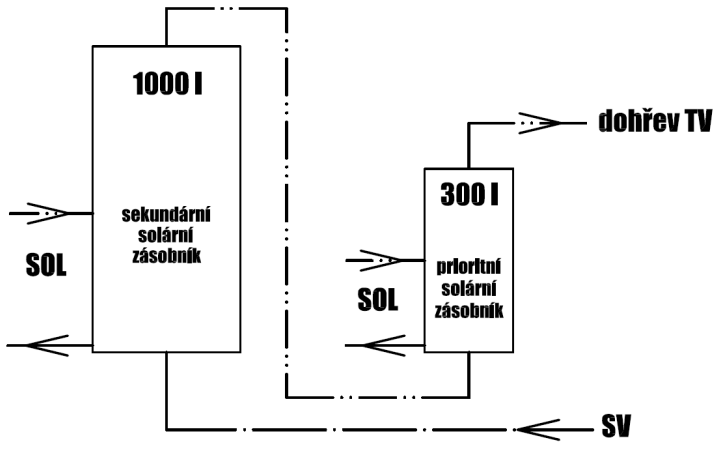
STRATIFIKACE - MOŽNOST MONOVALENTNÍHO VYUŽITÍ SOLÁRU

U většiny nejen velkých solárních soustav je požadavek, aby při jejich provozu bylo možno co nejdříve vypnout dohřev – bivalentní zdroj. Jistě se mohou vést odborné diskuse na téma, zda to vede či nevede ke snížení solárních zisků, uvedu však klasický příklad z monitorovaných soustav. První soustava je zapojena jednoduše do paralelně zapojených zásobníků bez ohledu na dodržení teplotních stratifikací či rozdělení na několik sériově zapojených zásobníků, druhá je zapojena do kaskády zásobníků. Při rozběhu soustavy trvá první soustavě prakticky celý slunečný den, než dosáhne požadovaných teplot ve všech zásobnících, druhá dosáhne požadovaná teploty v prioritním zásobníku během druhé hodiny svého provozu a tuto teplotu je schopna postupným dobíjením tohoto zásobníku udržet a přitom je ještě schopna připravit zásobu teplé vody v neprioritních předřazených zásobnících. V prvním případě musí být k dispozici dohřev celý den, v druhém soustava pracuje v monovalentním provozu, s tím že její celodenní zisk může být vzhledem k potřebné vyšší teplotě prioritního zásobníku nepatrně nižší.

Zajištění co nejrychlejšího monovalentního provozu bývá ve většině soustav standardem, není však vždy jednoduché tohoto docílit a zajistit monovalentní provoz trvaleji. Pro lepší pochopení problému je dobré provést rozdělení na samotný rozběh solárního soustavy a na následnou schopnost využití naakumulovaného tepla při večerních špičkových odběrech bez nutnosti sepnutí bivalence.

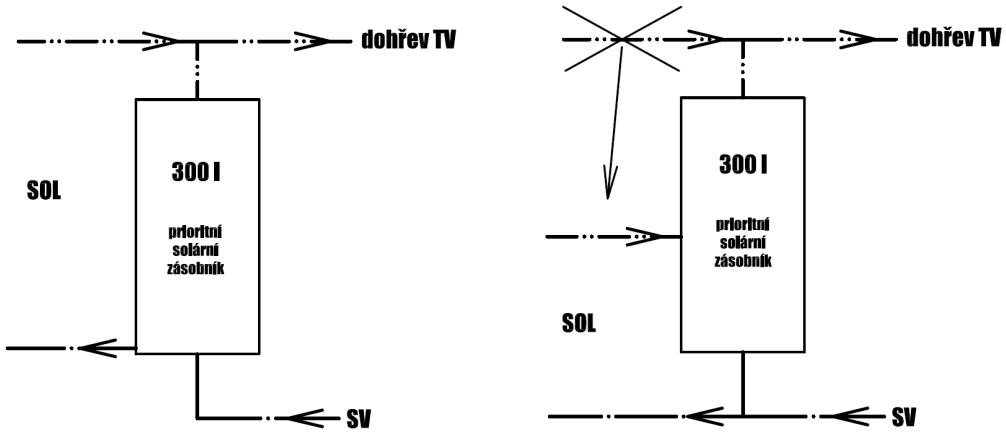
Rozběh soustavy

Existuje několik typů hydraulických zapojení, které umožní rychlé využití solární soustavy pro monovalentní provoz, většinou je nutná i spolupráce s vhodným regulátorem. Asi nejtypičtějším příkladem je kaskádové zapojení solárních zásobníků, kdy solární systém rychle ohřeje relativně malý objem prioritního zásobníku, poté přepíná do sekundárních zásobníků, kde solární energii akumuluje. Jedná se o systém relativně jednoduchý, nároky na regulaci nejsou velké. Je požadováno pouze logické přepínání solárních spotřebičů, obyčejně je nutné i nějakým výše popsaným způsobem zajistit trvalejší provoz solárního okruhu bez cyklování – viz. předchozí kapitola „řízení průtoku“. Ideové řešení je znázorněno na obrázku 3.



Obr. 3 *Klasické kaskádové zapojení solárních zásobníků pro rychlý monovalentní provoz*

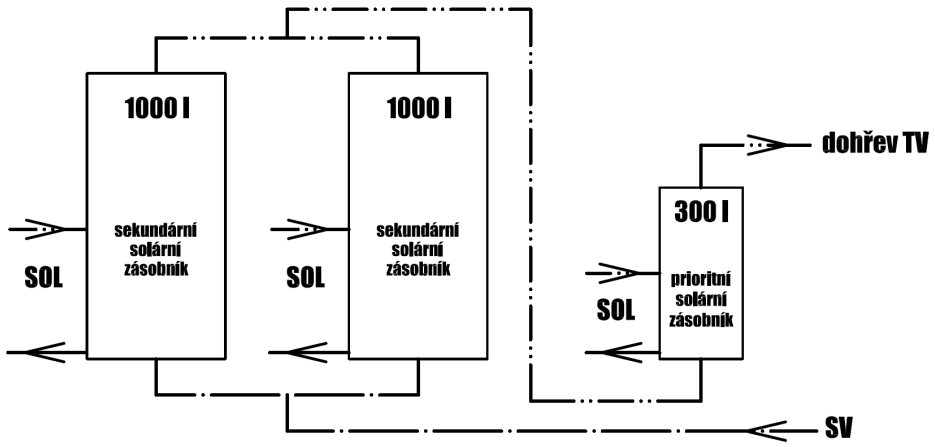
Další, trochu efektivnější, ale regulačně náročnější možností je směřování výstupu ze solárního výměníku přímo do výstupu ze solární akumulace (viz obrázek 4). Zde je nutná přesná součinnost se solární regulací, která musí vždy zajišťovat minimální požadovanou teplotu TV, nejčastěji řízením otáček sekundárních oběhových čerpadel. Jelikož není solární výměník zapojen k odběru TV striktně paralelně, může docházet k protékání vody přes solární výměník i ve chvíli, kdy není solární systém v provozu a je tedy obyčejně nutné instalovat zónový ventil na sekundární okruh solárního ohřevu. Toto řešení je vzhledem k vyšší náročnosti na regulátor používáno spíše sporadicky, je v něm však možné spatřovat určitý potenciál do budoucnosti. Druhá naznačená varianta na obrázku 4 je prakticky vyloučená, vzhledem k velkým výkyvům teplot přiváděné studené vody do solárního výměníku vlivem odběrů TV, není možné regulačně zajistit konstantní a dostatečnou teplotu výstupu TV z výměníku.



Obr. 4 *Zásobník s přímým zapojení TV a SV do solárního výměníku*

Využití naakumulovaného tepla

Pokud se úspěšně vyřeší rychlý náběh monovalentního provozu solárního systému, neznamená to, že se podařilo vyřešit co nejdelší monovalentní využití i při vybíjení solární akumulace. Velkým problémem je zde fakt velkých odběrů teplé vody ve večerních hodinách, který způsobuje nechtěné promíchávání solárních zásobníků s přiváděnou studenou vodou. Zásobníky, i když mají dostatečnou teplotu, aby dohřev nemusel být aktivován, velmi rychle tuto teplotu ztrácejí a dohřev je nutné záhy sepnout. Relativně jednoduchým řešením je rozdělení neprioritního akumulačního zásobníku do několika menších (viz obrázek 5).



Obr. 5 *Rozdělení neprioritních zásobníků pro zajištění teplotní stratifikace*

Velký přítok studené vody do těchto zásobníků je rovnoměrně rozdělen a ve většině případů již není schopný akumulační zásobníky promíchat. Zůstává zachována stratifikační hladina, kdy podle monitoringů i v rámci několika výškových centimetrů může být teplotní rozdíl až 40 °C. Start bivalence je tak možné oddálit, pokud je solární soustava navržena na celé pokrytí potřeby energie na přípravu teplé vody, může zásoba TV o dostatečné teplotě vydržet až do druhého dne. Udržení teplotní stratifikace při vybíjení podstatně zlepšuje vhodné umístění vstupů studené vody do zásobníků a jejich osazení různými defenzory, omezující rychlost vstupu SV do zásobníku a přesměrování proudění na horizontální / tangenciální. Příklad vstupů na uvedených ideových schématech lze považovat za nejhorší možné řešení, které naštěstí většina sériově vyráběných zásobníků nepoužívá.

ZÁVĚR

Velkoplošné solární soustavy jsou specifické systémy, ke kterým je nutné přistupovat vždy individuálně, zejména ve fázi projektování. Daleko více a efektivněji se zde využívají speciální funkce solárních regulací, které mohou pomoci optimalizovat provoz systému. Vzhledem k relativně velkým ročním solárním ziskům, které se pohybují v řádech desítek i několik set tisíc korun, se vždy vyplatí alespoň základní sledování systému, každé procento dodatečných úspor znamená dodatečný zisk v řádech tisíců korun. To samé samozřejmě platí i opačně jakákoliv malá chyba nebo opomenutí může znamenat ty samé ztráty. Tak jak se postupně vyvíjí solární regulace, bude nasazování monitoringů častější, vždyť základní monitoring solární soustavy jsou schopny zajistit už i regulace s cenou do 10 000 Kč.

SOLÁRNÍ FOTOTERMÁLNÍ SYSTÉMY S TEPELNOU TRANSFORMACÍ

Dalibor Skácel

SkacelSolar, Alfaprojekt, s.r.o.
info@skacelsolar.cz

ANOTACE

Příspěvek se zabývá problematikou využití solárních fototermálních systémů zejména v kombinaci pro přípravu teplé vody a vytápění v našich klimatických podmínkách za použití **tepelné transformace**(*1) jako hlavního optimalizačního opatření zvyšujícího efektivitu solárních systémů pro vytápění. V rámci provedeného experimentu bylo navrženo a vyzkoušeno konkrétní systémové řešení a zařízení zlepšující solární zisky zejména v extrémní zimní polovině roku, kdy jsou nároky na tepelnou energii nejvyšší.

ÚVOD

Jak zvýšit efektivitu solárních systémů pro vytápění v extrémních klimatických podmínkách je velké téma, na kterém pracují všichni zainteresovaní do oboru solárních technologií. Vedle optimalizačních přístupů zlevňujících solární technologie a zvyšování účinnosti vyvíjených technologií se nabízí kombinace částečně známých technologií a nový aktivní přístup, který může výrazně naplnit očekávání.

TEPELNÁ TRANSFORMACE(*1)

Kombinace dvou ušlechtilých technologií pro získávání tepelné energie z přírody, tepelných čerpadel a solárních systémů, naráží na racionální ekonomické mantinely. Solární fototermální systémy v našich klimatických podmínkách nemohou ekonomicky zajistit převažující podíl tepelné energie pro vytápění bez sezónní akumulace a nadstandardních řešení. Tepelná čerpadla všech typů a zdrojů, při dostatečném dimenzování, naopak mohou sloužit jako monovalentní zdroje tepla pro vytápění. Zejména díky charakteru tepelných čerpadel (TČ) a méně omezenému získávání disipovaného tepla prostředí na rozdíl od solárních kolektorů, které využívají skutečně jen a pouze současné sluneční záření bez přirozené akumulace v přírodním prostředí. Pokud se dnes realizují a kombinují tyto technologie, je to spíše v případě skutečného zájmu investora, dostatku finančních prostředků a snaze maximálního nasazení obnovitelných zdrojů energie. Ekonomická návratnost solárního systému pro vytápění, porovnávaná s cenou tepelné energie z dobře pracujícího tepelného čerpadla, je velmi vysoká.

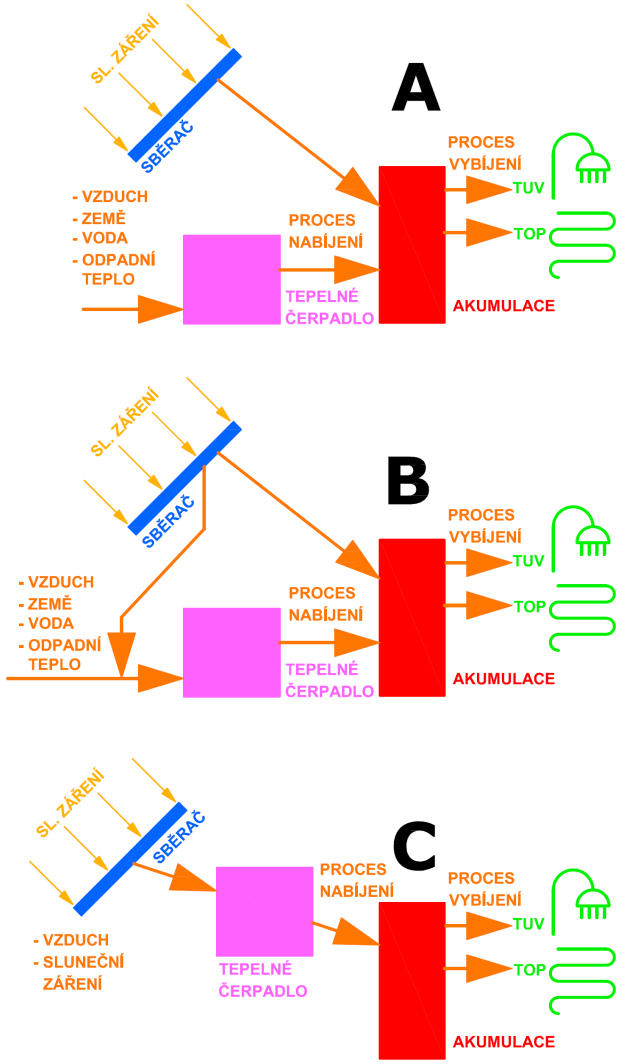
Výhody kombinovaných systémů TČ - SOL:

- úspora provozních hodin kompresoru TČ;
- lepší regenerace primárního zdroje TČ u systému země/voda;
- u sofistikovanějších zapojení (obrázek 1B, 1C) vyšší účinnost obou zařízení.

Nevýhody kombinovaných systémů TČ - SOL:

- zdvojená investice;
- špatná ekonomika solárního systému;
- přetechnizovanost, vzájemná konkurence obou zařízení u zapojení na obrázku 1A.

Kombinovat tyto technologie lze podle obrázku 1 třemi základními způsoby. Podle schématu A na obrázku 1 oba zdroje pracují prakticky nezávisle, využívají svých primárních podmínek a požadavků spotřeby, vzájemně nejsou nijak provázány a oba zdroje nabíjí kombinované nebo oddělené zásobníky TV a topení. Podle schématu 1A pracuje většina komerčních zapojení kombinovaných systémů a jejich potenciál tím není maximálně využit, protože se vzájemně nepodporují.

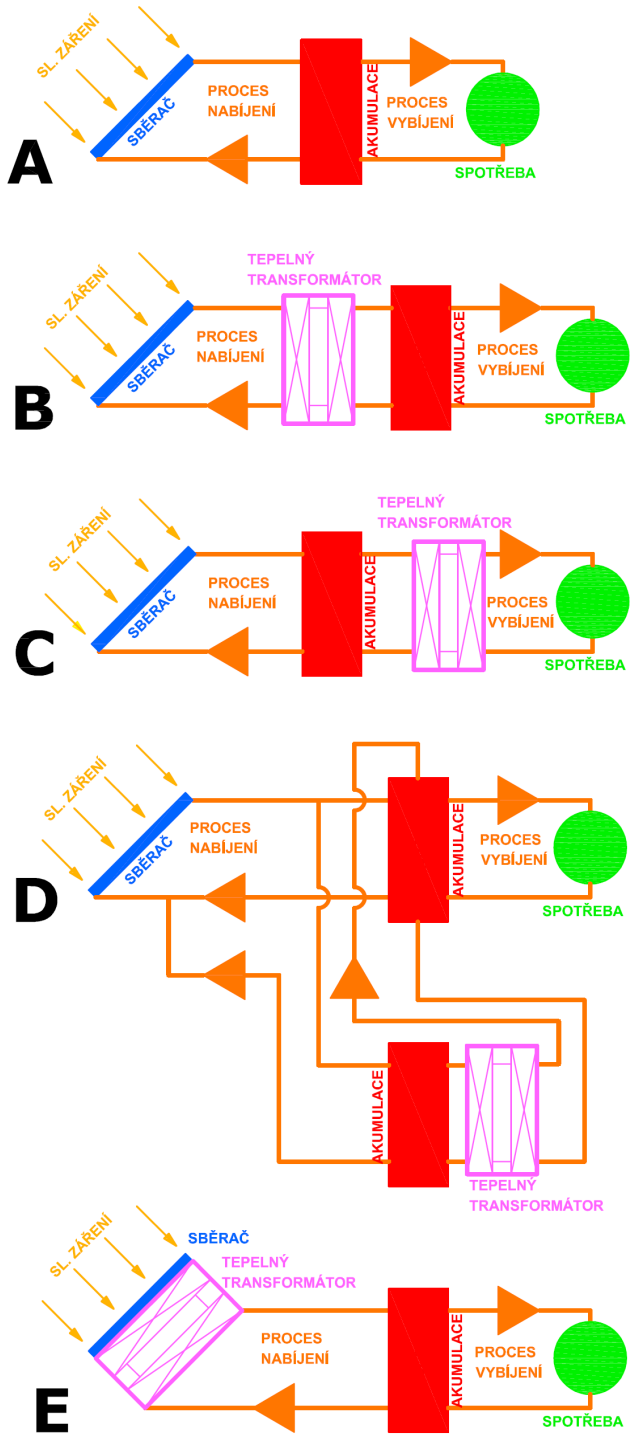


Obr. 1 *Základní principy kombinovaných systémů tepelných čerpadel se solárními fototermálními kolektory*

Na schématu B v obrázku 1 je znázorněna vazba mezi solárními kolektory a tepelným čerpadlem, která může být realizována různými způsoby, například je možné solárními nízkoteplotními přebytky, které by jinak nebyly využity, regenerovat primární okruh tepelného čerpadla země/voda nebo zajišťovat navýšení teploty primárního okruhu před vstupem do výparníku. Dále je možné přihřívat vzduch před nasáváním do výparníku tepelného čerpadla systému vzduch/voda. Třetím způsobem je využití solárního tepla ohřevem chladiva přímo v chladicím okruhu mezi výparníkem a kompresorem.

Schéma C na obrázku 1 ukazuje přímé využití solárního kolektoru nebo absorbéru jako jediného zdroje primární energie TČ. Absorbér pak může pracovat v přímém kontaktu se vzduchem jako výměník-výparník TČ vzduch/voda a zároveň je ohříván slunečním zářením.

Varianta na obrázku 1C může být realizována ovšem také úplně nezávisle prostřednictvím **tepelného transformátoru**[(*1)], který primárně slouží pouze solárnímu systému a může mít i nestandardní technické řešení. Jeho cena by měla být výrazně nižší ve srovnání s klasickou konstrukcí tepelného čerpadla.



Obr. 2 *Schématické znázornění různých uspořádání systémových řešení s tepelným transformátorem*

Záměrné použití pojmu **tepelný transformátor**[(*1)], je snahou vymezit se tímto pojmem dosavadním zvyklostem z hlediska systémového zapojení a konstrukčního pojetí zařízení, které má primárně zvýšit výtěžnost solárních systémů pro vytápění. Tepelné transformátory a

navazující systémová řešení budou přinášet a vyžadovat úpravy zásobníků a nové funkce regulátorů. Investice do tepelného transformátoru musí být vyvážena adekvátním navýšením solárních zisků. Druhým důvodem zavedení termínu **tepelný transformátor** je snaha oprostit se od jednoznačného použití typického kompresorového chlazení a drahého výkonového plnohodnotného tepelného čerpadla jako primárního zdroje tepelné energie. Na obrázku 2 jsou uvedena některá řešení.

A – běžný solární systém

Účinnost solárního kolektoru a jeho tepelné ztráty jsou velmi závislé na stupni nabití zásobníku a zejména na teplotách vratné vody z otopné soustavy. Faktické využití solárních systémů pro vytápění v extrémních podmínkách je tím do značné míry omezeno.

B – solární systém s tepelným transformátorem na primárním okruhu

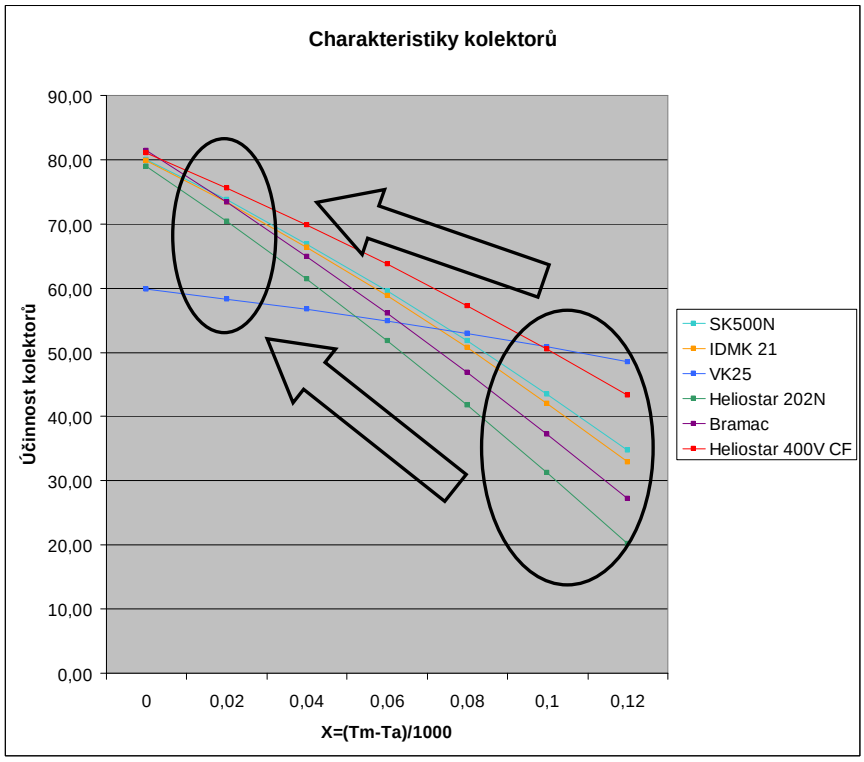
Dochází ke zvýšení účinnosti na kolektoru a ke snížení střední teploty na kolektoru, akumulace je však využívána ve vyšší teplotní hladině, s menší tepelnou kapacitou a většími tepelnými ztrátami. Tepelného transformátoru lze využít jen v reálném čase solárních zisků.

C – solární systém s tepelným transformátorem na sekundárním okruhu

Dochází ke zvýšení účinnosti kolektoru stejně jako u varianty B, systémové řešení však umožňuje využití akumulace také samotným tepelným transformátorem, který pak nemusí kopírovat aktuální chování solárního systému v reálném čase. Výkon tepelného transformátoru a jeho nasazení není závislý na reálných potřebách a možnostech solárního systému.

D – solární systém s tepelným transformátorem a dvěma zásobníky

Toto řešení uvažuje s přepouštěním tepla mezi nízkopotenciálním a vysoko-potenciálním zásobníkem, tento systém má větší kapacitu akumulace s optimálním využitím solárních kolektorů za různých podmínek za cenu vyšší investice.

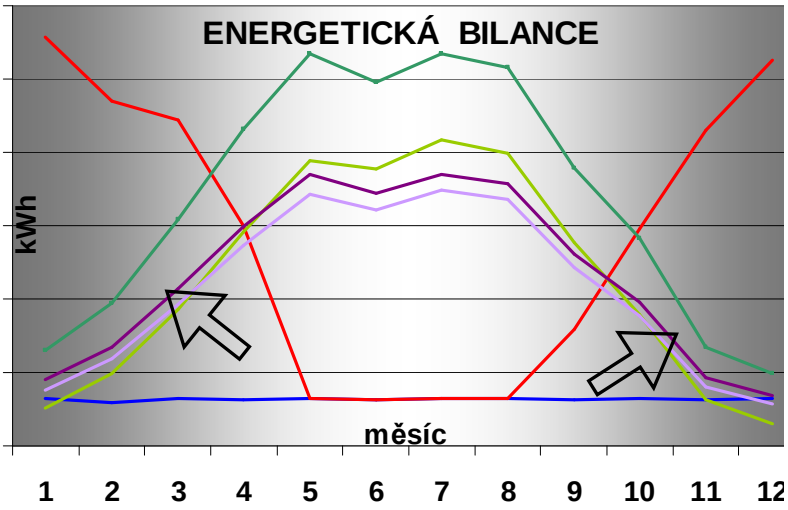


Obr. 3 *Zvýšení účinnosti solárních kolektorů aplikací tepelného transformátoru*

E – tepelný transformátor jako integrované zařízení

Vedle integrace do kolektoru si lze představit integraci přímo do zásobníku, ve kterém chladíme spodní část a ohříváme horní. Tepelný transformátor by pak představoval jakýsi aktivní stratifikátor, kterým by mohly být vybaveny sofistikovanější solární zásobníky.

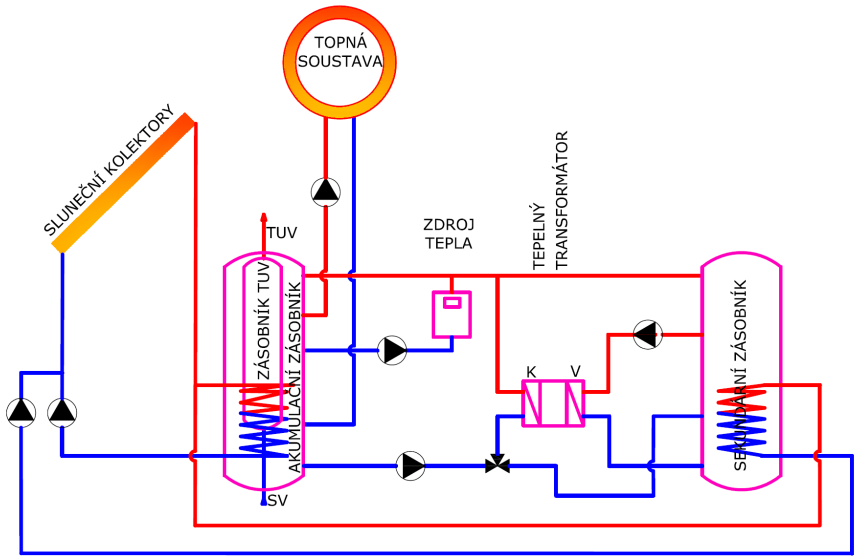
Cílem aplikace tepelného transformátoru je zvýšení účinnosti solárního kolektoru a výrazné snížení redukovaného teplotního rozdílu ($T_m - T_a$) v extrémních zimních měsících (viz obrázky 3 a 4).



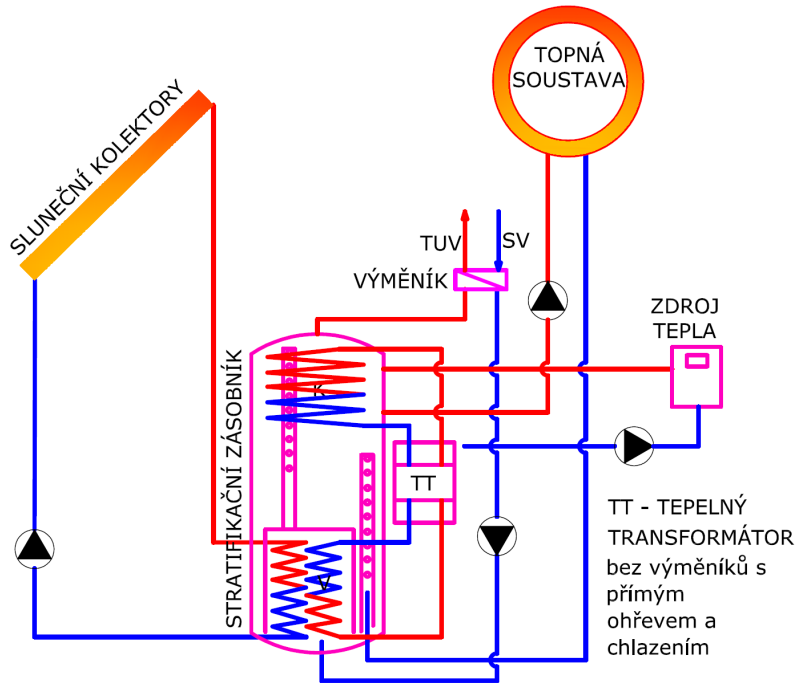
Obr. 4 *Energetická bilance solárního systému s tepelnou transformací*

KONKRÉTNÍ ZAPOJENÍ KOMBINOVANÝCH SYSTÉMŮ

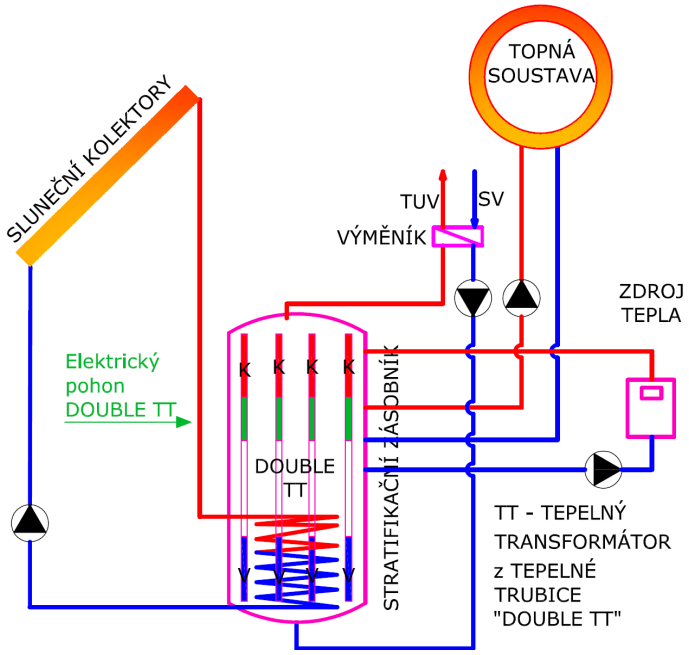
Některá ze zapojení jsou uvedena na obrázcích 5 až 7. Na obrázku 7 je znázorněna varianta představující nové pojetí a možné konstrukční řešení tepelného transformátoru druhé generace. Tento transformátor nepracuje s klasickým kompresorovým chladícím strojem, ale kombinuje princip tepelné trubice s absorpčním chlazením, vše integrováno v jedné kompaktní trubici nebo jinak tvarovaném prvku vytvářejícím kýžený efekt a funkci.



Obr. 5 *Tepelný transformátor mezi dvěma zásobníky*



Obr. 6 *Tepelný transformátor s integrovanými výměníky v rámci jedné nádrže*



Obr. 7 *Tepelný transformátor na bázi:„Double TT“*[(*2)]

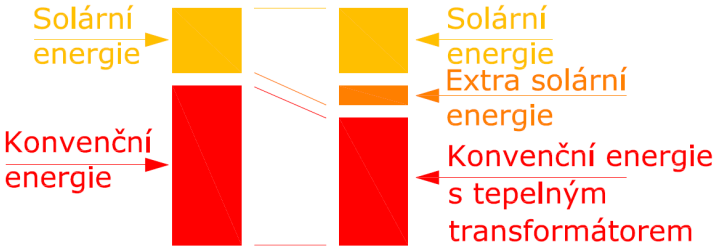
TEPELNÁ TRANSFORMACE ANEB PERPETUM MOBILE ?

Základní otázkou zůstává, zda má smysl uvažovat o využití „tepelného transformátoru“ v různých konstrukčních podobách, o kterých je řeč v předchozích odstavcích. Tato implementace přináší:

- navýšení účinnosti solárních kolektorů;
- z toho pramenící navýšení solárních zisků;
- další investici do aktivního prvku, např. kompresorového chladicího zařízení;

- provozní náklady tepelného transformátoru.

Tepelný transformátor může mít větší příkon než samotné navýšení solárních zisků a přesto může být smysluplné jeho využití. Solární systém pro vytápění je převážně doplňkovým zdrojem energie a v extrémních podmínkách je zapotřebí dalšího zdroje energie pro zabezpečení tepelných potřeb, kterým je v našem případě částečně i příkon našeho tepelného transformátoru. Energii, kterou spotřebuje tepelný transformátor, bychom stejně museli systému dodat.



Obr. 8 *Vliv tepelného transformátoru na změnu poměru primárních energetických zdrojů v systému*

Na obrázku 8 lze pozorovat stále stejnou energetickou potřebu standardního rozložení primárních zdrojů před a po úpravě, u které je určité množství bivalentní konvenční energie použito pro zlepšení vnějších podmínek a navýšení efektivity solárních kolektorů a tedy i jejich zvýšeného podílu na celkové bilanci při použití tepelného transformátoru.

DIMENZOVÁNÍ TEPELNÉHO TRANSFORMÁTORU

V zásadě je nezbytné posuzovat potenciál kolektorového pole v extrémních podmínkách, chladicí výkon tepelného transformátoru, příkon tepelného transformátoru, nezbytný požadovaný topný výkon a akumulační kapacitu tepla a chladu. Lze rozlišovat dva základní přístupy aplikování tepelného transformátoru, které jsou znázorněny na schématu 1B a 1C.

V prvém případě (schéma 1B) tepelný transformátor, respektive tepelné čerpadlo, využívá jako primární zdroj energie další prostředí a jeho výkon je dimenzován podle požadavků a tepelné ztráty domu, chladící výkon pak zpravidla přesahuje úroveň solárních zisků v extrémních podmínkách. Ve druhém případě (schéma 1C) je obtížné zajistit zařízení s optimálním chladicím výkonem, protože se solární zisky využitelné k požadované transformaci značně liší v extrémních podmínkách. Chladící výkon může proto přesahovat kapacitu solárního systému v určitém časovém období a podmínka vyplývající ze vztahu (1) pak nemusí platit.

$$\int P_{PŘ} \cdot {}_d\tau \leq \int P_{KZ} \cdot {}_d\tau \qquad (1)$$

$$\int P_{CH} \cdot {}_d\tau \leq \int P_{SS\,(G,\,x,\,\tau)} \cdot {}_d\tau \qquad (2)$$

kde

$P_{PŘ}$ je příkon tepelného transformátoru (tepelného čerpadla) [kW];

P_{KZ} [kW] výkon konvenčního zdroje energie [kW];

P_{CH} [kW] chladící výkon tepelného transformátoru (tepelného čerpadla) [kW];

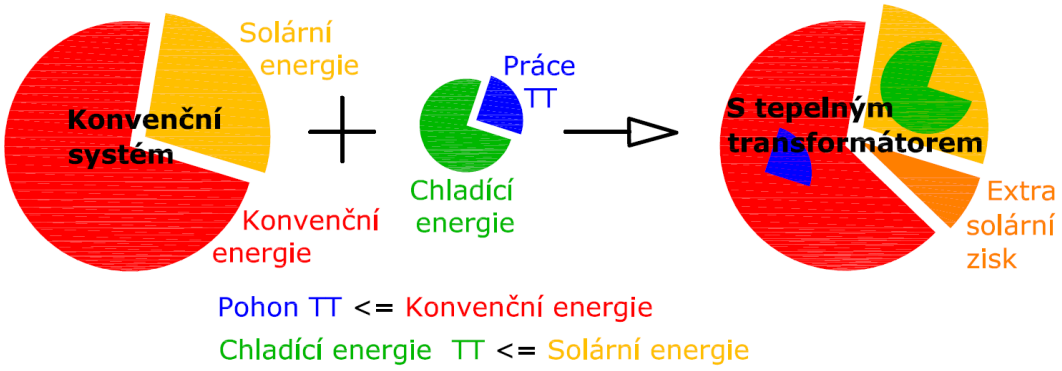
P_{SS} [kW] aktuální výkon solárního systému [kW].

$$P_{TT} = P_{CH} + P_{PŘ} \tag{3}$$

$$P_{TT} = f(A_{SS}, V_{SS}, P_{TOP+TV}) \tag{4}$$

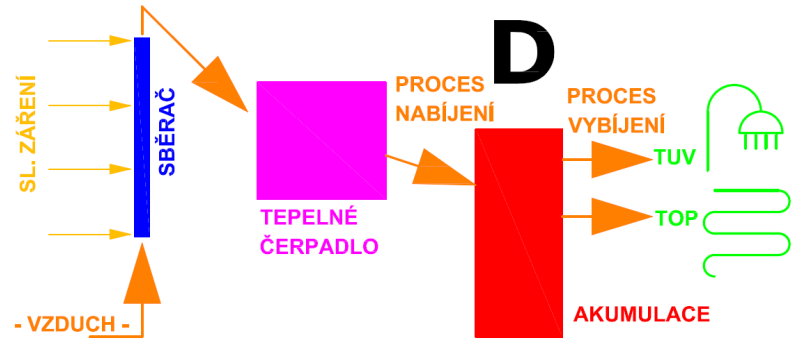
kde

P_{TT}	[kW]	výkon tepelného transformátoru (tepelného čerpadla) [kW];
A_{SS}	[m^2]	kolektorová plocha [m^2];
V_{SS}	[m^3]	akumulační kapacita zásobníků tepla [m^3];
P_{TOP+TV}	[kW]	požadovaný topný výkon pro zajištění vytápění a přípravy TV [kW].



Obr. 9 *Základní bilanční vztahy mezi toky energie při využití tepelné transformace*

Vztahy (1-4) a obrázek 9 vyjadřují základní podmínky pro dimenzování tepelných transformátorů, zejména při použití tepelného transformátoru autonomně bez dalšího zdroje energie podle schématu 2C. Jak tedy dimenzovat požadovaný výkon tepelného transformátoru (tepelného čerpadla)? Odpověď budeme znát až po dalších experimentálních zkušenostech. Dosavadní zjištění ovšem ukazují na fakt, že zařízení klasické konstrukce (tepelné čerpadlo) bude často nevyužité a jeho potenciál pracovat s další disipovanou energií z přírody bude nevyužit. Proto se nabízí další technické řešení naznačené na obrázku 10, které kombinuje tepelné čerpadlo vzduch/voda se vzduchovými solárními kolektory, čímž se eliminují nevýhody řešení ze schématu 2B,C.



Obr. 10 *Kombinovaný systém vzduchových solárních kolektorů s TČ vzduch/voda*

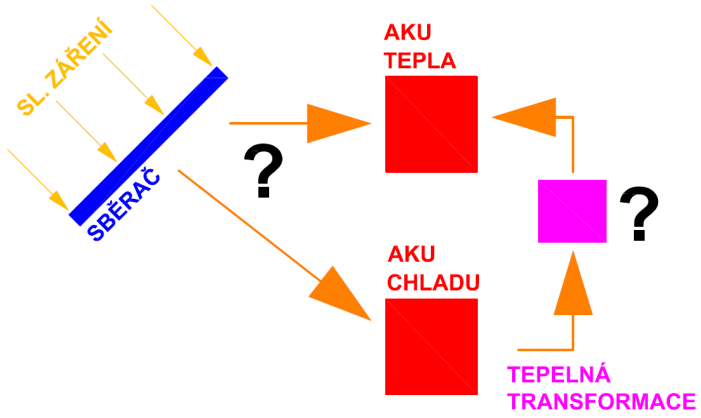
Řešení z obrázku 10 by bylo vhodné dimenzovat tak, aby výkon tepelného transformátoru a kapacita akumulace systému umožňovaly využití zařízení pouze 8 hodin denně v době

s maximálními solárními zisky pro zabezpečení celkového množství tepelné energie. Tím by docházelo k maximálnímu využití solárního potenciálu. Trojnásobně dimenzovaný výkon tepelného čerpadla (3 x 8 = 24 hodin) by pak znamenal příkon odpovídající zjednodušeně výkonu potřebného pro přímotopné elektrické vytápění a vyšší investici do technologie, proto bude optimální návrh určitým kompromisem a bude také záviset na velikosti a efektivitě solárního vzduchového kolektorového pole.

ZPŮSOB ŘÍZENÍ TEPELNÝCH TRANSFORMÁTORŮ

Kdy tepelný transformátor spouštět, případně na jaký výkon, bude záviset na velikosti kolektorového pole, chladícím výkonu tepelného transformátoru, kapacitě akumulace tepla a chladu a samotném řešení celého systému.

Jak je vidět na obrázku 11 v zásadě je nezbytné určit zda budou upřednostněny nižší absolutní solární zisky s vyšší získanou teplotou a kvalitou energie nebo vyšší absolutní solární zisky díky tepelnému transformátoru, avšak za cenu nižší kvality tepelné energie. Solární systém může nabíjet například dvě hladiny jedné nádrže nebo dva samostatné zásobníky. Na řízení lze aplikovat klasické dvouvýstupové diferenciální regulátory s nastavitelnou prioritou, tak jak se dnes běžně využívají. Jedinou odlišností je fakt, že nižší priorita akumulátoru chladu je zde také využívána pro vytápění a přípravu TV díky tepelné transformaci a priorita je pak zavádějící. Pokud je v daný okamžik požadavek po tepelné energii z konvenčního zdroje a není dostatek solárního tepla, má smysl aktivovat tepelný transformátor s předností před konvenčním zdrojem a vychlazovat akumulátor chladu až na minimální hodnoty omezené použitým médiem a možností zamrznutí. V tomto případě má zároveň význam změnit prioritu solárního ohřevu, protože s akumulátorem chladu bude solární systém pracovat s mnohem vyšší účinností.



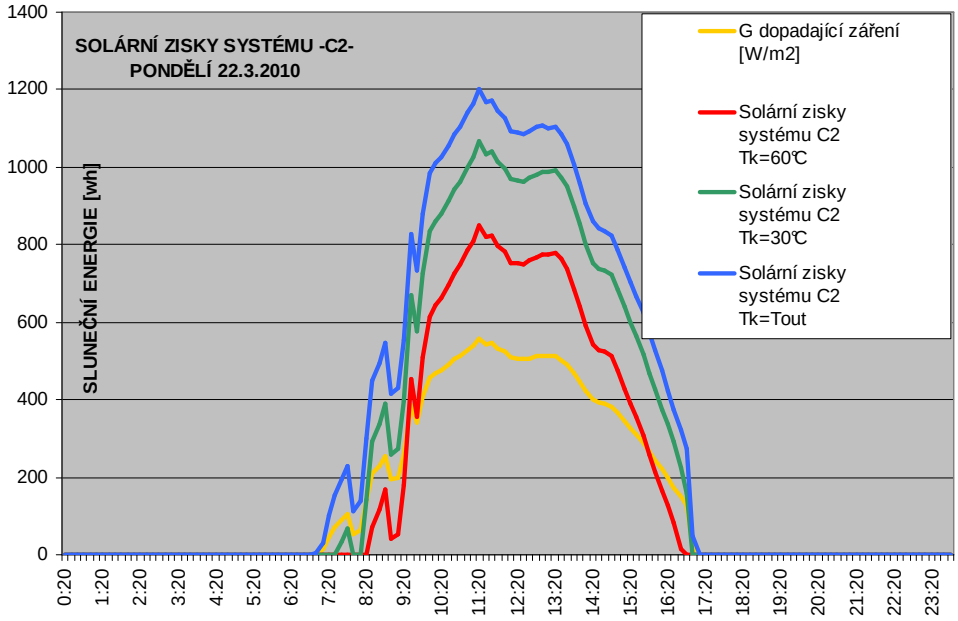
Obr. 11 *Řízení tepelné transformace a způsobu nabíjení solárním systémem*

Vazby mezi těmito rozhodnutími lze rozšířit o predikci počasí s předpokládanými solárními zisky ze solárních kolektorů a předpokladem spotřeby tepelné energie, která vychází z týdenního a denního režimu spojeného s venkovní teplotou a chováním uživatele.

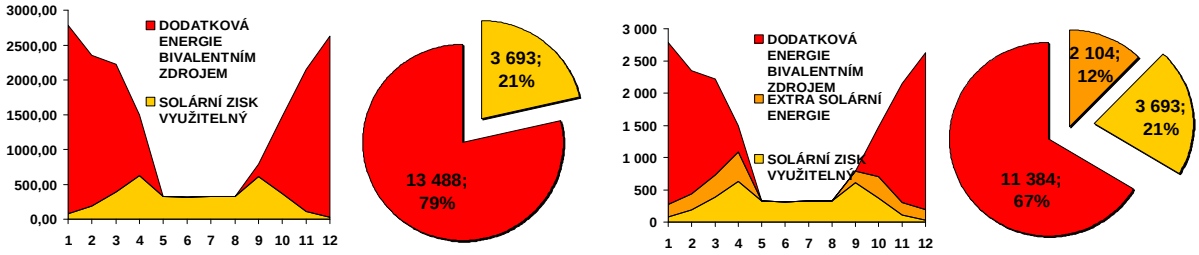
ZÁVĚR - OVĚŘENÍ HYPOTÉZY

Do stávajícího solárního systému byla navýšena celková absorpční plocha na 13,92 m^2 a ke kombinovanému zásobníku tepla o kapacitě 750 litrů byla přiřazena sekundární beztlaká akumulační nádoba o kapacitě 650 litrů a k systému bylo připojeno malé tepelné čerpadlo voda/voda o příkonu 750 W a nominálním výkonu 2,5 kW. Celé zařízení je provozováno již třetí sezónu podle principiálního schématu na obrázku 6. Pokud by zařízení a optimalizační opatření stálo cca 50 000,- Kč, bylo by možné očekávat průměrné efektivní snížení roční

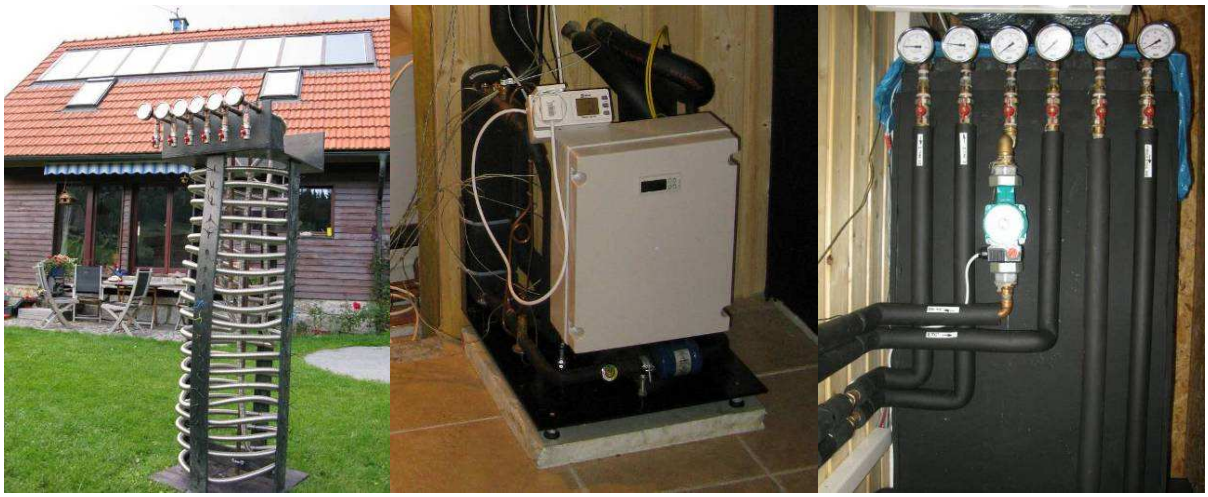
průměrné střední teploty na kolektoru T_k o 35 K a tím docílit navýšení solárních zisků (viz obrázek 12). Návratnost takovéhoto opatření se pak pohybuje reálně okolo 6 až 8 let.



Obr. 12 *Energetické bilance bez a s použitím tepelného transformátoru [kWh/rok], T_k [°C]-střední teplota na kolektoru*



Obr. 13 *Energetické bilance bez a s použitím tepelného transformátoru v [kWh/rok]*



Obr. 14 *Experimentální zařízení pro ověření hypotézy o tepelné transformaci*

Obr. 15 *Měření efektivity optimalizačního opatření*

SEZNAM OZNAČENÍ

***1 - Tepelný transformátor (TT) –** Tímto pojmem nazývám aktivní výkonový prvek solárních systémů, který napomáhá aktivní stratifikaci zásobníků a navyšuje jeho kapacitu, snižuje střední teplotu na kolektoru a nemusí mít charakter a konstrukci klasického tepelného čerpadla, tepelný transformátor je pak primárně určen navýšení účinnosti a efektivity solárních systémů pro vytápění. V zásadě se jedná o chladicí zařízení, kterým zvyšujeme účinnost solárních kolektorů a zároveň navyšujeme účinnou teplotu spotřeby.

***2 – „Double TT“** – Připravovaný prototyp tepelné trubice nové generace kombinující absorpční chlazení s principem tepelné trubice v jedné kompaktní jednotce. Takovýto prvek by mohl řešit aktivní stratifikaci v solárních systémech a zvyšovat tím účinnost solárních systémů

TERMICKÉ KOLEKTORY A TEPELNÉ ČERPADLÁ, KONKURENCIA ALEBO KOOPERÁCIA

Milan Novák

THERMO/SOLAR Žiar s.r.o.
novak@thermosolar.sk

ANOTACE

V príspevku sú popísané dva typy spolupráce tepelného čerpadla s termickými slnečnými kolektormi. V prvom prípade sa nízkopotenciálnym teplom zo slnečných kolektorov regeneruje zemný kolektor tepelného čerpadla. V druhom prípade jediným zdrojom nízkopotenciálneho tepla pre tepelné čerpadlo sú slnečné kolektory. V oboch prípadoch sa používajú ploché vákuové kolektory TS 400, čím sa vylúči kondenzácia vodných pár v interiéri kolektorov pri ich podchladení pod rosný bod. V príspevku sú uvedené praktické výsledky, výhody a nevýhody takto pracujúcich systémov zásobovania teplom.

ÚVOD

Znižovať náklady za energie a zároveň znižovať svoju závislosť od energetických monopolov je v Európe čoraz populárnejšie. Veľká časť novostavieb sú v nízkoenergetickom a dokonca aj v pasívnom štandarde. Tento trend je v krajinách EU podporený i legislatívne, pretože všetky novopostavené budovy od r. 2018 a od r. 2020 i privátne by mali mať takmer nulovú spotrebu energie.

Existujú však milióny starších budov, kde z rôznych dôvodov je zníženie ich tepelných strát na nízkoenergetický resp. pasívny štandard mimoriadne technicky i ekonomicky náročné. V prípade pamiatkovo chránených budov často takmer nezrealizovateľné. V takýchto prípadoch zmysluplným riešením môže byť kombinácia čiastočného zníženia tepelných strát budovy spojené s vlastnou výrobou tepla z obnoviteľných zdrojov energií. Na tento účel sa dajú s výhodou využiť termické slnečné kolektory a tepelné čerpadlá.

Energetický zisk a účinnosť termických slnečných kolektorov i tepelných čerpadiel má podobný charakter. S rastúcim rozdielom teplôt na strane zdroja a na strane spotreby klesá efektívnosť ich práce. Preto z hľadiska investičných nákladov a energetických ziskov nezávislá paralelná práca kolektorov a tepelných čerpadiel nie je príliš zmysluplná. Situácia sa však zmení v prípade, že oba energetické zdroje sú vzájomne previazané tak, že prostredníctvom kolektorov sa zlepšuje efektívnosť práce tepelného čerpadla a naopak.

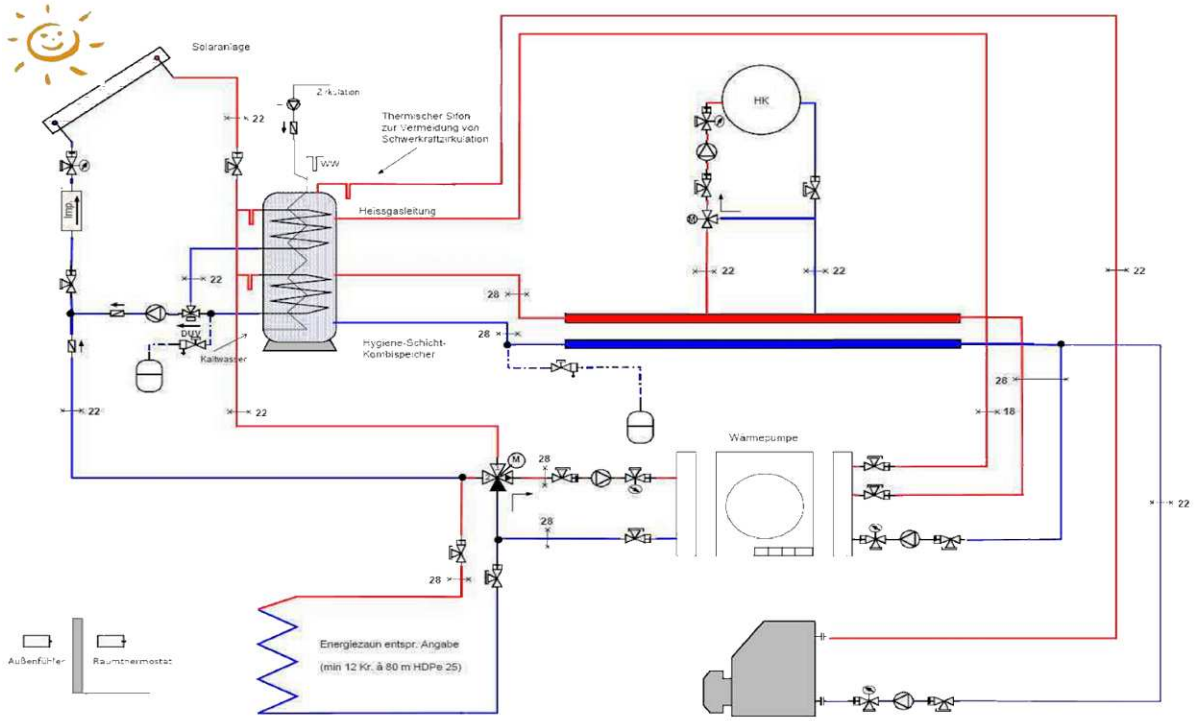
Využitie tepelných čerpadiel (s podstatne jednoduchšou akumuláciou tepla ako v prípade akumulácie elektrickej energie) bude stále atraktívnejšie aj v súvislosti s rastom inštalovaného výkonu nestabilných zdrojov elektrickej energie (fotovoltaika, vietor). V Nemecku je už dnes možné z regulačných dôvodov odpojiť fotovoltaické elektrárne od rozvodných sietí. A zužitkovávať prebytočnú elektrickú energiu na ohrev vody pomocou elektrických odporových telies na jednosmerný alebo striedavý prúd je málo efektívne.

Vo všetkých prípadoch sme na spoluprácu tepelného čerpadla so slnečnými kolektormi používali ploché vákuové kolektory. Ich veľkou výhodou je, že aj pri podchladení absorbéra pod rosný bod nekondenzuje v interiéri kolektora voda, resp. je vylúčené pokrývanie absorbéra vrstvou ľadu. V príspevku sa rozoberie niekoľko príkladov z praxe.

SYSTÉMY TEPELNÉ ČERPADLO ZEM/VODA – PLOCHÉ VÁKUOVÉ TERMICKÉ SLNEČNÉ KOLEKTORY

Výstupná teplota z kolektorov na úrovni cca 5 až 15 °C sa nedá efektívne využiť ani na ohrev vody ani na solárnu podporu vykurovania. Dá sa však dobre využiť počas dňa na regeneráciu zemného kolektora tepelného čerpadla. A v dobe výhodnej tarify elektrického prúdu s vyššou účinnosťou, toto teplo akumulovať vo vodnom zásobníku tepla.

Najviac takýchto systémov máme zatiaľ namontovaných vo Švajčiarsku a hlavne v Nemecku. Najčastejšie sa projektujú na výstupný tepelný výkon 5 až 20 kW. Nie sú však zriedkavé aj podstatne väčšie systémy. V súčasnej dobe sa projektuje systém s tepelným výkonom 400 kW. Na obrázku 1 je hydraulická schéma takéhoto systému.



Obr. 1 *Hydraulická schéma TČ zem/voda a slnečných kolektorov TS-400*

V období vyššej intenzity slnečného žiarenia a teda aj vyšších výstupných teplôt teplonosnej kvapaliny sa ohrieva vodný akumulátor tepla priamo slnečnými kolektormi. V prípade nízkej intenzity slnečného žiarenia (v zime) sa nízkopotenciálnym solárnym teplom regeneruje cez deň zemný kolektor tepelného čerpadla, čo priaznivo vplýva na zvýšenie tepelného výkonu slnečných kolektorov i tepelného čerpadla. V dobe, keď je k dispozícii lacná elektrická energia, sa táto využíva na pohon tepelného čerpadla taktiež pracujúceho s vyššou účinnosťou.

Na obrázku 2 je strojovňa takého systému s 1000 l hygienickým akumulátorom tepla a 12 kW tepelným čerpadlom.

Obr. 2 *Strojovňa systému*

Výhody:

- veľká akumulačná kapacita zeme + prídavné zemské teplo;
- žiadúci časový posun práce solárneho systému a TČ (deň – noc);
- vylúčené postupné premŕzanie pôdy v okolí zemného kolektora;
- zemný kolektor v lete je možné využiť aj ako lacný zdroj chladu na klimatizáciu interiérov (v prípade stenového alebo stropného vykurovacieho systému).

Nevýhody:

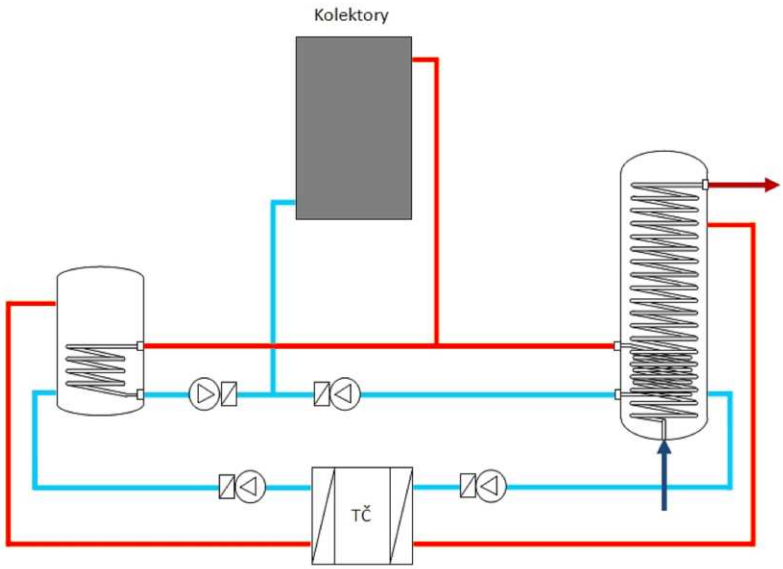
- potrebný dostatočne veľký pozemok (aj keď výrazne menšej výmery ako pri TČ bez slnečných kolektorov);
- náročná realizácia, ak sú ukončené sadové úpravy;
- pomerne veľký príkon obehového čerpadla zemného kolektora;
- investične náročné.

Jeden z najstarších takýchto systémov postavený pred viac ako 13 rokmi je v obci Lutila pri Žiari nad Hronom. Obytná vykurovaná plocha vrátane podkrovia je 240 m^2. Tepelné čerpadlo s výkonom 12 kW a 28 m^2 plochých vákuových kolektorov TS 400 sú rozhodujúce zdroje tepla na kúrenie, prípravu teplej vody a sezónny ohrev v exteriérovom bazéne. Podlahové a stenové vykurovanie umožňujú vysoko efektívnu prácu slnečných kolektorov i tepelného čerpadla. Spotreba elektrickej energie na pohon tepelného čerpadla a obehových čerpadiel sa meria zvlášť a pohybuje sa počas zimného polroka na úrovni 2400 kWh. Napriek tomu, že dom nemá rekuperáciu tepla a izolácia nespĺňa štandardy pasívnych domov, vďaka vlastnej výrobe tepla, mernou spotrebou nakupovanej energie na úrovni 10 kWh za rok na m^2 vykurovanej plochy, limit pre pasívne domy (15 kWh/m^2) výrazne podkračuje.

KOMPAKTNÉ SYSTÉMY TEPELNÉ ČERPADLO – PLOCHÉ VÁKUOVÉ KOLEKTORY TS-400

Ide o stavebnice, kde jediným zdrojom nízkopotenciálneho tepla pre tepelné čerpadlo sú slnečné kolektory. Hydraulická schéma takého systému s tepelným čerpadlom s nominálnym príkonom 0,7 kW a 6 ks vákuových kolektorov TS 400 je na obrázku 3

Pri dostatočnej intenzite slnečného žiarenia sa teplonosnou kvapalinou ohrieva priamo hygienický akumulačný zásobník tepla. Tento slúži pre prípravu teplej vody i vykurovanie objektu. Pri nízkych intenzitách slnečného žiarenia sa ohrieva nízkopotenciálnym solárnym teplom menší zásobník, na ktorý je pripojené tepelné čerpadlo. V dobe priaznivej tarify elektrickej energie tepelné čerpadlo ohrieva vodu v akumulačnom zásobníku.



Obr. 3 *Hydraulická schéma kompaktného systému*

Obr. 4 *Tepelné čerpadlo s malým zásobníkom tepla*

Na 6-tich solárnych systémoch, každý so 6 kolektormi (viz obrázok 5) bolo 5 vybavených tepelnými čerpadlami (TČ). Za obdobie od 10.1.2012 do 15.5.2012 bol energetický zisk solárneho systému bez TČ na úrovni 1 490 kWh a s tepelnými čerpadlami sa pohyboval na

úrovniach 3 220 ± 65 kWh. To znamená, že tepelné čerpadlá prispeli za toto obdobie k zvýšeniu energetického zisku systémov na viac ako dvojnásobok.

V chladných zimných mesiacoch sa COP tepelných čerpadiel najčastejšie pohyboval v rozmedzí od 3,8 do 4,8. V testoch hodnotíme aj tzv. COP systému, v ktorom je zahrnutý aj tepelný výkon kolektorov a spotreba elektrickej energie na pohon ostatných obehových čerpadiel a merania. Ten bol oproti COP tepelných čerpadiel vyšší o 0,2 až 0,5 jednotiek. Samozrejme s príchodom letného obdobia a rastúcim výkonom slnečných kolektorov je chod TČ stále zriedkavejší, čo má priaznivý vplyv na rast COP systému.

V zimnom období sa vyrobené teplo spotrebovalo na podporu kúrenia priemyselných hál nízkoteplotným vykurovacím systémom. V letnom období sa využíva na prípravu TÚV, pri výrobe selektívnych konverzných vrstiev a pri odmasťovaní kolektorových vaničiek.

Kolektory v takýchto systémoch sú inštalované obvykle pod uhlom 60° (viz obrázok 5). Má to tú výhodu, že sa do určitej miery zvýši zimný a zníži letný energetický zisk a zároveň sa uľahčí samovoľné skĺzavanie snehu z povrchu kolektorov v zime.

Obr. 5 *Testovacie kolektrové polia*

Výhody:

- jednoduchá realizácia (kompaktné jednotky) a to aj voči TČ zem/voda (zemný kolektor) a voda/voda (vŕtané studne);
- vyššie COP oproti systémom s TČ vzduch/voda;
- nižšie investičné náklady oproti variante A, (TČ zem/voda – kolektory TS-400) ;
- zníženie letného a zvýšenie zimného merného energetického zisku kolektorov (prehrievanie solárneho systému);

- niekoľkonásobné zvýšenie energetického zisku v zimnom období oproti rovnako veľkému štandardnému solárnemu systému. Je tu stále pomerne veľký potenciál na zvyšovanie energetickej i ekonomickej efektívnosti (cenová a výkonová optimalizácia jednotlivých častí systému, univerzálna teplonosná kvapalina a pod.).

Nevýhody:

- i keď iba niekoľko dní v roku, stále je potrebný ďalší energetický zdroj na 100% pokrytie energetických potrieb RD (sneženie...);
- potreba vyššieho sklonu kolektorov, čo môže byť architektonický problém na niektorých typoch šikmých striech.

SIMULAČNÍ ANALÝZA SOLÁRNÍ SOUSTAVY KOMBINOVANÉ S TEPELNÝM ČERPADLEM V BĚŽNÉ VÝSTAVBĚ

Bořivoj Šourek[1], **Tomáš Matuška**[2]

[1]Siemens s.r.o.

[2] ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí

borivoj.sourek@seznam.cz, tomas.matuska@fs.cvut.cz

ANOTACE

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 provozních chování takových soustav.

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) přečerpaného 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 přeměněná 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

$$SPF = \frac{Q}{E_{TČ} + E_{DZ} + E_{PZ}} \qquad (1)$$

kde Q je teplo dodané soustavou s tepelným čerpadlem (měřeno za zásobníky tepla), $E_{TČ}$ 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 velikosti 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 roven hodnotě 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

$$PER = \frac{PE}{Q} = \frac{F}{\eta} \tag{2}$$

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 tabulce 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	***F*** **[-]**	$\boldsymbol{\eta}$ **[-]**	***PER*** **[-]**
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 tabulky 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 jako například v Evropské směrnici o podpoře OZE [2]

$$SPF > 1{,}15\frac{1}{\eta_e} \tag{3}$$

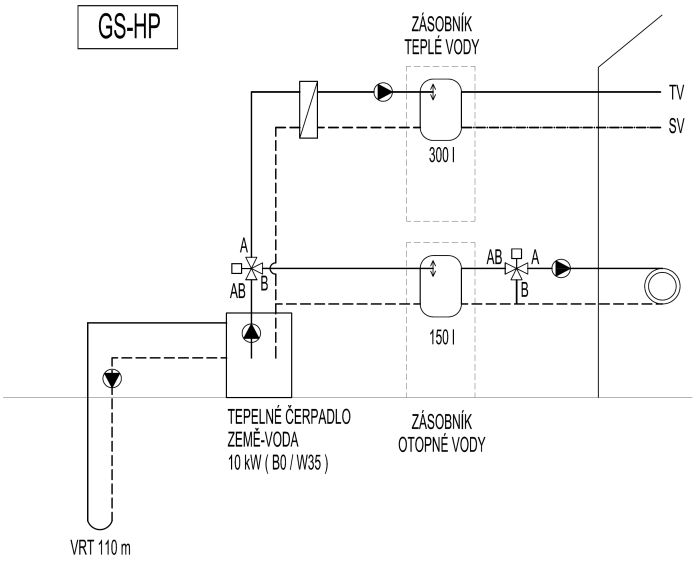
kde η_e je celková účinnost výroby elektrické energie uvažovaná jako evropský průměr ($\eta_e = 0{,}4$). Potom požadovaný minimální sezónní topný faktor *SPF* soustav s tepelnými čerpadly je 2,875. Pro samotnou ČR by hodnota byla výrazně vyšší (*SPF* > 3,45).

S ohledem na průzkumy reálných hodnot *SPF* provozovaných soustav s tepelnými čerpadly v Evropě [3-5] lze konstatovat, že dosažení požadovaných hodnot je možné, nicméně velká část soustav pracuje s efektivitou horší, zpravidla vlivem investičně úsporného návrhu (podceněný 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* (> 100) 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

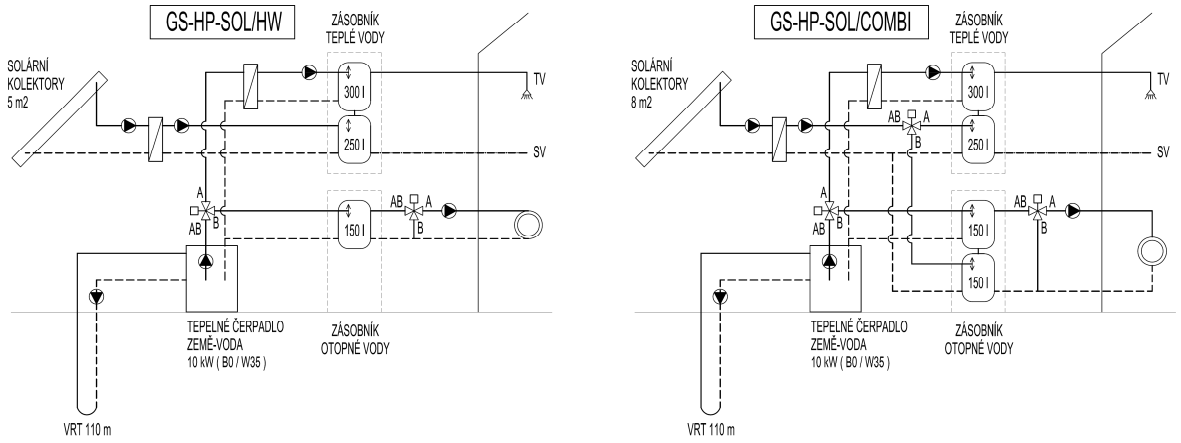
Vliv použití solární soustavy na zvýšení sezónního topného faktoru *SPF* byl zkoumán na několika možných variantách zapojení kombinované solární soustavy s tepelným čerpadlem pro vytápění a přípravu teplé vody v rodinném domě o běžné energetické náročnosti s jmenovitou tepelnou ztrátou 8,5 kW (při venkovní 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 je uvažována nízkoteplotní s teplotním spádem 40/30 °C. Potřeba tepla na vytápění je 15 550 kWh/rok (cca 100 kWh/m^{2}rok), potřeba tepla na ohřev vody je 3 416 kWh/rok.



Obr. 1 *Zapojení základní varianty tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody a vytápění*

Základní variantou **GS-HP** (*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 země-voda 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/m^3.K. Tepelné čerpadlo pracuje do dvou akumulačních zásobníků: zásobník otopné vody 150 l a zásobník teplé vody 300 l. Oba zásobníky mají tepelnou izolaci 5 cm. Tepelné ztráty akumulačních zásobníků teplé vody a otopné vody jsou vyhodnocovány v rámci simulačního výpočtu. Zjednodušené schéma zapojení simulačního modelu je uvedeno na obrázku 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 (hystereze 5 K). Dodatkový zdroj tepla (elektrický dohřívač) 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.

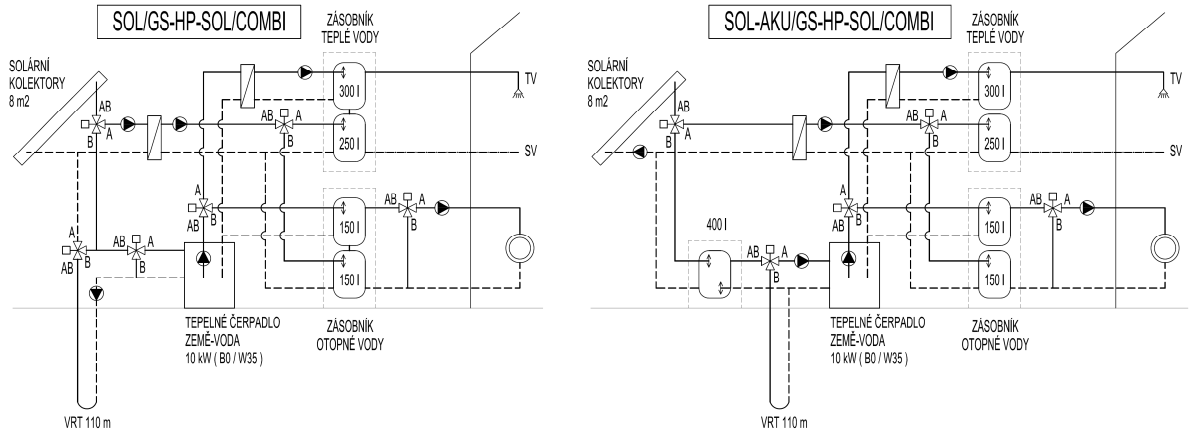


Obr. 2 *Zapojení variant paralelní kombinace tepelného čerpadla se solární soustavou: pouze solární ohřev vody (vlevo) a kombinovaná pro ohřev vody a vytápění (vpravo)*

Druhou a třetí variantou je tepelná soustava sdružující solární soustavu pro přípravu teplé vody a vytápění s tepelným čerpadlem v paralelním zapojení. Varianta se solární soustavou pouze pro přípravu teplé vody **GS-HP-SOL/HW** má plochu kolektorů 5 m^2, varianta pro kombinaci s vytápěním **GS-HP-SOL/COMBI** má plochu kolektorů 8 m^2. Schéma zapojení obou variant je uvedeno na obrázku 2. Solární kolektory prioritně ohřívají solární předehřívací zásobník teplé vody (objem 250 l) do teploty 65 °C (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 tepelné čerpadlo, případně spíná dodatkový zdroj tepla (el. ohřívač). Tepelné čerpadlo pracuje stejně jako ve variantě GS-HP s prioritou přípravy teplé vody.

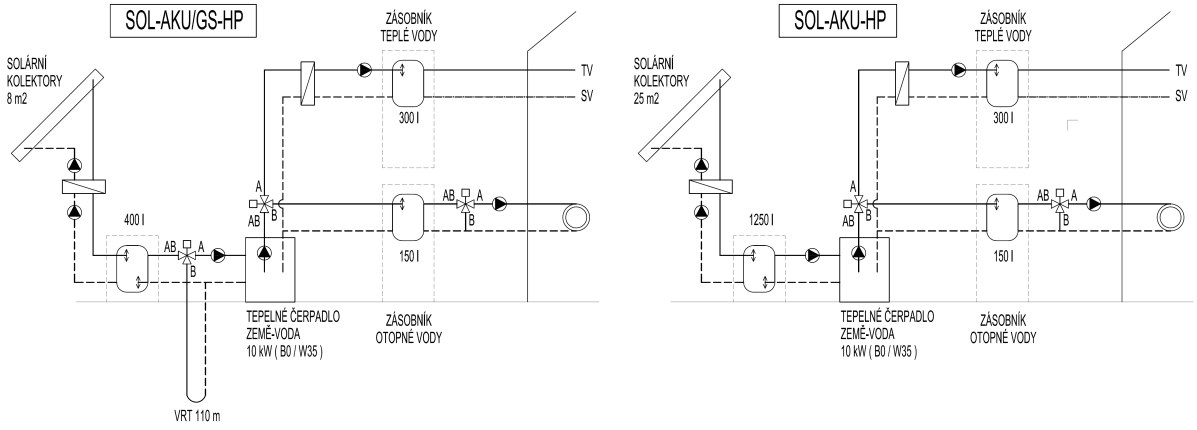
Solární zásobníky jsou pro simulaci uvažovány jako ideálně stratifikační. Přívod studené vody je napojen do solárního zásobníku teplé vody a výstup napojen do zásobníku teplé vody tepelného čerpadla. Přívod vratné vody z otopné soustavy je napojen do solárního zásobníku otopné vody a výstup napojen do zásobníku otopné vody tepelného čerpadla. Zapojení 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 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 obrázku 3 (vlevo). Pátá varianta **SOL-AKU/GS-HP-SOL/COMBI** namísto regenerace zemních vrtů akumuluje přebytečné teplo ze solární soustavy do akumulačního zásobníku na primární straně tepelného čerpadla (objem 400 l, propylenglykol ve stejném ředění jako v zemních vrtech, teplota tuhnutí -15 °C). Tepelné čerpadlo v případě, že v zásobníku je vyšší teplota než ve vrtu o 5 K, tento zásobník vychlazuje. Maximální teplota v primárním zásobníku může být až 85 °C, nicméně pro ochranu tepelného čerpadla před vstupem kapaliny o teplotě nad 25 °C do výparníku je uvažován směšovací ventil. Schéma zapojení je uvedeno na obrázku 3 (vpravo). Obě uvedené varianty pracují v sérioparalelním zapojení solární soustavy s tepelným čerpadlem.



Obr. 3 *Zapojení solární kombinované soustavy s tepelným čerpadlem s regenerací zemních vrtů solárním teplem (vlevo) a akumulací solárního tepla v zásobníku primárního okruhu (vpravo).*

Další varianty představují sériové zapojení solární soustavy s tepelným čerpadlem, kde solární soustava dodává teplo pouze do akumulačního zásobníku na primární straně tepelného čerpadla. Solární soustava nedodává teplo do přípravy teplé vody ani vytápění. Záměrem je získat informaci o vlivu použití solárních kolektorů v jednoduchých tepelné soustavy s tepelnými čerpadly bez použití speciálních solárních zásobníků na odběrové straně (rekonstrukce soustav s tepelnými čerpadly, kompaktní soustavy s tepelnými čerpadly, využití střech jako absorbérů pro primární okruh tepelných čerpadel). Šestá varianta **SOL-AKU/GS-HP** uvažuje solární soustavu s 8 m^2 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 obrázku 4 (vlevo). Sedmá varianta **SOL-AKU-HP** je provozně extrémním případem, kdy nejsou vůbec použity zemní vrty. Dodatečná plocha solárních kolektorů je uvažována pouze v ceně „uspořeného“ zemního vrtu (cca 17 m^2), celkem je tedy plocha kolektorového pole 25 m^2. Pro akumulaci solárních zisků na primární straně tepelného čerpadla je v této variantě uvažován akumulační zásobník o objemu 1250 l (propylenglykol). Schéma zapojení je uvedeno na obrázku 4 (vpravo).



Obr. 4 *Zapojení tepelného čerpadla s akumulací solárního tepla pouze na primární straně.*

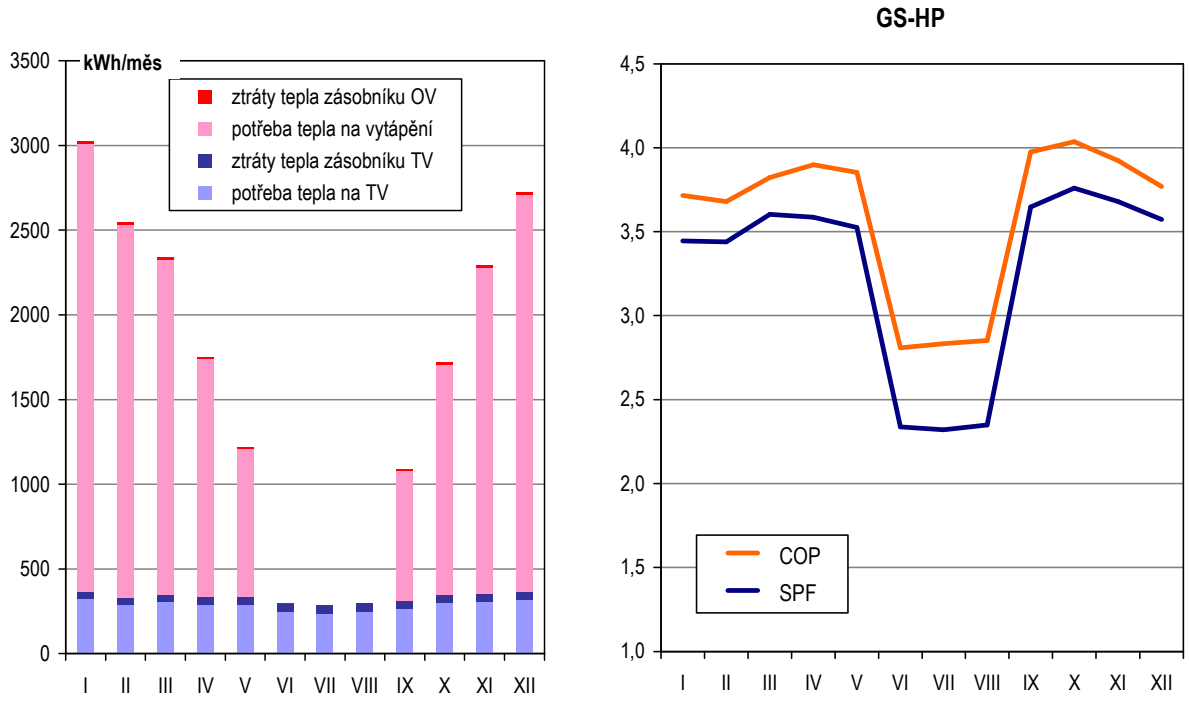
Analýza variant byla provedena v simulačním prostředí TRNSYS [6] umožňujícím modulové propojování komponent (tepelné čerpadlo, solární soustava, akumulační zásobníky, regulace).

VÝSLEDKY

Základní varianta „GS-HP“

Tepelné čerpadlo v základní variantě kryje potřebu tepla na přípravu teplé vody, tepelné ztráty akumulačního zásobníku teplé vody, potřebu tepla na vytápění a tepelné ztráty akumulačního zásobníku otopné vody. Zbylá potřeba tepla vlivem nesoučasnosti 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 obrázku 4. Tepelné ztráty zásobníku teplé vody se pohybují okolo 16 %, tepelné ztráty zásobníku otopné vody do 1 %.

Na obrázku 5 (vpravo) jsou uvedeny průběhy topného faktoru samotného tepelného čerpadla (*COP*) a topného faktoru celé tepelné soustavy (*SPF*) během roku. Roční provozní topný faktor *COP* samotného tepelného čerpadla je 3,76, zatímco při zohlednění tepelných ztrát zásobníků, potřeby dohřevu elektrickou energií se sezónní topný faktor *SPF* celé soustavy pohybuje na úrovni 3,5. Lze konstatovat, že tepelná soustava je vhodně navržena, aby splňovala směrnicí kladené požadavky na minimální topný faktor pro dosažení úspory primární energie. Je to dáno především nízkoteplotní otopnou soustavou (40/30 °C) a vhodně navrženou délkou zemního vrtu. *COP* tepelného čerpadla v letním období (příprava TV) se pohybuje mezi 2,8 a 2,9, hodnoty *SPF* jsou mezi 2,3 a 2,4.

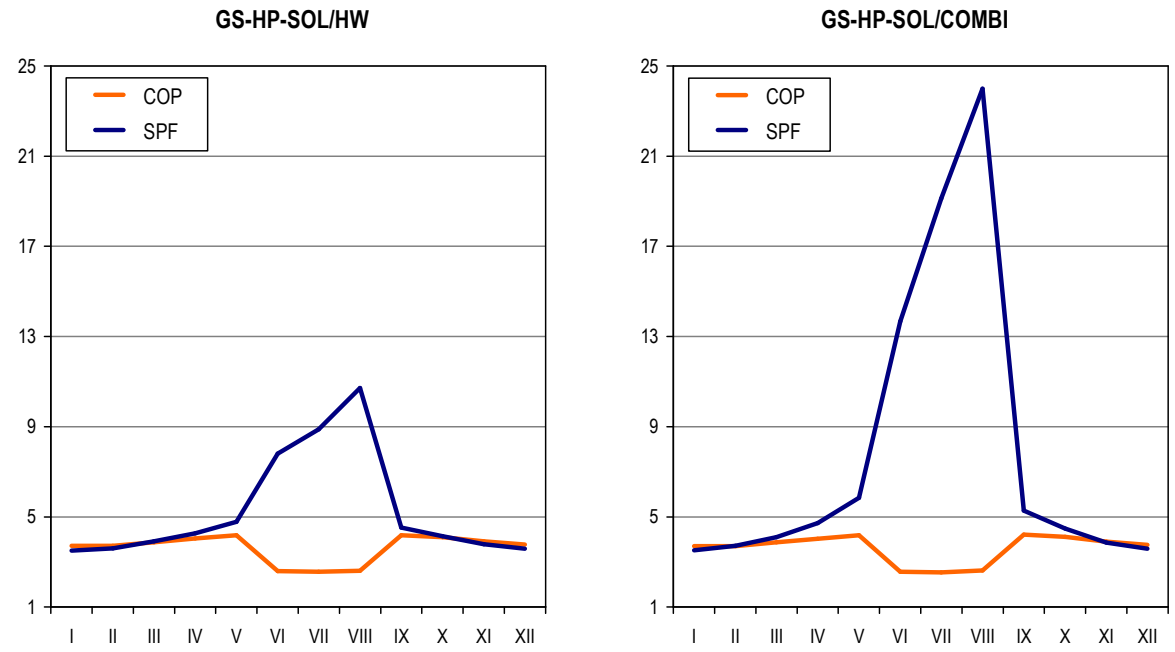


Obr. 5 *Energetická bilance soustavy vytápění a přípravy teplé vody v základní variantě a průběh topných faktorů COP a SPF.*

Varianta „GS-HP-SOL/HW“

Paralelním zapojením solární soustavy s tepelným čerpadlem (slouží jako dodatkový zdroj tepla solární soustavy) se výrazně zlepší letní provoz vlivem přísunu tepla do zásobníku teplé vody bez potřeby pohonu kompresoru. Zatímco vlastní *COP* tepelného čerpadla během letního období klesá, neboť dohřívá již předehřátou teplou vodu od solární soustavy, celkový měsíční hodnoty *SPF* výrazně rostou (mezi 7 a 10). Vzhledem k relativně nízkému podílu potřeby teplé vody na celkové potřebě tepla se však 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 je způsoben mírně vyšší teplotou podloží vlivem zvýšené regenerace (snížení letní zátěže vrtů). Celkové využité zisky solární soustavy se pohybují okolo 370 kWh/m^2.rok.



Obr. 5 *Průběh COP a SPF pro varianty s paralelním provozem solární soustavy GS-HP-SOL/HW (vlevo) a GS-HP-SOL/COMBI (vpravo).*

Varianta „GS-HP-SOL/COMBI“

Zvýšením plochy solárních kolektorů na 8 m^2 typických pro kombinovanou solární 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. 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 využité zisky solární kombinované soustavy se pohybují okolo 325 kWh/m^2.rok.

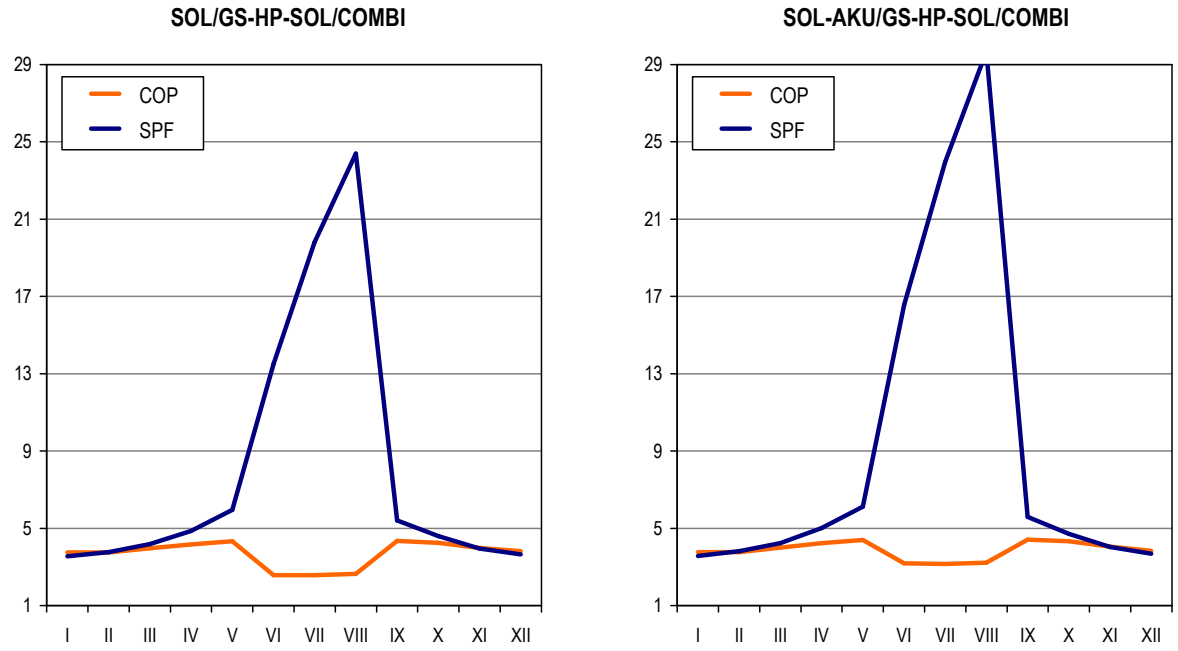
Varianta „SOL/GS-HP-SOL/COMBI“

Pro variantu, která vychází z paralelního zapojení kombinované solární soustavy (8 m^2) s tepelným čerpadlem, avšak umožňuje přebytky využít pro primární okruh tepelného čerpadla (předehřev vstupu do výparníku, 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 tepla pro primární stranu tepelného čerpadla. Produkce tepla solárními kolektory se zvýšila o 21 % a teplo je využito v primárním okruhu tepelného čerpadla.

Varianta „SOL-AKU/GS-HP-SOL/KOMBI“

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. 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 obrázek 6) 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 přípravy teplé vody na energetické bilanci se *SPF* oproti čistě paralelní variantě GS-HP-SOL/KOMBI zvýšil pouze o 0,15.



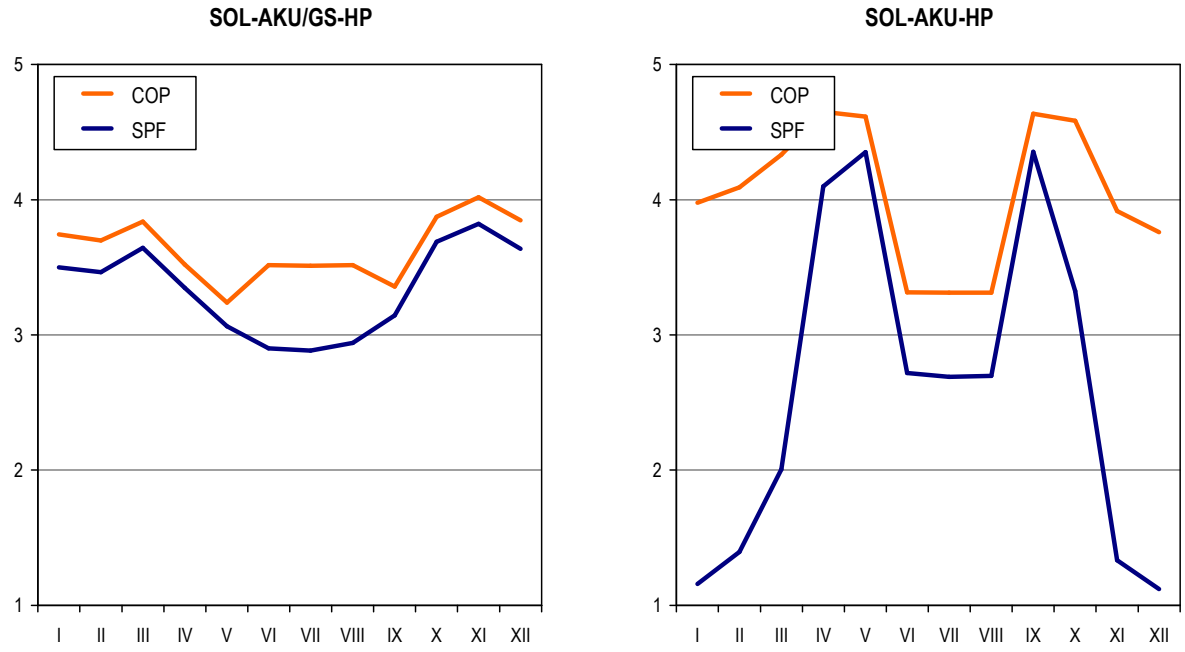
Obr. 6 *Průběh COP a SPF pro varianty s využitím solárních zisků na primární i sekundární straně tepelného čerpadla: předehřev výstupu vrtů (vlevo) a akumulátor tepla na primární straně (vpravo).*

Varianta „SOL-AKU/GS-HP“

Varianta zjednodušující předchozí možnosti dodávky solárního tepla na pouhé nabíjení zásobníku na primární straně tepelného čerpadla nevyužívá přímého nabíjení odběrových zásobníků (TV, vytápění) s vysokým vlivem na *SPF*, ale přispívá ke zvýšení provozního *COP* tepelného čerpadla. Veškerý využitelný zisk solární soustavy se přečerpává přes tepelné čerpadlo do odběrových zásobníků. Měsíční hodnoty *COP* tepelného čerpadla jsou relativně vyrovnané (viz obrázek 7 vlevo), celoroční *COP* je 3,71. Nevyužití přímé dodávky energie do odběru znamená oproti všem předchozím „solárním“ variantám nejnižší roční hodnotu *SPF* na úrovni 3,49.

Varianta „SOL-AKU-HP“

Spíše pro zajímavost byl simulován i provoz kombinace solární tepelné soustavy s tepelným čerpadlem bez zemního vrtu. Solární zásobník tepla 1250 l na primární straně tepelného čerpadla je spolu s plochou kolektorů 25 m^2 jeho jediným zdrojem nízkopotenciálního tepla a v případě vyčerpání energetického obsahu zásobníku se tepelné čerpadlo vypíná a vytápění a přípravu teplé vody kryje elektrický dohřívač. I přesto, že výsledky ukazují velmi vysoké provozní *COP* tepelného čerpadla s roční hodnotou 4,26, jde o velmi neúčinnou tepelnou soustavu vlivem významnému podílu elektrického dohřevu se sezónním topným faktorem *SPF* okolo 1,69. Pokrytí potřeby tepla tepelným čerpadlem je pouze 56 %. Solární soustava má omezené využití, zvláště v letním období, kde dochází k četným periodám stagnace. Využité solární zisky pro tepelné čerpadlo jsou na úrovni 220 kWh/m^2.rok.



Obr. 7 *Průběh COP a SPF pro varianty s využitím solárních zisků pouze na primární straně tepelného čerpadla: akumulace v kombinace s vrty (SOL-AKU/GS-HP, vlevo) a pouze akumulace solárních zisků (SOL-AKU-HP, vpravo).*

ZÁVĚR

Zvyšování ročních hodnot *SPF* tepelných soustav s tepelnými čerpadly je téma, které v současnosti začíná hrát významnou úlohu v minimalizaci potřeby primární energie pro vytápění a přípravu teplé vody v budovách. Simulační analýza pro běžný dům ukázala, že využití solárních tepelných soustav v paralelní spolupráci s tepelnými čerpadly umožňuje zvýšení *SPF* o cca 19 %. Další zvyšování *SPF* pro různé sérioparalelní kombinace s odběrovým nebo zdrojovým okruhem tepelného čerpadla ukazují na dodatečný přínos okolo 4 %. Varianty kombinace solárních soustav se od sebe liší velmi málo především v důvodu značně 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. Čistě sériová zapojení solárních soustav s tepelnými čerpadly nepřinášejí z celkového pohledu na soustavu kýžený efekt, přestože topné faktory samotného tepelného čerpadla jsou během jeho provozu vysoké.

Na základě uvedených výsledků bude provedena navazující simulační analýza provozního chování tepelných čerpadel pro pasivní domy, kde potřeba tepla na přípravu teplé vody hraje daleko významnější roli a je zároveň velmi obtížné splnit minimální požadované topné faktory soustavy *SPF*.

Je důležité na tomto místě také konstatovat, že z hlediska tradičního ekonomického hodnocení je kombinace solární soustavy s klasickým tepelným čerpadlem jako dodatkovým zdrojem tepla problematická. Vývoj se však pravděpodobně bude ubírat cestou kompaktních jednotek kombinujících oba zdroje v levnějších, a samostatně třeba i méně efektivních variantách individuálních prvků, avšak se znásobenou efektivitou (*boosted performance*) právě jejich vhodnou kombinací.

LITERATURA

[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] NOWAK T. Heat pumps – a renewable energy technology? *REHVA Journal*, August 2011.
[4] KLAZAR L. Jak je to vlastně s topným faktorem (II). Portál tzb-info, 2005.
[5] BLÁHA M. Velký test tepelných čerpadel. Portál tzb-info, 2010.
[6] TRNSYS 16. Transient Systems Simulation Program. Solar Energy Laboratory, Univ. of Wisconsin-Madison.

SEZNAM OZNAČENÍ

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

VARISOL HP – NOVÁ GENERACE VAKUOVÝCH KOLEKTORŮ

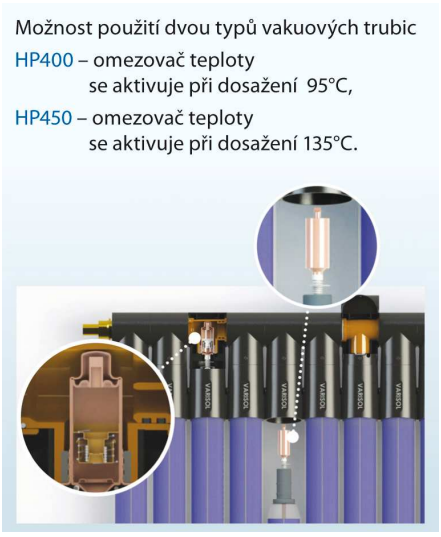
Václav Frolík

Brilon CZ a. s.
v.frolik@brilon.cz

Brilon CZ a.s. přináší na trh novinku Varisol HP od výrobce vakuových kolektorů Kingspan SOLAR ze Severního Irska (U.K.). Trubicové vakuové kolektory Varisol díky unikátní segmentové konstrukci, která umožňuje kolektor sestavovat po jedné trubici, garantují snadnou montáž, přené dimenzování a možnost rozšíření (zvětšení plochy kolektoru).

Po úspěšném modelu vakuového kolektoru se segmentovým sběračem Varisol DF (direct flow - přímý průtok) což znamená, že každou trubicí přímo protéká solární kapalina, které jsou na trhu již dva roky, přinášíme na trh novinku Varisol HP.

Trubicové vakuové kolektory VARISOL mají unikátní segmentovou konstrukci, která umožňuje kolektor sestavovat přidáváním po jednom segmentu, tedy po jedné trubici. Velikost kolektoru je odspoda ohraničena jedinou trubicí, tedy plochou apertury 0,108 m^2. Horní hranicí počtu trubek v jednom kolektoru VARISOL je 150 ks.



VARISOL HP jsou kolektory s tepelnými trubicemi. Základní podmínkou činnosti kolektorů VARISOL HP, ale obecně všech kolektorů s tepelnými trubicemi je vertikální až šikmé umístění (v rozmezí 20-70^o). To umožní proudění odpařených par pracovní látky v tepelných trubicích nahoru, do kondenzátoru, kde předají teplo solární kapalině, tím se ochladí, zkondenzují a přirozenou cestou stékají dolů. Zde se zase působením slunečního záření odpaří a proces probíhá dokola.

Tepelné trubice přenášející teplo z absorbéru kolektoru VARISOL HP do cirkulující solární kapaliny jsou zcela uzavřeným prvkem od ní odděleným. Solární kapalina protéká pouze segmentovým sběračem. V každém segmentu je vytvořeno těsné, tlakově odolné pouzdro, do kterého se při

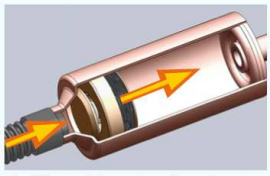
montáži kolektoru zasune kondenzátor tepelné trubice (váleček). Toto řešení, kdy rozvod solární soustavy může být natlakován a provozován bez ohledu na to, zda je některá z trubic vyjmuta, je po segmentovém uspořádání druhou velmi výhodnou vlastností VARISOL HP.

U solárních kolektorů a zejména u vysoce výkonných trubicových vakuových kolektorů je důležitý přesný návrh velikosti plochy apertury kolektoru. Pokud se odběratelé tepla, nejčastěji teplé vody připravované solární soustavou začnou chovat nestandardně, například na několik dnů opustí dům, nebo se nestandardně začne chovat počasí a Slunce od svého východu do západu trvale ozařuje kolektor bez jakéhokoliv zastínění několik dnů po sobě, naplní se solárním teplem napojený akumulační zásobník tak, že již žádné teplo nepojme. Okruh solárního systému se zastaví, teplota v kolektoru stoupne nad bod varu solární kapaliny, která se odpaří. Přesnou volbou počtu trubic lze tyto nežádoucí stagnační stavy minimalizovat.

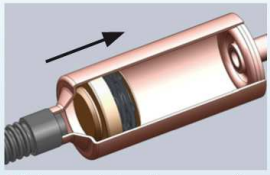
Odpaření solární kapaliny z hlediska okamžitého provozu soustavy není problém, správně vyprojektovaná solární soustava se s ním dokáže vypořádat. Každé odpaření solární kapaliny však znamená její větší či menší znehodnocení a přiblížení termínu, kdy bude nutné ji vyměnit.

Tepelné trubice vakuových trubicových kolektorů VARISOL HP jsou osazeny omezovači teploty (Snap Disky). Toto mechanicky poměrně jednoduché zařízení umístěné v horní části tepelné trubice, na vstupu do kondenzátoru, pracuje na principu bimetalu a uzavírá vstup parám pracovní látky, pokud teplota v kondenzátoru překročí danou mez. Pokud se páry pracovní látky nedostanou do kondenzátoru, nemohou předat teplo solární kapalině a ta je chráněna před nadměrným tepelným zatížením. V nabídce jsou tepelné trubice s mezní teplotou 95 °C a 135 °C. Mohlo by se tedy konstatovat, že s kolektory VARISOL HP nehrozí vznik stagnačních stavů a znehodnocování solární kapaliny. Snap Disk nemá kompenzovat nepřizpůsobení výkonu solárního kolektoru skutečnému odběru tepla, pouze zabraňovat ojedinělým stavům stagnace. Je to něco navíc, co jiné kolektory nemají, co zvyšuje užitnou hodnotu a prodlužuje životnost solární kapaliny. Trvale však nemůže nahradit správný projekt. Zdůrazňujeme, že tuto bezpečnostní pojistku nenajdete u jiného výrobce slunečních kolektorů.

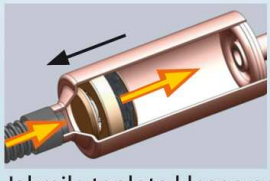
Snap Disk
ochrana kolektoru před stagnací



Zařízení je otevřené a tepelný přenos probíhá, dokud teplota kondenzátoru nedosáhne 95 °C (HP400) nebo 135 °C (HP450).



Disk se aktivuje, uzavře zařízení a tím přeruší přenos tepla do kondenzátoru.



Jakmile teplota klesne pod 95 °C nebo 135 °C, zařízení se opět otevře a spustí tepelný přenos.

Přestože jsou skleněné vakuové trubice výrobcem velmi přísně testovány na mechanickou odolnost, především vůči krupobití, nelze absolutně vyloučit rozbití některé z nich.
Například nešťastnou náhodou při jiných pracích na střeše nebo vandalským zásahem. Ale to se obecně týká i plochých kolektorů.
Poškození trubice neznamená okamžité ukončení provozu celé solární soustavy a zničení celého kolektoru.
Výměna poškozené trubice VARISOL HP proběhne bez nutnosti solární soustavu vypouštět. Nižší čas na servisní zásah znamená nižší cenu pro zákazníka a jeho větší spokojenost.
Mechanicky zručnější zákazník, má-li zajištěn bezpečný přístup ke kolektoru, si výměnu trubice může provést i sám.
Tento argument mohou někteří zákazníci považovat za velmi pozitivní, pokud z důvodu negativních zkušeností s mechanicky méně odolnými kolektory (i z doslechu) pochybují o odolnosti skla vakuové trubice VARISOL HP. I když tuto práci v případě potřeby stejně svěří profesionálům.

Věříme, že Vás tento článek zaujal a v případě jakéhokoli dotazu kontaktujte naše odborné konzultanty. Kontakty na naše pracovníky a více informací o našich solárních systémech najdete na www.varisol.cz

Technické údaje		
Rozměry (délka x šířka x výška)	mm	1955 x 70.9 x 70.9
Hmotnost	kg	2,13
celková plocha	m^2	0,14 x počet trubic
počet trubic (v serii)	ks	1 - 150
Průměr trubic	mm	65
Vodní obsah	l	0,05 x počet trubic
Doporučený objemový průtok	l/hod	6 x počet trubic
Plocha apertury	m^2	0,108 x počet trubic
Optická účinnost*	%	75
a_1*	W/m^2K	1,18
a_2*	W/M^2K^2	0,0095
Doporučený pracovní přetlak	Mpa	0,3
Maximální pracovní přetlak	Mpa	0,6
Připojovací rozměr/materiál	mm/materiál	22/CU
Maximální klidová teplota	°C	166
Minimální sklon/maximální sklon	°	20 - 70
Teplotní omezovač (HP400/HP450)	°C	95/135
Absorptivita (a)	%	95
Emisivita (e)	%	5

** Optická účinnost, a_1 a a_2 jsou vztaženy k apertuře*

klastr česká peleta

zdravě komfortní palivo

Chcete-li se seznamovat s nejnovějšími trendy šetrného vytápění biomasou v souladu s respektováním přírody, využívejte pravidelně informací z Klastru Česká peleta. Podporujeme rozšiřování vytápění domácností dřevem, dřevěnými peletami i briketami.

www.ceska-peleta.cz

Základní desatero o našem klastru:

- Dynamicky se rozvíjející oborové sdružení výrobců kotlů na biomasu, producentů a distributorů pelet a dalších biopaliv.
- Zastupujeme přes 30 firem z oborů pelety, brikety, biopaliva a kotle na biomasu všech typů.
- Mezi naše členy patří přední hráči na českém trhu – firmy Atmos, Ponast, CDP.cz, Benekov, Verner, Biomac, Schiedel, OPOP, Mayr-Melnhof Pellets a mnoho dalších.
- Aktivně se věnujeme osvětě a výstavnictví formou, která zaujme a je vidět.
- Spolupracujeme s řadou renomovaných novinářů a s vysokou frekvencí publikujeme důležité zprávy z oboru a dění ve firmách.
- Přinášíme kvalitní statistiky o vývoji cen a prodejích souvisejících s naší činností.
- Vydáváme prestižní časopis Komfortní teplíčko, řadu brožur, informačních letáků a každé 3 měsíce online zpravodaj.
- Věnujeme se vědecko-výzkumným projektům a inovacím, spolupracujeme s univerzitními pracovišti, certifikačními a inspekčními společnostmi.
- Účastníme se jednání se státní správou a politickou reprezentací ve věcech legislativních změn, dotačních nástrojů, státních strategií a koncepcí.
- Pořádáme konference, odborné programy veletrhů, semináře a exkurze.

Kontakt: Klastr Česká peleta, Ruská 294, 252 29 Dobřichovice, telefon: 724 611 316, e-mail: predseda@ceska-peleta.cz

EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI