

OBSAH

Realizace skutečně téměř nulových budov v ČR.....	5
Antonín Jan, Dobrá Zdena	
Fotovoltaika a tepelné čerpadlo v kombinaci se sezónní akumulací	15
Broum Michal, Matuška Tomáš	
Datová analytika a dimenzování energetických systémů s bateriovým úložištěm	23
Cigler Jiří, Zimčík Jakub	
Využití tepelných čerpadel při návrhu budov a příklad z praxe.....	31
Ďuriš Martin, Cajthaml Jiří	
Využití tepelných čerpadel vzduch – voda v panelovém domě Barrandov	39
Fárka Josef, Frühauf Alois	
Vývoj solárnej techniky a jej aplikácie od 19. do 21. storočia	47
Gottas Alfréd	
Výstavba a energetické hodnocení budov s téměř nulovou spotřebou energie v ČR	55
Horák Petr	
Pohled na flexibilitu domácností	61
Hrzina Pavel	
Tepelná pohoda v budúcich budovách pomocou bezplatnej energie z bezprostredného okolia	67
Jerz Jaroslav, Simančík František, Šebek Jozef, Tobolka Peter, Kováčik Jaroslav, Španielka Ján	
Využití polysiloxanového gelu v solární technice	77
Jirka Vladimír	
Tepelné modelování fotovoltaických modulů	85
Kachalouski Yauheni, Matuška Tomáš	
Větrací jednotky s tepelným čerpadlem.....	93
Kny Martin	
Specifika solární soustavy s vodou	99
Kramoliš Petr, Vrtek Mojmír	
Využití odpadního tepla pro vytápění supermarketu	107
Lain Miloš, Kopecký Pavel	
Zimní stadion využívající odpadní teplo z kondenzace chladiva a z kogenerace.....	117
Linhartová Vladimíra	
Příspěvek k diskuzi o reálné provozní účinnosti teplovodních kotlů na biomasu.....	125
Lyčka Zdeněk	
Získávání vody ze vzduchu s využitím sluneční energie v prostředí pouště	129
Matuška Tomáš, Zmrhal Vladimír	

Novodobé systémy využívania energie z obnoviteľných zdrojov za účelom zvyšovania energetickej nezávislosti – Enerbank systém	137
Matušov Jozef, Lukáč Vladimír, Hrabovský Peter, Kolková Zuzana	
Kontroly překompenzací provozní podpory OZE	143
Nečas Filip	
Vliv odběrového profilu elektrické energie na bilanci FV systému	151
Novotný Jiří, Matuška Tomáš	
Potenciální aplikace pro nezasklené fotovoltaicko-tepelné kolektory	159
Pokorný Nikola, Matuška Tomáš	
Teoretická analýza využití duálních solárních kolektorů	167
Shemelin Viacheslav, Matuška Tomáš, Šourek Bořivoj	
Horčík – efektívny spôsob sezónneho uskladnenia energie.....	175
Simančík Fero, Škrobán Milan	
Optimalizace návrhu parametrů zdrojů energie z pohledu jejich ekonomické návratnosti	183
Skovajsa Jan, Zálešák Martin	
Bateriová uložení, hlavní prvek budoucích elektroinstalací	193
Sladký Leoš	
Budoucnost tepelných čerpadel v Evropě a ČR	203
Straka Tomáš	
Testování vzduchových kolektorů	211
Šourek Bořivoj, Shemelin Viacheslav	
Geotermálny energetický systém pre zásobovanie teplom v meste Veľký Meder	219
Takács Ján, Gažíková Soňa, Derzsi István	
Ekologická vesnice Nebřenice – projekt OAKS – zásobování teplem a chladem	227
Trs Milan	
Malá větrná elektrárna se svislou osou rotace s trojúhelníkovými rameny a pružnými lopatkami	235
Vlk Jaroslav	
Přímý ohřev vody pomocí fotovoltaiky – teorie a praxe	243
Wolf Petr, Hrzina Pavel	

REALIZACE SKUTEČNĚ TĚMĚŘ NULOVÝCH BUDOV V ČR

Ing. Jan Antonín, Ph.D., Ing. Zdena Dobrá

EnergySim s.r.o.
jan.antonin@energysim.cz

ÚVOD

Již od roku 2013 je v české legislativě zaveden pojem téměř nulová budova. Tento energetický standard platí pro větší veřejné budovy již od roku 2016, v tomto roce se jím již řídí výstavba všech budov s plochou nad 1500 m² a za necelé dva roky bude platit i pro nejmenší rodinné domy. Motivací pro zavedení tohoto standardu je fakt, že budovy jsou ústředním bodem politiky EU v oblasti energetické účinnosti, neboť na ně připadá téměř 40 % konečné spotřeby energie. Současně energii v budovách lze, na rozdíl od některých jiných sektorů, spořit bez omezování uživatele a navíc s pozitivním dopadem na kvalitu užívání (vnitřního prostředí). Již delší dobu se staví rodinné domy, které standard téměř nulové budovy splňují a dalece ho překračují. V České republice se jedná především o budovy s velmi nízkou energetickou náročností, splňující podmínky programu Nová zelená úsporám, ale samozřejmě i mnoho pasivních a jím blízkých budov postavených bez mimo tento program.

Tento příspěvek se snaží na vzorku 130 analyzovaných budov ukázat, jaké zdroje energií se v těchto realizovaných budovách vyskytují a jaký mají dopad na energetickou náročnost.

Parametry téměř nulové budovy tak, jak si je Česká republika nastavila, jsou v případě rodinných domů velmi mírné, neprogresivní a dalece se liší od původního záměru, stavět skutečně maximálně úsporné budovy. Tento standard splní již běžně zateplený rodinný dům s trojskly a plynovým kondenzačním kotlem. Z toho důvodu lze předpokládat v období po roce 2020 úpravu legislativních parametrů téměř nulové budovy tak, aby budovy tomuto pojmu více odpovídaly.

Příspěvek se dále snaží popsat technické systémy a jejich kombinace, které by do budoucna mohly splňovat progresivní požadavky na téměř nulové budovy, a to z pohledu primární neobnovitelné energie.

LEGISLATIVA PRO TĚMĚŘ NULOVÉ BUDOVY A DOPORUČENÍ EVROPSKÉ KOMISE

Pojem téměř nulová budova nZEB (nearly zero energy building) primárně uvedla Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov (přepracování), takzvaná EPBD II (energy performance of building directive). Budovu s téměř nulovou spotřebou směrnice definuje, jako budovu,

„jejíž energetická náročnost je velmi nízká. Téměř nulová či nízká spotřeba požadované energie by měla být ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů, včetně energie z obnovitelných zdrojů vyráběné v místě či v jeho okolí“.

Výše uvedená definice je značně vágní, přičemž to, co konkrétně znamená ona téměř nulová, či velmi nízká spotřeba energie, a co znamená značný rozsah pokrytí obnovitelnými zdroji, je již v kompetenci jednotlivých členských zemí. V případě České republiky je směrnice implementována do zákona 406/2000 Sb. o hospodaření energií ve znění pozdějších předpisů. Technické parametry dále specifikuje vyhláška 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov (se změnou 230/2015 Sb.).

Jak bylo řečeno v úvodu, výsledné požadavky jsou minimálně v případě rodinných domů mírné a zásadní posun k velmi nízké energetické náročnosti neznamenaají. Prakticky se definice téměř nulové budovy promítá do dvou základních parametrů. Prvním je požadavek na obálku budovy, definovaný **redukčním činitelem požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla $f_R = 0,7$** . Tato hodnota znamená, že průměrný součinitel prostupu tepla by měl být o 30 % nižší, nežli při použití normových požadovaných hodnot U dle ČSN 730540-2:2011. Již od roku 2013 platí pro novostavby hodnota redukčního činitele $f_R = 0,8$. Požadavek na téměř nulové budovy je pouze o přibližně 10 % přísnější a zpravidla lze splnit při použití normových doporučených hodnot součinitele prostupu tepla a výplní otvorů s trojsklem. V případě novostaveb je přitom běžně technicky možné splnit hodnoty f_R nižší nežli 0,5.

Druhým parametrem, který definuje téměř nulovou budovu, je tzv. značný rozsah pokrytí spotřeby pomocí obnovitelných zdrojů. Vyhláška 78/2013 Sb. se změnami toto definuje požadavkem na **snížení hodnoty neobnovitelné primární energie stanovené pro referenční budovu ($\Delta e_{p,R}$) v rozpětí 10–25 % podle druhu budovy nebo zóny**. Nejedná se tedy o přímý požadavek na aplikaci obnovitelného zdroje v rámci budovy ani jeho určitý podíl na dodané energii. Vliv obnovitelných zdrojů je zde zohledněn nepřímo pomocí nízkých nebo nulových faktorů neobnovitelné primární energie, přičemž jejich existence na budově samozřejmě napomáhá snížení hodnoty této spotřeby.

Z případových studií nicméně vyplývá, že většinou existence obnovitelného zdroje není nutná, jelikož dnes běžně používané zdroje energie a soustavy mají výrazně vyšší účinnosti, nežli jsou účinnosti stanovené pro referenční budovu. Účinnosti mají samozřejmě v konečném důsledku vliv i na spotřebu primární neobnovitelné energie a požadavek je takto zpravidla splněn.

Výše uvedené vede k tomu, že běžně může být v ČR požadavek na neobnovitelnou primární energii pro rodinný dům ve výši **100 až 160 kWh/(m²rok) i více**, v závislosti na velikosti, tvaru a dalších aspektech návrhu budovy [4]. Uvedená hodnota obsahuje spotřeby dle vyhlášky 78/2013 Sb. mimo uživatelské elektřiny (domácí spotřebiče). Chlazení je započteno rovněž, ale prozatím není běžnou součástí rodinných domů. Byť hodnoty nelze díky rozdílným národním metodikám přesně srovnat, ukazuje se, že obdobně mírné požadavky na téměř nulové budovy má z celé EU nastaveno pouze Rumunsko (93 až 217 kWh/(m²rok), [1]).

V červenci 2016 vydala evropská komise doporučení (EU) 2016/1318 o pokynech na podporu budov s téměř nulovou spotřebou energie [2]. Toto doporučení reflektuje aktuální nastavení standardu nZEB napříč jednotlivými členskými zeměmi tak, jak si je na národní úrovni nastavily, a dále upřesňuje parametry, jakých by tyto budovy měly dosahovat. Dokument mimo jiné uvádí, že budovy jsou ústředním bodem politiky EU v oblasti energetické účinnosti, a že úplné provedení a vymáhání stávajících energetických právních předpisů je uznáno jako nejvyšší priorita s tím, že členské státy by se měly řídit pokyny tohoto doporučení.

Z aktuálního nastavení v rámci EU vyplývá, že u obytných budov usiluje většina členských států o spotřebu primární energie nepřesahující 50 kWh/m² za rok. Maximální spotřeba primární energie je v rozmezí od 20 kWh/m² za rok v Dánsku nebo 33 kWh/m² za rok v Chorvatsku (pobřeží) do 95 kWh/m² za rok v Lotyšsku. Řada zemí (Belgie (Brusel), Estonsko, Francie, Irsko, Slovensko, Spojené království, Bulharsko, Dánsko, Chorvatsko (vnitrozemí), Malta, Slovinsko) usiluje o dosažení spotřeby ve výši 45 nebo 50 kWh/m² za rok [1].

Doporučení dále pro jednotlivá klimatická pásma uvádí hodnoty, kterých by měly budovy s téměř nulovou spotřebou dosahovat [3]. Pro kontinentální pásmo (např. Bratislava, Vídeň, Budapešť) uvádí následující hodnoty:

Nový rodinný dům: 20 až 40 kWh/m² čisté primární energie za rok, obvykle se spotřebou primární energie za rok ve výši 50 až 70 kWh/m², která je pokryta 30 kWh/m² energie z obnovitelných zdrojů vyráběné v místě za rok.

**pozn: čistá primární energie je ekvivalent v ČR využívané neobnovitelné primární energie*

Je zřejmé, že aktuální nastavení požadavků legislativy ČR na primární neobnovitelnou energii násobně převyšuje představu EU o téměř nulových budovách.

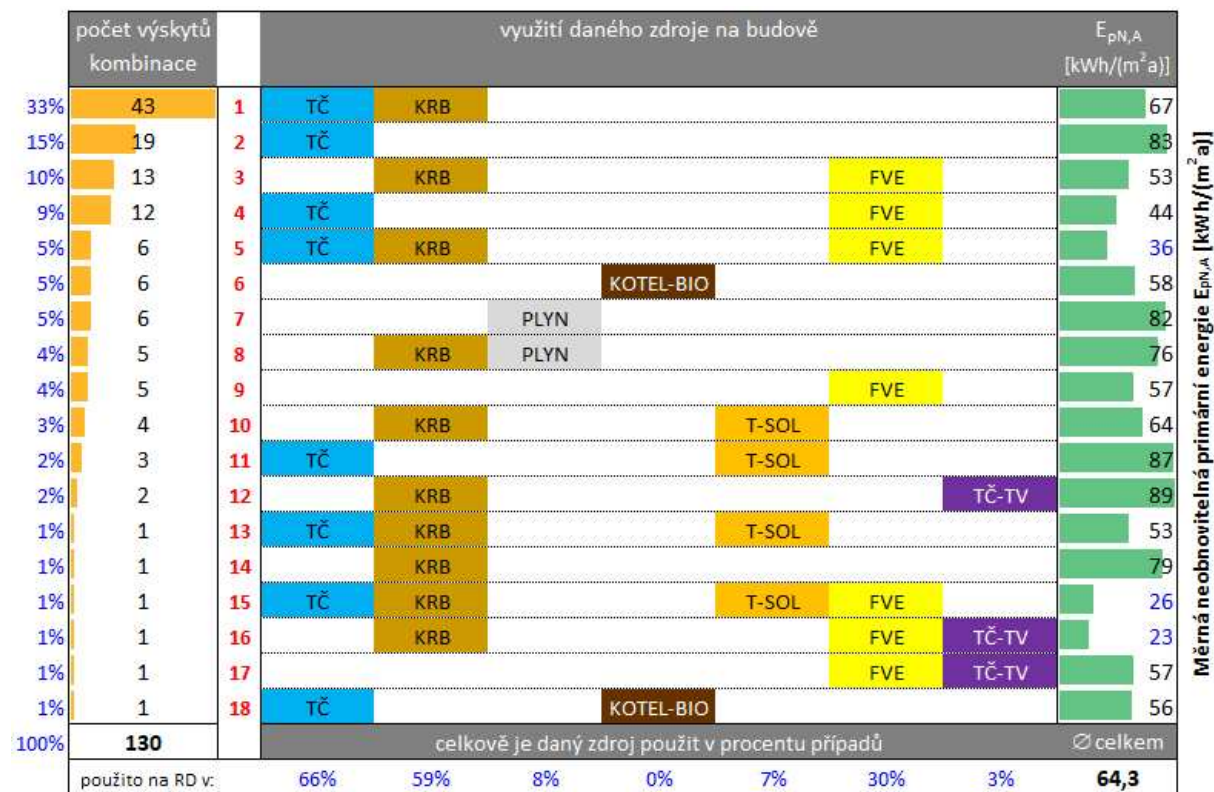
PŘEHLED ZDROJŮ ENERGIE V BUDOVÁCH S VELMI NÍZKOU ENERGETICKOU NÁROČNOSTÍ

Přestože současné legislativní požadavky na budovy téměř nulové budovy jsou značně vzdálené přísným hodnotám, které by měly tyto budovy plnit, najdeme v České republice řadu realizací, které tyto hodnoty již splňují nebo se jim blíží. Doporučení komise [2] mimo jiné uvádí: „Z důkazů vyplývá, že stávající technologie související s úsporami energie, energetickou účinností a energií z obnovitelných zdrojů postačují k tomu, aby společně dosáhly vhodného cíle pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Technologická mezera, kterou by bylo třeba do roku 2021 odstranit, nebyla zjištěna“. V České republice se jedná například o rodinné domy s velmi nízkou energetickou náročností, podpořené z programu Nová zelená úsporám (NZÚ). Pro účely tohoto příspěvku bylo vybráno 130 rodinných domů, pro které od roku 2013 doposud společnost EnergySim s.r.o. zpracovala žádost o podporu do tohoto programu. Cílem je zanalyzovat kombinace zdrojů energie využitých v těchto budovách a hodnoty primární neobnovitelné energie, které tyto budovy dosahují. S ohledem na různorodost investorů a dodavatelů staveb se dá se zjednodušením předpokládat, že se jedná o určitý „statistický vzorek“ těchto budov podpořených z programu NZÚ.

Některá technická kritéria podpory novostaveb rodinných domů v NZÚ z velké části odpovídají představám EU o parametrech nZEB. Zaprvé je díky požadavku na konstrukce, obálku a měrnou potřebu tepla na vytápění zajištěna zmíněná „velmi nízká energetická náročnost“. Zadruhé program klade požadavky na měrnou potřebu primární neobnovitelné energie ($E_{pN,A}$), a to v absolutních hodnotách, čímž je v mnoha případech zajištěno částečné pokrytí spotřeby obnovitelnými (nebo alternativními) zdroji energie. Oblast podpory je rozdělena do dvou podkategorií, přičemž v té „přísnější“ je vyžadována hodnota $E_{pN,A}$ ve výši **60 kWh/(m²rok)**, v „mírnější“ potom **90 kWh/(m²rok)**. Jak bylo popsáno výše, většina členských zemí usiluje o hodnotu 50 kWh/(m²rok) a doporučení evropské komise pro kontinentální klima potom v rozmezí 20 až 40 kWh/(m²rok).

Podívejme se tedy, jaké technické systémy se v uvedených budovách vyskytují. Obr. 1 uvádí jednotlivé kombinace zdrojů včetně počtu jejich výskytů v rámci hodnoceného vzorku budov. Je zřejmé, že nejčastěji použitou kombinací zdrojů (43 ze 130) je tepelné čerpadlo společně s nějakou variantou krbových kamen či krbu. V případě TČ jsou zastoupena převážně čerpadla vzduch-voda a země-voda (častěji). V ojedinělých případech se vyskytují samostatná tepelná čerpadla pouze pro přípravu teplé vody v rámci zásobníku a kompaktní jednotky s tepelným čerpadlem využívající teplo z vnitřního vzduchu. Velmi často se v různých kombinacích vyskytují krbová kamna nebo krbové vložky. Tyto systémy se vyskytují skoro v 60 % případů, přičemž řešení s výměníkem jsou využita dvakrát častěji nežli bez výměníku. Dále přibližně u jedné třetiny budov je využita fotovoltaická elektrárna. Teplovodní solární systém je u těchto budov využíván poměrně málo. V ojedinělých případech se vyskytuje jako

hlavní zdroj tepla plynový kondenzační kotel nebo kotel na dřevní pelety či kusové dřevo. Ve všech hodnocených kombinacích se nějakým způsobem vyskytuje jako zdroj elektrina. Buď se jedná o hlavní zdroj energie (elektrokotel, patrony zásobníku, podlahové topení, přímotopy) nebo pouze jako zdroj doplňkový (patrony v zásobníku, podlahové vytápění či žebřík v koupelně atd.).



Obr. 1 Přehled kombinací zdrojů energie v hodnocených budovách

*vysvětlivky níže uvádí, které zdroje jsou obsaženy pod zkratkou uvedenou v tabulce:

TČ: tepelné čerpadlo země-voda, vzduch-voda, ojediněle TČ získávající teplo z vnitřního vzduchu
KRB: krbová kamna, krbová vložka, varianty s výměníkem nebo bez
PLYN: kondenzační kotel na zemní plyn
KOTEL-BIO: zplyňovací kotel na dřevo, kotel na dřevní peletky
T-SOL: termický solární systém
FVE: fotovoltaický solární systém
TČ – TV: tepelné čerpadlo pouze pro přípravu teplé vody

Poslední sloupec v tabulce (viz Obr. 1) uvádí průměrné hodnoty spotřeby primární neobnovitelné energie pro danou kombinaci zdrojů. Tyto jsou logicky všechny nižší, nežli 90 kWh/(m²rok), nicméně můžeme si u některých kombinací všimnout i hodnoty, která odpovídá Doporučení Evropské komise pro nZEB v kontinentálním pásmu.

Hodnoty měrné potřeby tepla na vytápění se pro hodnocený vzorek pohybují od 8 do 20 kWh/(m²rok) s průměrnou hodnotou 16 kWh/(m²rok). Měrná primární neobnovitelná energie má potom průměrnou hodnotu 64 kWh/(m²rok), přičemž minimální hodnota je ve výši 6 kWh/(m²rok). V případě takto nízké hodnoty se jedná o dům vybavený tepelným čerpadlem vzduch-voda, křbovými kamny s výměníkem a fotovoltaickou elektrárnou o instalovaném výkonu 4 kW_p umožňujícím předání přebytků do rozvodné sítě.

Měrná potřeba tepla na vytápění		Měrná spotřeba primární neobnovitelné energie	
[kWh/(m ² a)]		[kWh/(m ² a)]	
hodnota	počet výskytů	hodnota	počet výskytů
4	0	10	1
6	0	20	1
8	1	30	7
10	1	40	7
12	17	50	10
14	36	60	39
16	25	70	10
18	13	80	16
20	37	90	39
minimum	8	minimum	6
průměr	16	průměr	64
maximum	20	maximum	90

Obr. 2 Histogramy a hodnoty pro hodnocený vzorek budov

Je zřejmé, že již v rámci hodnoceného vzorku budov se vyskytují budovy, které splní doporučení EK na spotřebu primární neobnovitelné energie. 16 ze 130 hodnocených budov vykazuje měrnou spotřebu primární neobnovitelné energie menší, než 40 kWh/(m²rok).

SROVNÁNÍ ZDROJŮ TEPLA Z POHLEDU SPOTŘEBY PRIMÁRNÍ NEOBNOVITELNÉ ENERGIE

Poslední kapitola se zaměřuje na možnosti dosažení doporučení EK pro vybrané technické systémy. Vzhledem k značně diskutovanému tématu využití elektrických systémů vytápění pro domy s nízkou potřebou tepla na vytápění ve srovnání se systémy tepelných čerpadel, se provedené hodnocení omezuje pouze na tyto dva systémy v několika variantách. Hodnocení se zaměřuje čistě na porovnání spotřeby primární neobnovitelné energie. Výpočet vychází z teoretických potřeb energie a dodaných energií, ke kterým je v případě některých spotřeb využito průměrných hodnot souboru 130 budov analyzovaných v kapitole výše. Výchozí předpoklady jsou následující. Energeticky vztahná plocha je uvažována hodnotou **EV_P = 185 m²** (průměr hodnocených budov). Pro hodnocení primární energie je uvažováno s měrnou potřebou tepla ve výši 15 kWh/(m²rok). Stejná hodnota je uvažována pro měrnou potřebu teplé vody (dle metodiky NZÚ je uvažováno s obsazeností 40 m²/os a tedy potřeba teplé vody je úměrná podlahové ploše). V případě hodnocení budovy včetně chlazení je uvažováno s teoretickou potřebou chladu ve výši 10 kWh/(m²rok). V případě dalších spotřeb je uvažováno s průměrnými měrnými hodnotami hodnoceného vzorku budov (viz Obr. 3).

	potřeba energie			spotřeby energie				
	vytápění	chlazení	příprava TV	osvětlení	větrání	pomocné e. vytápění	pomocné e. příprava TV	osvětlení+větrání +pomocné e.
	[kWh/(m ² rok)]							
min				5,1	0,8	0,0	0,0	6,5
Ø	15	0 / 10	15	5,5	2,0	0,5	0,1	8,1
max				5,8	2,7	2,3	2,7	10,7

Obr. 3 Vstupní předpoklady pro hodnocení, rozsah měrných spotřeb vzorku budov

V rámci soustavy pro přípravu teplé vody je uvažováno s hodnotami tepelných ztrát zásobníku a rozvodů (bez cirkulace) ve výši 3 kWh na 1 m² energeticky vztahné plochy.

Hodnocení je provedeno pro následující základní varianty technických systémů, jejichž parametry popisuje následující tabulka (viz Obr. 4).

bez uvažování chlazení	1	2
zdroj tepla	elektrické přímotopné vytápění	TČ země-voda (plošný kolektor)
otopná soustava	přímotopy	tělesa, adaptivní regulace, rozvody vedeny ve vytápěné obálce, výstupní tepl. vody 45°C
sezónní účinnost zdroje pro vytápění / $COP_{H,gen}$	99%	4,04
sezónní účinnost zdroje pro přípravu TV / $COP_{W,gen}$	99%	2,39
účinnost distribuce tepla pro vytápění	100%	92%
účinnost sdílení tepla pro vytápění	94%	94%
zdroj chladu	multi-split systém, 6/12°C	TČ země-voda (plošný kolektor) v reverzibilním chodu, 16/18°C
chladicí faktor zdroje chladu EER_c	2,9	4,30
účinnost distribuce chladu	95%	100%
účinnost sdílení chladu	81%	100%

Obr. 4 Parametry jednotlivých uvažované pro hodnocení

účinnosti, topné a chladicí faktory odpovídají TNI 730331 [5], ČSN EN 14511-2 [6]; ČSN EN 15316-4-2 [7]

Následující tabulka popisuje (viz Obr. 5) uvádí ukázkou výpočtu třech variant systémů.

elektrické přímotopné vytápění		vytápění		příprava	osvětlení	větrání	pomocné	chlazení	celkem
		TV		VYT+TV					
potřeba	kWh/(m ² a)	15,0	15,0	5,5	2,0	0,12	10,00		
účinnost distribuce	-	100%	včetně ztrát zásobníku a rozvodů					95%	
účinnost sdílení	-	94%						81%	
účinnost výroby	-	99%						99%	
spotřeba	kWh/(m ² a)	16,1	21,2	5,5	2,0	0,1	4,5		
spotřeba	kWh/a	2 982	3 924	1 011	369	22	829		
neobn. primární en.	kWh/(m ² a)	48,4	63,6	16,4	6,0	0,4	13,4	148	
TČ země-voda		vytápění		příprava	osvětlení	větrání	pomocné	chlazení	celkem
		TV		VYT+TV					
potřeba energie	kWh/(m ² a)	15,0	15,0	5,5	2,0	0,62	10,00		
účinnost distribuce	-	92%	včetně ztrát zásobníku a rozvodů					100%	
účinnost sdílení	-	94%						100%	
účinnost výroby	-	4,04						2,39	
měrná spotřeba en.	kWh/(m ² a)	4,3	8,8	5,5	2,0	0,6	2,3		
spotřeba energie	kWh/a	794	1 628	1 011	369	115	430		
neobn. primární en.	kWh/(m ² a)	12,9	26,4	16,4	6,0	1,9	7,0	71	
TČ země-voda s využitím odpadního tepla		vytápění		příprava	osvětlení	větrání	pomocné	chlazení	celkem
		TV		VYT+TV					
potřeba energie	kWh/(m ² a)	15,0	15,0	5,5	2,0	0,62	10,00		
účinnost distribuce	-	92%	včetně ztrát zásobníku a rozvodů a odp. tepla					100%	
účinnost sdílení	-	94%						100%	
účinnost výroby	-	4,04						2,39	
měrná spotřeba en.	kWh/(m ² a)	4,3	5,9	5,5	2,0	0,6	2,3		
spotřeba energie	kWh/a	794	1 085	1 011	369	115	430		
neobn. primární en.	kWh/(m ² a)	12,9	17,6	16,4	6,0	1,9	7,0	62	

Obr. 5 Ukázkou výpočtu neobnovitelné primární energie

Z uvedené tabulky je zřejmý postup hodnocení primární neobnovitelné energie. Ve všech případech jsou výchozí potřeby energií totožné. Je zřejmé, že ve všech případech, bez ohledu na zdroj energie pro budovu, bude identická spotřeba energie na osvětlení a mechanické větrání. Pomocné energie jsou v případě přímotopných systémů prakticky nulové a je uvažováno pouze s průměrnou pomocnou energií systému přípravy teplé vody. Položky osvětlení, větrání a pomocné energie mají součtovou spotřebu ve výši 8 kWh/(m²rok) a při využití aktuálního faktoru neobnovitelné primární energie pro elektřinu tvoří tedy měrnou spotřebu $E_{pN,A}$ ve výši **24 kWh/(m²rok)**. Je zřejmé, že již z tohoto důvodu je poměrně obtížné, splnit doporučení EK ve výši 20 až 40 kWh/(m²rok). Přímotopný systém tedy vykazuje měrnou spotřebu primární neobnovitelné energie (dále jen $E_{pN,A}$) ve výši **148 kWh/(m²rok)**, přičemž položka chlazení v tomto případě tvoří 13 kWh/(m²rok). Bez chlazení by tedy systém vykazoval hodnotu $E_{pN,A} = 135$ kWh/(m²rok). Systém s tepelným čerpadlem země-voda využitým v reverzibilním chodu rovněž pro chlazení potom vykazuje hodnotu $E_{pN,A} = 71$ kWh/(m²rok). Pokud by bylo současně využito odpadní teplo ze systému chlazení k přípravě TV, klesla by hodnota $E_{pN,A}$ na **62 kWh/(m²rok)**.

Dále je k výše uvedeným variantám možné uvážít kombinaci s fotovoltaickým systémem (dále jen FVE). Díky metodice hodnocení vyhlášky 78/2013 Sb. v akt. znění, je z pohledu hodnocení primární neobnovitelné energie zcela jedno, zdali se vyrobená elektřina využije pro úsporu elektřiny v budově nebo bude exportována do sítě. V prvním případě se šetří spotřebovaná elektřina s faktorem 3,0. Ve druhém případě má dodávka do sítě záporný faktor **-3,0**. Budeme-li zjednodušeně uvažovat roční výrobu elektřiny z FVE ve výši 1000 kWh/kW_p, dojde k úspoře (resp. odečtu) $E_{pN,A}$ ve výši 3000 kWh na každý instalovaný kW_p elektrárny. Pro naši hodnocenou budovu o vztažné ploše 185 m² to tedy znamená úsporu $E_{pN,A}$ okolo 16,2 kWh/(m²a). První hodnocený systém s elektrickými přímotopnými spotřebiči by tedy při kombinaci s fotovoltaickou elektrárnou vykazoval spotřebu $E_{pN,A}$ na úrovni 100 kWh/(m²rok) oproti původním 148 kWh/(m²rok). V případě instalace fotovoltaické elektrárny o výkonu 5 kW_p by stejný systém vykazoval hodnotu $E_{pN,A}$ ve výši 67 kWh/(m²rok).

ZÁVĚR

V příspěvku byl uveden popis možností technických systémů pro 130 stávajících rodinných domů s velmi nízkou energetickou náročností včetně hodnocení primární neobnovitelné energie. Bylo ukázáno, že mnoho variant se již dnes buď blíží, či již splňují doporučení Evropské komise na spotřebu $E_{pN,A}$ ve výši 20 až 40 kWh/(m²rok). V dalším textu bylo uvedeno srovnání hodnot $E_{pN,A}$ pro dva velmi často diskutované systémy, a to přímotopné elektrické vytápění a systém tepelného čerpadla včetně variant kombinace s fotovoltaickou elektrárnou. Z výsledků je zřejmé, že bez instalace FVE jsou přímotopné systémy dalece za hranicí plnění doporučení EK. Uvedené výsledky budou s malou odchylkou platit pro všechny systémy elektrického vytápění bez tepelného čerpadla (topné rohože, elektrokotle, sálavé vytápění atd.). Systémy s tepelným čerpadlem bez instalace FVE vykazují potom celkovou spotřebu $E_{pN,A}$ pro budovu méně, než poloviční. Například při využití odpadního tepla z chlazení je hodnota $E_{pN,A}$ stanovena ve výši 62 kWh/(m²rok).

S ohledem na závažnost tématu energetických úspor a důvody uvedené v příspěvku výše lze v blízké době předpokládat úpravu současného nastavení legislativních požadavků na budovy v ČR minimálně z pohledu primární neobnovitelné energie. Ze současných trendů patrných z trhu je rovněž znatelný markantní nárůst zájmu o instalace systémů chlazení pro rodinné domy, dodnes málo běžných. Systémy chlazení logicky navyšují spotřebu elektřiny budovy a tím i spotřebu primární neobnovitelné energie. Z pohledu energetického mixu ČR je rovněž třeba poznamenat, že vlivem nárůstu podílu obnovitelných zdrojů na výrobě elektřiny může v budoucnu dojít k úpravě faktorů primární neobnovitelné energie pro tento energonositel

(výše uvedené doporučení EK mluví o hodnotě faktoru nPE pro elektřinu ve výši 2,5). Závěrem je uvedena tabulka výsledků spotřeb $E_{pN,A}$ pro různé hodnoty tohoto faktoru pro výše uvedené varianty zdroj tepla budovy s velmi nízkou energetickou náročností.

faktor neobnovitelné p.e.	[-]	3,0	2,8	2,6	2,4
měrná spotřeba primární neobnovitelné energie při předpokladu změny faktoru n.p.e.					
elektrické přímotopné vytápění		148	138	128	119
dtto vč. FVE 3 kWp	[kWh/(m ² a)]	100	93	86	80
dtto vč. FVE 5 kWp		67	63	58	54
systém TČ země-voda		71	66	61	56
dtto vč. FVE 3 kWp		22	20	19	17
systém TČ země-voda s využitím odpadního tepla		62	58	53	49

Obr. 6 Vliv změny faktoru primární neobnovitelné energie elektřiny na spotřebu $E_{pN,A}$

Z uvedeného je zřejmé, že vliv případného poklesu faktoru nPE nemá na výsledky až tak markantní vliv. Obecně jsou tedy systémy s využitím tepelných čerpadel z pohledu spotřeby $E_{pN,A}$ výrazně úspornější. Často kladeným argumentem v případě elektrického vytápění jsou nízké pořizovací náklady. Článek nemá za cíl ekonomické srovnání výše uvedených systémů, nicméně je zřejmé, v případě potřeby instalace dalšího obnovitelného zdroje (fotovoltaika, krbové vložky atd.) se počáteční pořizovací náklady znatelně navyšují. Současně fotovoltaické zdroje zažívají aktuálně v rodinných domech značný boom. Z pohledu primární neobnovitelné energie jsou tyto zdroje velkým přínosem a v případě instalace výkonné elektrárny může být spotřeba $E_{pN,A}$ snížena až do záporných hodnot. Z pohledu ekonomiky provozu je však třeba mít na paměti potřebu využití vyrobené elektřiny v budově, jelikož elektřina dodaná do sítě není dnes zpravidla finančně kompenzována. Budovy s kvalitně navrženou obálkou, nuceným větráním s rekuperací, tepelným čerpadlem jako hlavním zdrojem pro vytápění a přípravu teplé vody potom v kombinaci s poměrně malou fotovoltaickou elektrárnou (2 až 3 kW_p) s přehledem splní doporučení EK na spotřebu primární neobnovitelné energie.

LITERATURA

- [1] *NEARLY ZERO ENERGY BUILDINGS DEFINITIONS ACROSS EUROPE* [online]. In: Brusel: BPIE, 2015, s. 8 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: http://bpie.eu/uploads/lib/document/attachment/128/BPIE_factsheet_nZEB_definitions_across_Europe.pdf
- [2] EVROPSKÁ KOMISE, Miguel Arias Canete. Doporučení komise (EU) 2016/1318. *Česká komora architektů* [online]. Brusel, 2016 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.cka.cz/cs/cka/tema-CKA/podpora-budov-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/doporuceni-eu-komise-nzeb.pdf>
- [3] HERMELINK, A., SCHIMSCHAR, S., BOERMANS, T., PAGLIANO, L., ZANGHERI, P., ARMANI, R., VOSS, K. a MUSALL, E. *Towards nearly zero-energy buildings: Definition of common principles under the EPBD* [online]. In: . Kolín nad Rýnem: ECOFYS, 2013, s. 469 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/nzeb_full_report.pdf
- [4] ČEJKA, M., ANTONÍN, J. Budovy s téměř nulovou spotřebou – porovnání energetických standardů. *Tzbinfo: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. 2017 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15181-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-porovnani-energetickych-standardu>

- [5] *TNI 730331*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [6] *ČSN EN 14511-2*. Nahrazuje ČSN EN 14511-2 z ledna 2014. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [7] *ČSN EN 15316-4-2 (06 0401)* Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetické potřeby a účinností soustavy – Část 4-2: Výroba tepla pro vytápění, tepelná čerpadla

FOTOVOLTAIKA A TEPELNÉ ČERPADLO V KOMBINACI SE SEZÓNÍ AKUMULACÍ

Michal Broum¹, Tomáš Matuška²

¹REGULUS, s.r.o.

²Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze
michal.broum@regulus.cz

ANOTACE

Článek představuje realizaci experimentálního systému, který využívá letní produkci fotovoltaického systému pro provoz tepelného čerpadla ve spojení se zemním akumulátorem tepla. Energetický systém společně se zemním zásobníkem je monitorován od října 2017.

ÚVOD

Experimentální demonstrace energetického systému pro téměř nulové budovy je výsledkem projektu, jehož cílem projektu bylo vyvinout pokročilý energetický systém pro zásobování budov teplem, chladem a elektřinou s vysokou soběstačností pro docílení standardu téměř nulové budovy s ekonomickou návratností do 10 let (při současných cenách energie) s vysokým podílem využití OZE (nad 70 %). V rámci projektu byly vyvinuty a modelovány jednotlivé prvky energetického systému a systém jako celek. Z počítačových simulací bylo vyhodnoceno, že energetický systém může výrazně snížit potřebu externí energie pro vytápění a přípravu teplé vody. Roční systémový topný faktor *SPF* je na úrovni hodnoty 6.0. Využití elektřiny z fotovoltaického systému samotným tepelným čerpadlem je okolo 44 % a více než 80 % energie pro vytápění a přípravu teplé vody je energie obnovitelná [1-2]. Na základě počítačových simulací byl celý systém navržen, vyprojektován a realizován v rámci novostavby rodinného domu v Hamrech u Hlinska. Podle výsledků simulace může hodnocená konkrétní budova s takovým systémem dosáhnout extrémně nízké potřeby neobnovitelné primární energie pod 20 kWh/m².rok.

REALIZOVANÝ SYSTÉM

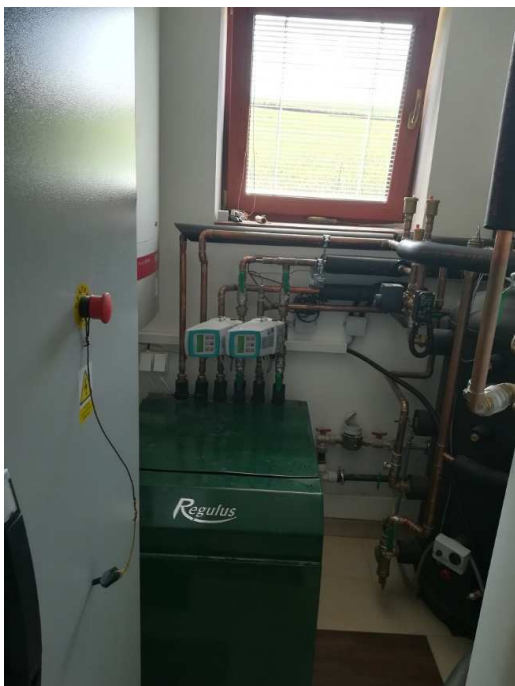
V systému byly použity a instalovány nově vyvinuté prvky: tepelné čerpadlo, kombinovaný zásobník tepla a zemní zásobník tepla [3-5]. Celý systém byl napojen na inteligentní regulátor a měřicí systém pro účely dlouhodobého monitoringu. Vzhledem k demonstrační povaze systému byly navíc instalovány i prvky, které umožňují provádět další experimenty a optimalizaci provozu instalovaných prvků, nebo pouze zabezpečují komfort v rodinném domě v případě experimentálního „ladění“ systému. Jedná se především o centrální uzel tvořený zásobníkem o objemu 300 l, záložní zemní smyčku a na žádost majitele rodinného domu byl nakonec realizován kombinovaný zásobník ve větším objemu, než se původně předpokládalo jako optimum ze simulací. Schéma realizovaného systému je uvedeno na Obr. 1.

Tepelné čerpadlo instalované v technické místnosti rodinného domu (viz Obr. 2 vlevo) svým výparníkem může odebírat teplo buď z venkovního vzduchového chladiče, nebo z centrálního zásobníkového uzlu, do kterého může být požadované teplo dodáváno ze zemního zásobníku nebo, v případě jeho nedostatečné teploty, ze záložní zemní smyčky. Regulátor automaticky spouští zemní zdroje tepla podle priority a podle nastavené teplotní difference (zimní období). V letním období je adaptivně řízeným tepelným čerpadlem podle výkonu FV systému přečerpáváno teplo z okolního prostředí (venkovní vzduch) přes kombinovaný zásobník tepla do sezónního zemního zásobníku (nabíjení podloží).

[illegible]

Regulátor vyhodnocuje podle měřeného výkonu FV systému a příkonu tepelného čerpadla potřebné nastavení otáček kompresoru, aby při nabíjení zemního zásobníku tepla tepelné čerpadlo nespotřebovávalo žádnou elektrickou energii ze sítě. Podobně je tomu v případě přehřívání objemu kombinovaného vodního zásobníku tepla nad běžnou nastavenou teplotu.

16



Obr. 2 Strojovna rodinného domu

MONITORING

Celý energetický systém je napojen na dlouhodobý monitoring, viz Obr. 3. Jsou měřeny a vyhodnocovány výkony dodávané jednotlivými zdroji tepla a odebírané odběry tepla domu:

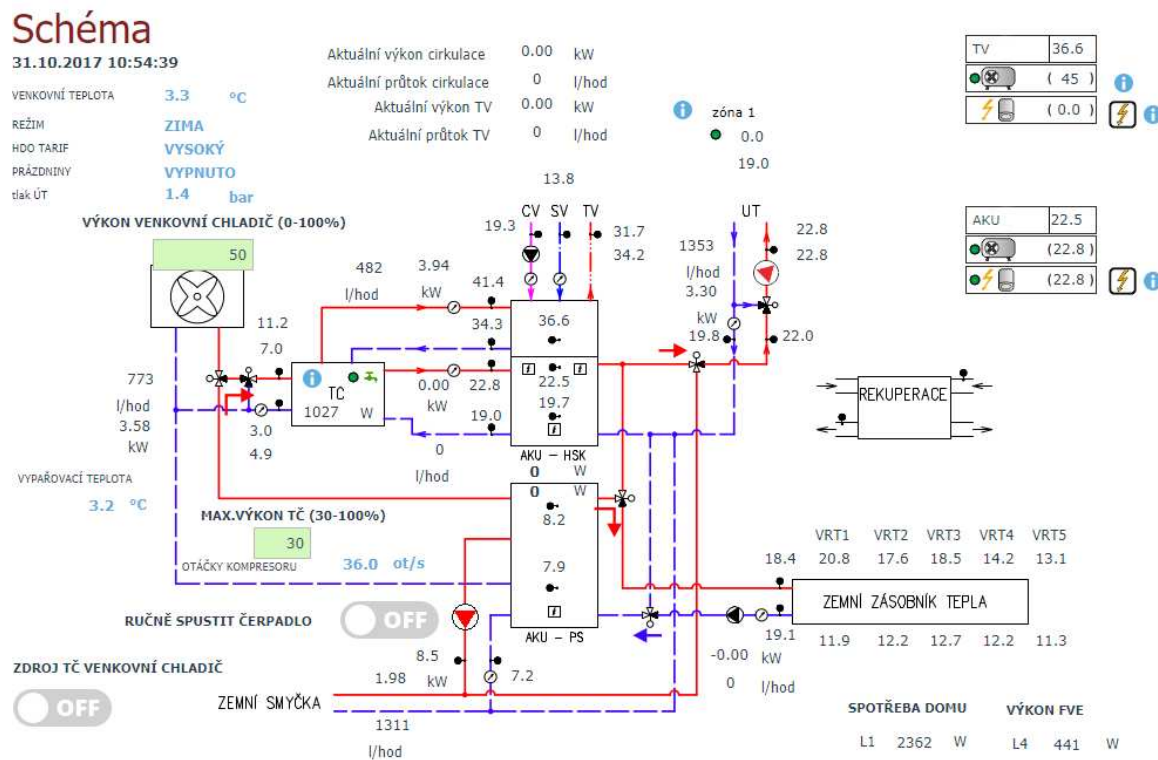
- topný výkon kondenzátoru a chladiče přehřátých par,
- výkon FV systému,
- výkon dodávaný a odebíraný ze sezónního zemního zásobníku,
- výkon odebíraný ze záložní zemní smyčky,
- výkon odebíraný do otopné soustavy (vytápění),
- výkon odebíraný v přípravě teplé vody, včetně její cirkulace.

Zároveň jsou měřeny teploty ve všech provozních okruzích a ve vodních zásobnících tepla (v různých výškových úrovních). V zemním zásobníku je umístěno celkem 5 sond (jedna sonda mimo dům jako referenční), každá o hloubce 5 m s teplotními čidly s odstupem 1 m po výšce. Tím je možné monitorovat teplotní pole zemního sezónního zásobníku při nabíjení a vybíjení.

Dále jsou monitorovány stavy přepínacích ventilů jednotlivých okruhů pro vyhodnocení provozních stavů v čase, jejich četnosti a funkce. Vlastní tepelné čerpadlo má navíc monitoring vnitřního chladivového oběhu. Stavy všechny řídicích signálů jsou ukládány společně s měřenými veličinami. Měřená data jsou ukládána a dostupná přes webový server společnosti REGULUS a jsou dostupná pro pracovníky UCEEB ČVUT pro vyhodnocování a analýzy.

Na Obr. 4 jsou zobrazeny průběhy hlavních veličin v systému pro znázornění funkce nabíjení zemního zásobníku tepelným čerpadlem ve vybraném dni měsíce dubna. Tepelné čerpadlo dodává teplo do kombinovaného zásobníku, ze kterého je pak odebíráno a přiváděno do zemního výměníku. Z porovnání průběhu elektrického výkonu FV systému a elektrického příkonu tepelného čerpadla při nabíjení je patrná regulace otáček kompresoru a

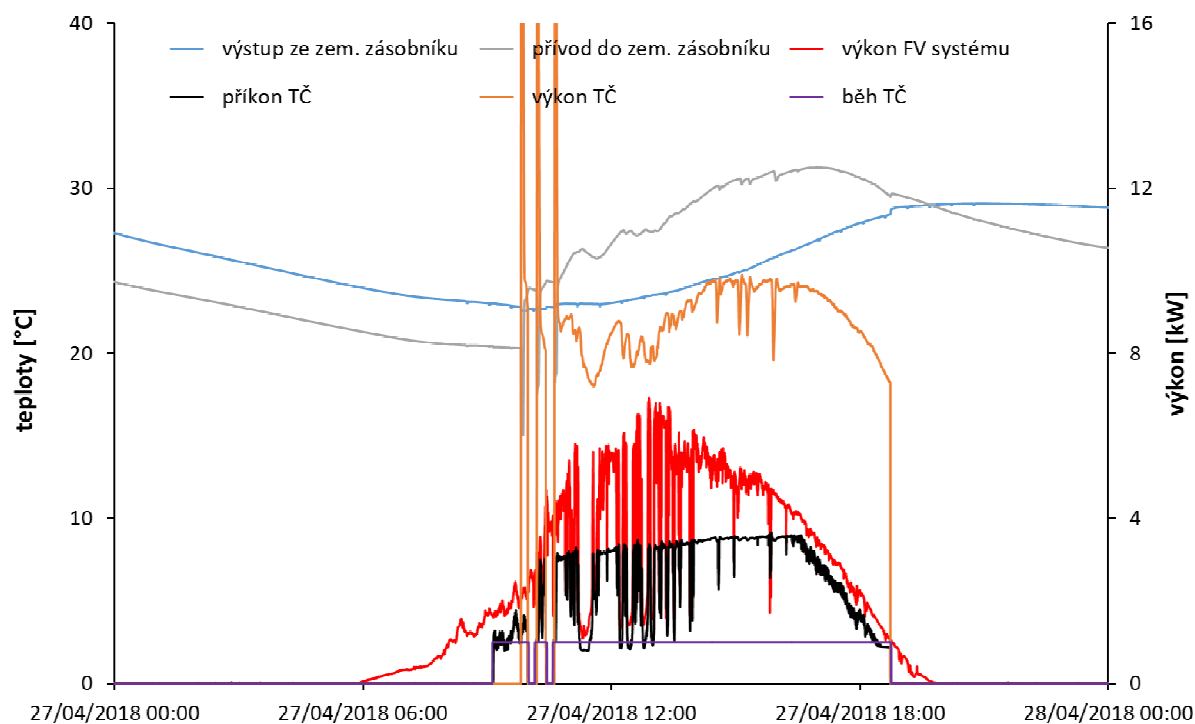
přizpůsobování příkonu tepelného čerpadla výkonu FV systému s určitou bezpečnou rezervou, aby při nabíjení zemního zásobníku tepelné čerpadlo nespotřebovávalo elektrickou energii ze sítě. Tepelné čerpadlo při nabíjení zásobníku dosahuje relativně vysokého topného výkonu až 10 kW. Teplo je odebíráno z venkovního vzduchu. Elektrický příkon tepelného čerpadla během nabíjení mírně roste, což souvisí se zvyšováním provozní teploty.



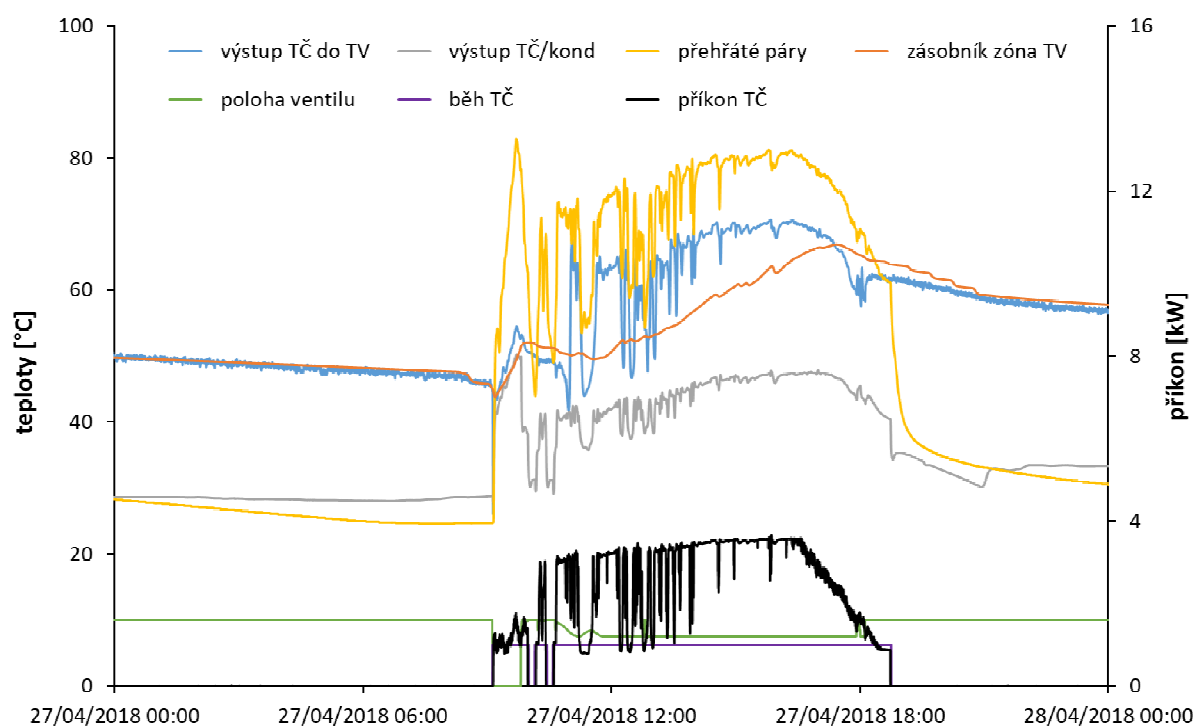
Obr. 3 Schéma monitoringu systému.

Pro stejný den je na Obr. 5 ukázána funkce chladiče přehřátých par. Zatímco výstup z kondenzátoru tepelného čerpadla je při nabíjení zemního zásobníku na relativně nízké teplotě blízké kondenzační, trojcestný ventil integrovaný v tepelném čerpadle na výstupu kondenzátoru reguluje (PID) průtok do chladiče přehřátých par. Výstup z chladiče par má pak výrazně vyšší teplotu než výstup z kondenzátoru. Zatímco výstup z kondenzátoru je směřován přes dolní část zásobníku tepla do zemního zásobníku, výstup z chladiče par je veden do horní části zásobníku (zóna přípravy teplé vody). Teplota vody v horní části zásobníku je na konci provozu tepelného čerpadla na hodnotě okolo 65 °C.

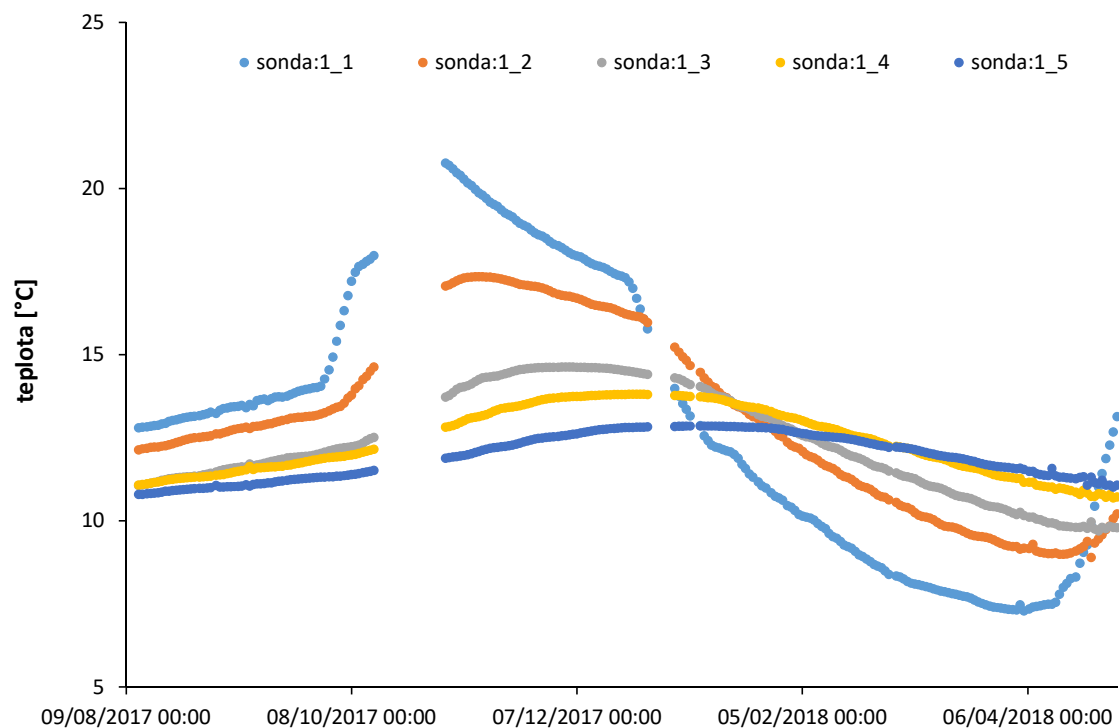
V grafu na Obr. 6 je znázorněn časový průběh teploty v zemním zásobníku během období říjen 2017 až květen 2018 (sonda v centrální části) ve vrstvách 1, 2 3, 4 a 5 m pod základovou deskou. V horní oblasti zemního zásobníku, kde je instalován výměník, se teplota během nabíjení a vybíjení značně mění a zatímco směrem do podloží domu je nárůst utlumen. Z grafu je patrný výpadek ukládání dat monitoringu v období 14.10.-31.10.2017. Během zimního období teplota v horní vrstvě zemního zásobníku klesla až na 7 °C. Zdrojem tepla pro tepelné čerpadlo byla v zimě střídavě i záložní zemní smyčka, která však byla provozována také pouze s vodou jako teponosnou látkou. Od poloviny měsíce dubna 2018 již dochází opět k nabíjení zemního zásobníku. V grafu na Obr. 7 je zobrazen časový průběh teploty v zemském masivu mimo podloží domu v neovlivněné oblasti. Je patrný zcela odlišný průběh teploty v daných hloubkách.



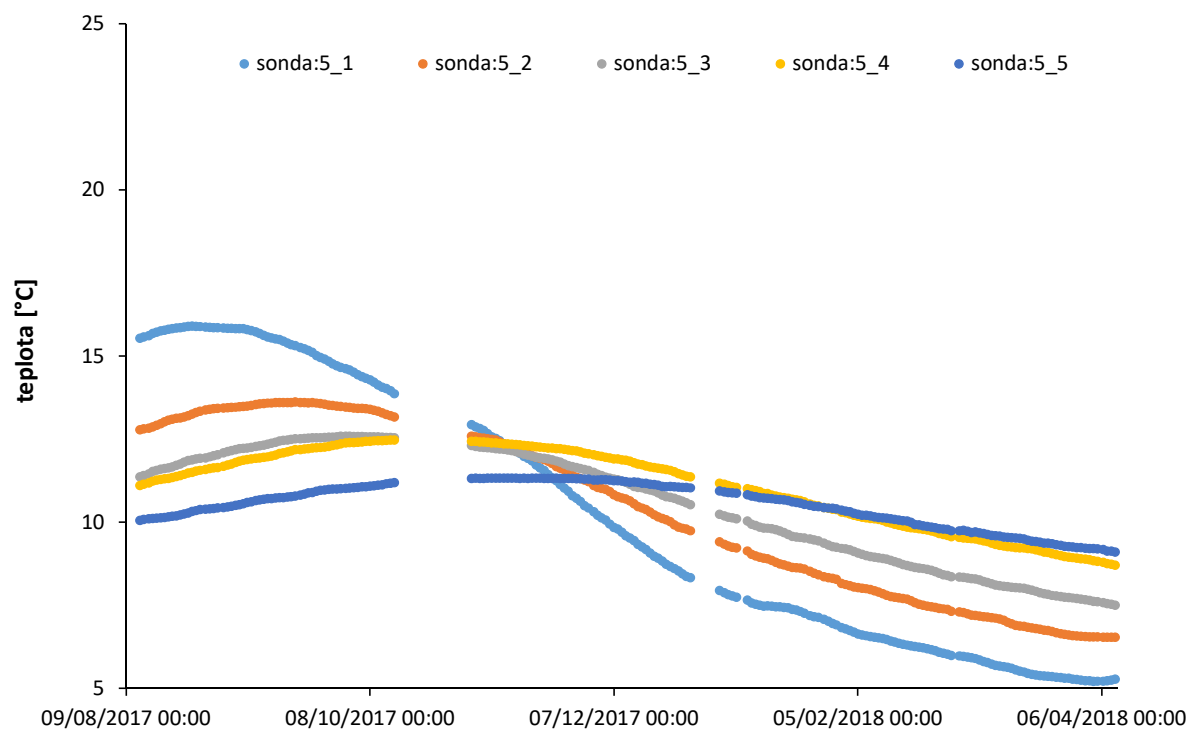
Obr. 4 Záznam výkonů a příkonů z experimentu s nabíjením zemního zásobníku při provozu domu.



Obr. 5 Funkce chladiče přehřátých par.



Obr. 6 Průběh teploty v centrální části zemního zásobníku.



Obr. 7 Průběh teploty v neovlivněné oblasti zemského masívu.

ZÁVĚR

Byla představena realizace experimentálního energetického systému pro téměř nulové budovy, který využívá sezónní akumulace tepla v kombinaci s tepelným čerpadlem a FV systémem. První zimní sezóna provozu energetického systému proběhla vzhledem ke zpoždění dodávky FV systému v nouzovém režimu bez nabitého zemního zásobníku. Nicméně od jara 2018 začne energetický systém pracovat již podle provozních předpokladů (nabíjení zásobníku) a je průběžně vyhodnocován (roční monitoring).

Přestože monitoring reálného provozu zatím není plně vyhodnotitelný či srovnatelný s provedenými simulacemi, z dostupných provozních dat lze usoudit relativně stabilní chování zemního zásobníku (nízké postupné vyčerpávání) při provozu domu. Částečně to bylo dáno střídavou spoluprací s provozem záložní zemní smyčky, nicméně na druhé straně je překvapivé, že i v zimním období v obci na Vysočině lze bez výraznějších problémů uvedeným systémem díky inteligentní regulaci provozovat zemní výměník s vodou jako teplonosnou látkou.

Na výsledcích monitoringu byly ukázány funkce pokročilých prvků jako je nabíjení zemního zásobníku tepelným čerpadlem s přizpůsobováním provozního elektrického příkonu výkonu FV systému nebo použití chladiče přehřátých par pro přípravu teplé vody na vysoké teplotě bez nutnosti navýšení kompresní práce.

LITERATURA

- [1] MATUŠKA, T.; ŠOUREK, B.; SEDLÁŘ, J.; BROUM, M. Energetický systém pro vytápění a přípravu TV v téměř nulových rodinných domech, Časopis Stavebnictví. 2016, X(8/16), 38-43. ISSN 1802-2030.
- [2] BROUM, M.; SEDLÁŘ, J.; ŠOUREK, B.; MATUŠKA, T. Kombinovaný zdroj s tepelným čerpadlem pro rodinný dům, In: Konference Vytápění Třeboň 2017. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2017. pp. 134-139. ISBN 978-80-02-02712-6.
- [3] SEDLÁŘ, J.; STRAKA, T.; BROUM, M. Tepelné čerpadlo s chladičem přehřátých par a kompresorem s řízenými otáčkami, Prototyp. 2016.
- [4] KALINA, J.; BĚŤÁK, J.; MATUŠKA, T.; ŠOUREK, B. Kombinovaný vodní zásobník tepla, Prototyp. 2016.
- [5] MATUŠKA, T.; BROUM, M. Zemní zásobník tepla, Funkční vzorek. 2016.

DATOVÁ ANALYTIKA A DIMENZOVÁNÍ ENERGETICKÝCH SYSTÉMŮ S BATERIOVÝM ÚLOŽIŠTĚM

Jiří Cigler¹, Jakub Zimčík²

¹Feramat Cybernetics s.r.o.

²Pluto Energy s.r.o.

cigler@feramat.com

ANOTACE

Příspěvek řeší problém optimálního dimenzování systémů s bateriovým úložištěm pro instalace, kde jsou k dispozici záznamy odběrových diagramů a lze předpokládat, že charakter provozu se po instalaci progresivních technologií typu fotovoltaika s bateriovým úložištěm nezmění. Jedná se o nelehkou úlohu, neboť každá instalace je specifická svým charakterem odběru, cenami energií, polohou a požadavky investora. V článku je nastíněno, jak tento problém řešit s využitím metod numerické optimalizace a na konkrétním příkladu jsou ukázány výsledky nástroje MicrOpt Design.

ÚVOD

Bateriová úložiště se i díky různým dotačním programům dostávají více do povědomí potenciálních investorů, kteří mají zájem snížit špičkové odběry energií, či množství přetoků z lokálně instalovaných zdrojů anebo zajistit modernější a ekologičtější způsob zálohování dodávek elektrické energie. Pro potenciální investory jsou k dispozici dotační tituly z programu Nová Zelená Úsporám na pořízení malých hybridních zařízení fotovoltaika + bateriové úložiště a dále dotační programy pro firmy z programu MPO OPPIK (zejména se jedná o prioritní osu 3, program úspory energie s/bez akumulace pro vlastní spotřebu nebo nízkouhlíkové technologie, příp. program úspory energie). Programy z OPPIK jsou vyhlašovány postupně v jednotlivých kolech až do r. 2020.

Bateriové úložiště se typicky uvažuje u systémů s fotovoltaikou příp. s tepelným čerpadlem anebo u systému doplněného o kogenerační jednotku. Samotný návrh parametrů takového systému ovšem představuje nelehkou úlohu, neboť při dimenzování probíhá hledání řady parametrů (kapacita úložiště, výkon měničů, špičkový výkon fotovoltaiky, výkon kogenerační jednotky a další), které se vzájemně ovlivňují a závisí nejen na charakteru spotřeby.

Lokální produkce elektrické energie z fotovoltaiky a kogenerační jednotky je navíc intermitentního charakteru, takže je při návrhu nezbytné klást velký důraz na souběh těchto technologií. Optimální parametry jsou potom pro každý provoz prakticky unikátní.

Speciální úlohou dimenzování je navrhování parametrů uvedené technologie pro rodinné domy, kde dochází k nárazově velkým odběrům elektrické energie (např. při souběhu vaření, praní a dalších domácích činností). Pro tyto účely nestačí hodinová data o spotřebách elektrické energie, nicméně bylo by nezbytné jít až na minutovou úroveň. V tomto příspěvku dimenzování takovýchto malých instalací nebude rozebíráno, naopak se zaměříme na velkoodběry, u kterých se setkáváme typicky s nějakým trvalým odběrem (base load) a špičkovým odběrem (peak load).

V příspěvku ukážeme koncept dimenzování parametrů technologií pomocí metod datové analytiky a numerické optimalizace, kdy jsou využita hodinová data o spotřebě elektrické energie a měsíční spotřeby tepla k nalezení parametrů, které maximalizují čistou současnou hodnotu nebo návratnost investice.

KONCEPT DIMENZOVÁNÍ

Jak bylo zmíněno v úvodu, v článku se budeme zabývat využitím metod datové analytiky a numerické optimalizace k dimenzování parametrů technologií. Cílem tedy bude převést slovní specifikaci úlohy do matematického zápisu tak, aby bylo možné vyřešit úlohu pomocí standardních softwarových nástrojů.

V případě systému bez kogenerační jednotky je cílem převést úlohu na formulaci tzv. lineárního programování (LP), v opačném případě je snahou převést úlohu na tzv. smíšené celočíselné lineární programování (mixed integer linear programming, MILP).

Tato myšlenka se i v poslední době objevuje v literatuře mnohem častěji. Autoři [1] např. řeší problém optimálního výkonu fotovoltaiky a kapacity bateriového úložiště. Profily výroby fotovoltaiky, spotřeby objektu a ceny energie jsou statisticky popsány a je řešena úloha stochastického celočíselného lineárního programování na krátkém časovém úseku. Delší sada historických dat o spotřebě elektrické energie z několika objektů je využita v úloze optimálního hledání výkonu fotovoltaiky a bateriového úložiště u autorů a jsou porovnány dva různé přístupy k hledání optimálního nastavení [2]. Dalším příkladem užití tohoto konceptu je dimenzování parametrů ostrovního systému. Autoři [3] např. tímto způsobem řeší problém dimenzování kombinace fotovoltaické elektrárny, diesel agregátu a bateriového úložiště.

Mezi obvyklé cíle při hledání parametrů technologií lze zařadit:

1. Uspořit co nejvíce nákladů na energie při omezení maximální výše investice
2. Nalézt takové parametry technologií, které povedou na nejkratší dobu návratnosti (return on investment ROI)
3. Nalézt takové parametry technologií, které povedou na maximální hodnotu čisté současné hodnoty přes sledované období (net present value, NPV).

ROI a NPV jsou standardní ekonomické parametry, které se používají pro ekonomické hodnocení investic.

Matematicky lze výše uvedené cíle přepsat následujícím způsobem

1. $\max_p u(p)$ s omezením $i(p) \leq i_{max}$. V uvedených rovnicích je p vektor všech parametrů technologií, $u(p)$ je úspora jenž závisí na uvedených parametrech, $i(p)$ je investice spojená s pořízením a instalací technologie s danými parametry p , a i_{max} je horní strop investice.
2. $\min_p \frac{i(p)}{u(p)}$. Tato rovnice je oproti předchozí nelineární a vede na degenerované řešení $i(p)=0$, tedy neprovádět jakoukoliv investici. Pro získání relevantních výsledků je nutné například stanovit si minimální hodnotu návratnosti (např. $ROI \geq 3$ roky).
3. $\max_p u(p) \sum_{j=1}^M \frac{1}{(1+r)^j} - i(p)$, kde M je délka sledovaného období pro NPV, j je index jednotlivých let a r je diskontní sazba.

Z pohledu metod numerické optimalizace můžeme tyto cíle považovat za tzv. kritériální funkci. Problémy numerické optimalizace jsou ale tvořeny nejen kritériální funkcí, ale také řadou omezení, která tvoří tzv. model úlohy. Jedná se o rovnice popisující vazby mezi jednotlivými proměnnými, které se v problému vyskytují.

Již ve výše definovaných cílech optimalizace (kritériální funkci) nalézáme proměnnou $u(p)$, která reprezentuje úsporu a je funkcí parametrů technologií. Úspora je vypočítávána jako rozdíl

původních a nových nákladů (projektované náklady po realizaci opatření) a tedy musí být k dispozici rovnice popisující nové náklady jako funkci parametrů.

Náklady za energie lze obecně rozdělit na položky, které jsou fakturovány

1. Paušálně: OTE, nebo např. pevná platba za odběrné místo OPM – je typičtější spíš u odběrů na nízkém napětí, nikoliv u velkoodběrů
2. Za rezervovanou kapacitu (u velkoodběrů se jedná zejména o platbu za měsíční a roční rezervovanou kapacitu, případně platba poplatku na podporu obnovitelných zdrojů při malé spotřebě elektrické energie v daném měsíci)
3. Za odebranou/dodanou energii z/do distribuční sítě (u velkoodběrů se jedná zejména za odebranou a dodanou elektrickou komoditu, distribuci elektrické energie, systémové služby, poplatek na podporu obnovitelných zdrojů)

Obvyklým sekundárním cílem při instalaci hybridního systému fotovoltaiky s bateriovým úložištěm je také snížení rezervované kapacity. Z toho důvodu je neznámou v optimalizační úloze také projektovaná hodnota rezervované kapacity roční a měsíční (celkem tedy 13 neznámých proměnných). Paušální platby nemají vliv na úsporu, všechny ostatní náklady závisí na parametrech technologie a dalších neznámých.

Aby bylo možné získat hodnotu nejvyššího odebíraného výkonu pro každý měsíc, je vlastně nutné provést simulaci provozu celého energetického systému v prostředí, kdy nejsou některé/všechny parametry technologií známy. Proto ve výsledné optimalizační úloze nejsou jen malé jednotky nebo desítky neznámých, ale v konečném důsledku se při roční simulaci s hodinovým krokem (celkem 8760 h pro nepřestupný rok) dostáváme na desetitisíce až statisíce neznámých, které software numerické optimalizace musí hledat, aby nejlépe splnil kritérium a zároveň dodržel veškerá omezení daná modelem.

Klíčovou součástí modelu je rovnice svazující energetické toky (dále v rovnicích budeme uvažovat pouze systém bez kogenerační jednotky):

$$e_{odběr}(k) - e_{dodávka}(k) + pv_{norm}(k) \cdot pv_{power} + c_{eff_{vybíjení}} \cdot b_{eff_{vybíjení}} \cdot b_{vybíjení}(k) - \frac{1}{c_{eff_{nabíjení}} \cdot b_{eff_{nabíjení}}} \cdot b_{nabíjení}(k) = e_{požadavek}(k)$$

Kde $e_{odběr}(k)$ [kWh] je odběr ze sítě v čase k , $e_{dodávka}(k)$ [kWh] je neznámá dodávka do sítě v čase k , $pv_{norm}(k)$ je normalizovaná výroba 1 kWp elektrárny [kWh] v čase k , pv_{power} [-] je neznámá proměnná reprezentující celkový špičkový výkon kWp fotovoltaické elektrárny, $c_{eff_{vybíjení}}$ [-] je účinnost konverze DC/AC na měniči, $c_{eff_{nabíjení}}$ [-] je účinnost konverze AC/DC na měniči, $b_{eff_{vybíjení}}$ [-] je účinnost vybíjení baterie DC/DC na výstupu baterie, $b_{eff_{nabíjení}}$ [-] je účinnost nabíjení DC/DC na baterii, $b_{vybíjení}(k)$ [kWh] je neznámá energie vybitá za baterie v čase k , $b_{nabíjení}(k)$ [kWh] je neznámá energie nabitá do baterie v čase k a konečně $e_{požadavek}(k)$ [kWh] je známá požadovaná hodnota elektrické energie, která musí být v danou hodinu k dodána do budovy.

Mezi další klíčové rovnice modelu patří rovnice popisující stav nabití bateriového úložiště v danou hodinu $SOC(k)$ [kWh].

$$SOC(k+1) = b_{ztráty} \cdot SOC(k) + b_{nabíjení}(k) - b_{vybíjení}(k)$$

V této rovnici je $b_{ztráty}$ koeficient popisující samovolné vybíjení bateriového úložiště (např. kvůli provozu battery management systému).

Kompletní výčet rovnic je nad rámec povoleného rozsahu tohoto příspěvku, a proto další rovnice nebudou uváděny. Pro úplnost uvedeme, které další omezení jsou v modelu:

- maximální rychlost nabíjení a vybíjení bateriového úložiště
- minimální stav nabití, maximální stav nabití (kapacita baterie je sama o sobě neznámou)
- relaci mezi maximálním výkonem měniče a maximálním výkonem bateriového úložiště
- matematický zápis měsíční faktury za elektrickou energii v projektovaném případě

Samotné řešení optimalizační úlohy může trvat několik minut na běžném PC. Výsledky z optimalizace budou shrnuty v další části.

PŘÍPADOVÁ STUDIE

Na případové studii bude ukázáno použití nástroje MicrOpt Design (microgrid optimal design) - softwarová aplikace, která řeší právě uvedenou úlohu.

Základním předpokladem pro použití tohoto nástroje je dostupnost hodinových (čtvrthodinových) dat o spotřebě elektrické energie (očistěné o případnou existující lokální výrobu). U velkoodběratelů jsou tato data dostupná dodavateli elektrické energie, čtvrthodinová data jsou na vyžádání na portálu distributora. V případech na nízkém napětí s velkou spotřebou je vhodné profil spotřeby alespoň proměřit např. pomocí neinvazivního klešťového analyzátoru sítě.

V příkladu níže budeme uvažovat nejmenovaného potenciálního investora, který má zájem rozšířit energetický systém o fotovoltaiku a bateriové úložiště. Továrnu má připojenou na vysoké napětí v distribuční oblasti E.ON distribuce ve Zlínském kraji. Jednotlivé položky z faktury za elektrickou energii jsou nutné vyplnit ve vstupním formuláři, aby bylo možné počítat ekonomiku celého opatření.

Dále je ve vstupním formuláři nutné vyplnit celou řadu technických parametrů a omezení týkajících se fotovoltaiky, bateriového úložiště a měniče. Konečně aby bylo možné vypočítávat výši investice, je nezbytné rovněž znát jednotkové ceny technologií. Není překvapením, že se zvyšujícím výkonem instalované technologie se snižují jednotkové náklady na kW nebo kWh.

Z dalších možností je možné ještě nastavit maximální přípustnou dobu návratnosti investice, horní strop investice, maximální hodnotu podílu energie odebrané ze sítě a energie spotřebované objektem, maximální procento přetoků do distribuční sítě z vyrobené energie (důležité kritérium v OPPIK projektech, kde je toto omezení nastaveno na přetoky maximálně 30 % z výroby) a další.

Některá omezení mohou způsobit, že optimalizační úloha nemá řešení, proto je nutné parametry nastavovat obezřetně, aby nástroj dokázal nějaké řešení spočítat. Jako příklad takového omezení lze uvést požadavek, aby nový energetický systém byl nezávislý na distribuční síti (ostrovní provoz se 100% energie lokálně vyrobené), kdy zároveň existuje relativně malý požadavek na horní limit investice a tudíž není možné najít v cenovém limitu takové řešení, které by vedlo na ostrovní provoz.

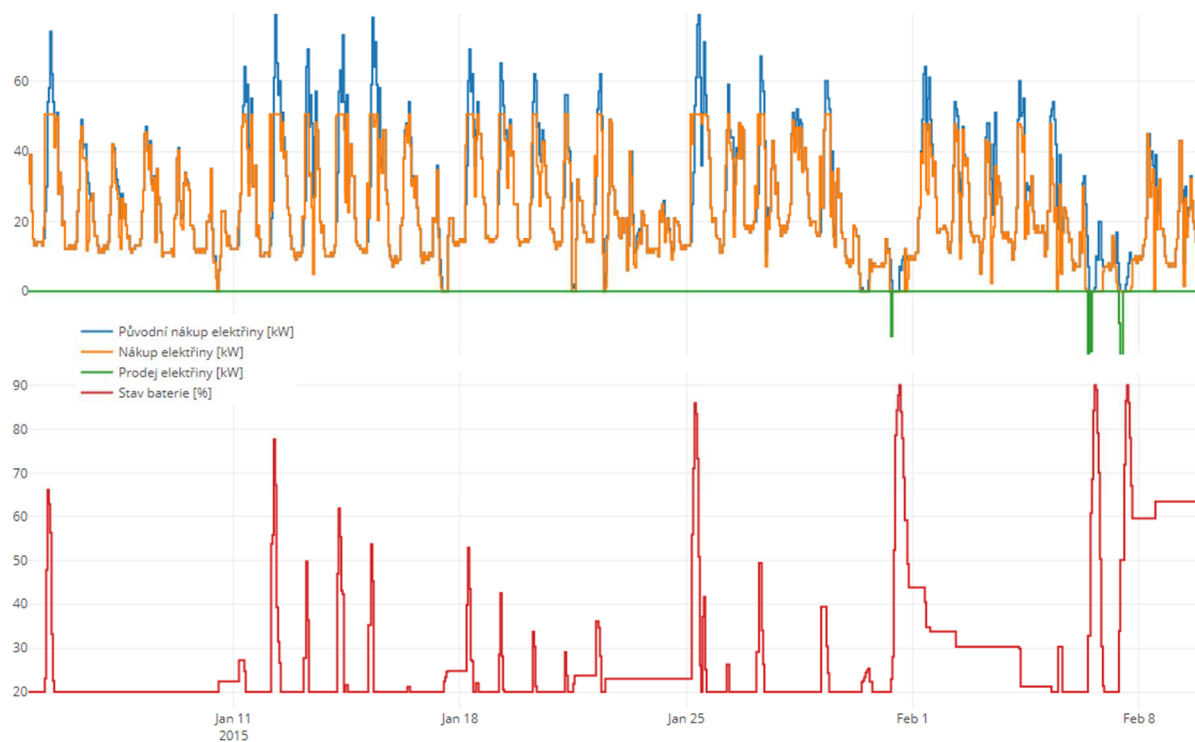
Ukázka vstupního formuláře s kompletním výčtem vstupních parametrů je na Obr. 1.

conf_unnamed_investor				
File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Add-ins Help Tell me what you want to do				
AC110				
	A	J	K	L
1	ID	unnamed_investor		
4	Lokalita	Zlínský kraj		
6	Kritérium	NPV		
8				
9	Elektrina ceny		Baterie	
10	Komodita nákup [Kč/MWh]	1110	Minimální kapacita baterie [kWh]	100
11	Komodita prodej [Kč/MWh]	500	Maximální kapacita baterie [kWh]	500
12	Daň z elektřiny [Kč/MWh]	28.3	Minimální doporučený SOC [% kapacity]	20
13	Činnost OTE [Kč/měs]	4.9	Maximální doporučený SOC [% kapacity]	90
14	Podpora obnovitelných zdrojů přes výkon [Kč/MW/měs]	78289.7	Maximální rychlost nabíjení [%/h]	50
15	Podpora obnovitelných zdrojů přes spotřebu [Kč/MWh]	495	Maximální rychlost vybíjení [%/h]	80
16	Rezervovaná kapacita roční [Kč/MW/měs]	176000	Maximální výkon nabíjení [kW]	200
17	Rezervovaná kapacita měsíční [Kč/MW/měs]	194000	Účinnost měniče [%]	95
18	Použití sítě [Kč/MWh]	39.49	Minimální výkon střídače [kW]	0
19	Systémové služby [Kč/MWh]	93.94	Účinnost nabíjení baterie [%]	96
28				
29	FVE		Omezení	
30	Fotovoltaický panel již instalován [ano/ne]	ne	Návratnost investice (ROI) [roky]	10
31	Minimální špičkový výkon [kWp]	0	Maximální procento energie z dist. sítě [%]	100
32	Maximální špičkový výkon [kWp]	100	Horní strop investice [Kč]	10 000 000
33			Omezení míry přetoků z vyrobené energie solárním panelem [%]	30
34	Ceny technologií		Omezení velikosti baterie vzhledem k velikosti PV panelu [%]	500
35	Baterie 0 - 10 kWh [Kč/kWh]		Nabití baterie ráno před velkou odběrovou špičkou [%]	60
36	Baterie 11 - 50 kWh [Kč/kWh]			
37	Baterie 51 - 150 kWh [Kč/kWh]			
38	Baterie 151 - 500 kWh [Kč/kWh]			
39	Baterie 501 - 10000 kWh [Kč/kWh]			
40	Hybridní měnič 0-10kW			
41	Hybridní měnič 11-50kW			
42	Hybridní měnič 51-150kW			
43	Hybridní měnič 151-500kW			
44	Hybridní měnič 501-10000kW			
45	Dotace na baterie [%]	60		
46	FVE cena 0kWp-10 Kč/kWp			
47	FVE cena 11-50kWp Kč/kWp			
48	FVE cena 51-150kWp Kč/kWp			
49	FVE cena 151-500kWp Kč/kWp			
50	FVE cena 501-10000kWp Kč/kWp			
51	Dotace na FVE [%]	60		
52	Diskontní faktor [%]	1		

Obr. 1 Ukázka vstupního formuláře pro konfiguraci nástroje MicrOpt Design

Výstupem MicrOpt Design nástroje nejen optimální parametry, ale také jsou to kompletní hodinové průběhy pro všechny důležité proměnné v energetickém systému. Na Obr. 2 je možno vidět takové průběhy pro výše uvedeného zákazníka pro zimní období a na Obr. 3 pro letní období. V grafech modrý průběh představuje původní odběrový diagram, oranžově je znázorněna projektovaný průběh spotřeby elektrické energie ze sítě, zeleně projektovaná dodávka elektřiny do sítě a červeně stav baterie v % SOC.

V grafech je vidět ořezání odběrových špiček díky bateriovému úložišti. Z výsledků lze zhruba konstatovat, že optimální výkon měniče je takový, aby dokázal zajistit toto ořezávání špiček (tj. pokud dojde ke snížení ze 75 kW na 30 kW, pak vhodný měnič musí mít výkon alespoň 45 kW). Hodnotu o kolik lze ještě rezervovanou kapacitu snížit, aby to dávalo ekonomický smysl, ale stanovuje algoritmus, což jen zdůrazňuje, že u takto komplikovaného systému všechno souvisí se vším.



Obr. 2 Výstupy MicrOpt Design: grafy s optimálními průběhy – zoom do zimního období



Obr. 3 Výstupy MicrOpt Design: grafy s optimálními průběhy – zoom do letního období

Optimální parametry pro výše uvedené nastavení vychází dle Tab. 1. Je důležité si povšimnout, že výkon měniče se liší od kapacity bateriového úložiště – pro tyto parametry by pomoci

uvedeného měniče bylo možné přes dvě hodiny dodávat energii z plně nabitého bateriového úložiště.

Tab. 1 Optimální parametry vypočítané MicrOpt Design nástrojem

Baterie kapacita	106 kWh
Počet cyklů / rok	132
Měnič výkon	46 kW
FVE výkon	55 kW _p

Výkon fotovoltaické elektrárny obvykle lehce přesahuje typický odběr v průběhu dne, nicméně tato hodnota je velmi citlivá na výši dotace, šířku odběrové špičky v průběhu dne a víkendový provoz.

Dalším výstupem je i ekonomika s výpočtem návratnosti ROI, čisté současné hodnoty NPV v jednotlivých letech a roční úspory nákladů (není v článku uvedeno, protože jsou nejsou uvedené vstupní ceny technologií).

Výstupem je rovněž projektovaná budoucí faktura za elektřinu a s tím související údaje o spotřebě ze sítě v jednotlivých měsících, dodávce do sítě v jednotlivých měsících a rezervované kapacity (viz Tab. 2).

Tab. 2 Projektované spotřeby a rezervované kapacity

Měsíc	Spotřeba ze sítě	Dodávka do sítě	Rez. kap. roční	Rez. kap. měsíční
Leden	17,4 MWh	0,0 MWh	21 kW	40 kW
Únor	11,4 MWh	0,4 MWh	21 kW	37 kW
Březen	10,1 MWh	0,7 MWh	21 kW	32 kW
Duben	4,1 MWh	1,9 MWh	21 kW	15 kW
Květen	3,1 MWh	2,3 MWh	21 kW	8 kW
Červen	1,0 MWh	3,2 MWh	21 kW	0 kW
Červenec	1,1 MWh	3,8 MWh	21 kW	21 kW
Srpen	1,7 MWh	2,9 MWh	21 kW	12 kW
Září	1,8 MWh	1,4 MWh	21 kW	4 kW
Říjen	10,2 MWh	0,6 MWh	21 kW	41 kW
Listopad	12,0 MWh	0,1 MWh	21 kW	43 kW
Prosinec	15,3 MWh	0,0 MWh	21 kW	56 kW
Celkem	89,0 MWh	17,3 MWh	-	-

ZÁVĚR

V článku byl představen datově analytický přístup k dimenzování hybridních energetických systémů s intermitentními zdroji energie a akumulacemi. V případové studii byl představen příklad použití na dimenzování bateriového úložiště, měniče a fotovoltaiické elektrárny pro ukázkového zákazníka s jeho charakteristickým odběrovým diagramem, jeho specifickými vstupními parametry (ceny energií apod.) a požadavky danými dotací OPPIK. Nicméně přístup je mnohem obecnější a lze jej využít pro dimenzování parametrů u více technologií. Z jiných aplikací byl tento nástroj využit pro i) systém který byl navíc osazen technologií power2gas a palivovým článkem, ii) návrh zdrojů a akumulací pro lokální distribuční soustavu, iii) systém navíc osazený ORC jednotkou a další.

Provozní a energetická data jsou mnohdy málo využívána, nicméně pro správný návrh úsporných opatření jsou absolutně nezbytná. Zejména pro velkoodběratele elektrické energie, kteří se dají charakterizovat nějakým standardním odběrovým diagramem a potenciální výše investice do těchto moderních technologií snadno přesáhne mil. Kč, dává velký smysl využít tato data pro optimalizaci návrhu.

Optimální design navržený výše uvedenou metodou vyžaduje rovněž kvalitní systém pro řízení této komplexní technologie. Pro dosažení uvedené ekonomické efektivity je zejména nutné využívat pro rozhodování o nabíjení a vybíjení bateriového úložiště predikce výroby elektrické energie a predikce charakteru odběru energie objektem, což jsou základní součásti nástroje MicrOpt Control založeného na rovněž na principech matematické optimalizace a prediktivního řízení.

ODKAZY

- [1] CERVANTES, J., CHOUBINEH, F. Optimal sizing of a nonutility-scale solar power system and its battery storage. *Applied Energy*. 2018, vol 216, s. 105-115. ISSN 0306-2619
- [2] XIAOHUA, W., et al. Optimal battery sizing of smart home via convex programming. *Energy*. 2017, vol 140, s. 444-453. ISSN 0360-5442
- [3] RODRÍGUEZ, G. et al. Optimal PV and storage sizing for PV-battery-diesel hybrid systems. *Industrial Electronics Society, IECON 2016-42nd Annual Conference of the IEEE*. IEEE, 2016.

VYUŽITÍ TEPELNÝCH ČERPADEL PŘI NÁVRHU BUDOV A PŘÍKLAD Z PRAXE

Ing. Martin Ďuriš, Bc. Jiří Cajthaml

PBA International Prague, s.r.o.

mduris@peterbrett.com, jcajthaml@peterbrett.com

ÚVOD

V současné době je kladen stále větší důraz na snižování energetické náročnosti budov. Požadováno je snížení spotřeb energií nejen během výstavby, ale především během provozu budovy, přičemž je často zdůrazňována potřeba využití přírodních obnovitelných zdrojů energie (podloží, podzemní voda, vzduch). Díky nedávnému rozvoji technologií jsou pro splnění těchto požadavků stále vhodnější tepelná čerpadla jako zdroje tepla i chladu v budovách. Tato zařízení umožňují „přečerpávat“ tepelnou energii jednak v rámci budovy, ale také mezi budovou a venkovním vzduchem, podzemní vodou nebo zemním podložím. Není tedy nutné, jak je v současné době běžné, v přechodných obdobích provozovat současně samostatný zdroj tepla a samostatný zdroj chladu. Tyto zdroje tepla a chladu jsou právě primárně založeny na možnosti využívání tepelných zisků v rámci objektu. Odpadní teplo z chlazení technických místností, zasedaček apod. je využito pro vytápění jiných prostor nebo pro ohřev vzduchu či ohřev vody. V případě nedostatku či přebytku tepla v rámci objektu je možno využít jako zdroj tepelné energie okolní prostředí. Tyto systémy mají několik zásadních výhod – jde o energeticky vysoce účinné řešení úpravy vnitřního prostředí objektu, které je trvale udržitelné s minimálním dopadem na životní prostředí a umožňuje celoročně garantované vnitřní prostředí s možností přesné kontroly teploty a vlhkosti vzduchu. V tomto příspěvku budou popsány základní principy využití těchto zdrojů tepla a chladu se zaměřením na administrativní budovy, včetně příkladu jejich úspěšného použití v praxi.

HLAVNÍ PRINCIPY ŘEŠENÍ VYTÁPĚNÍ A CHLAZENÍ BUDOV TEPELNÝMI ČERPADLY

Koncepce zdroje

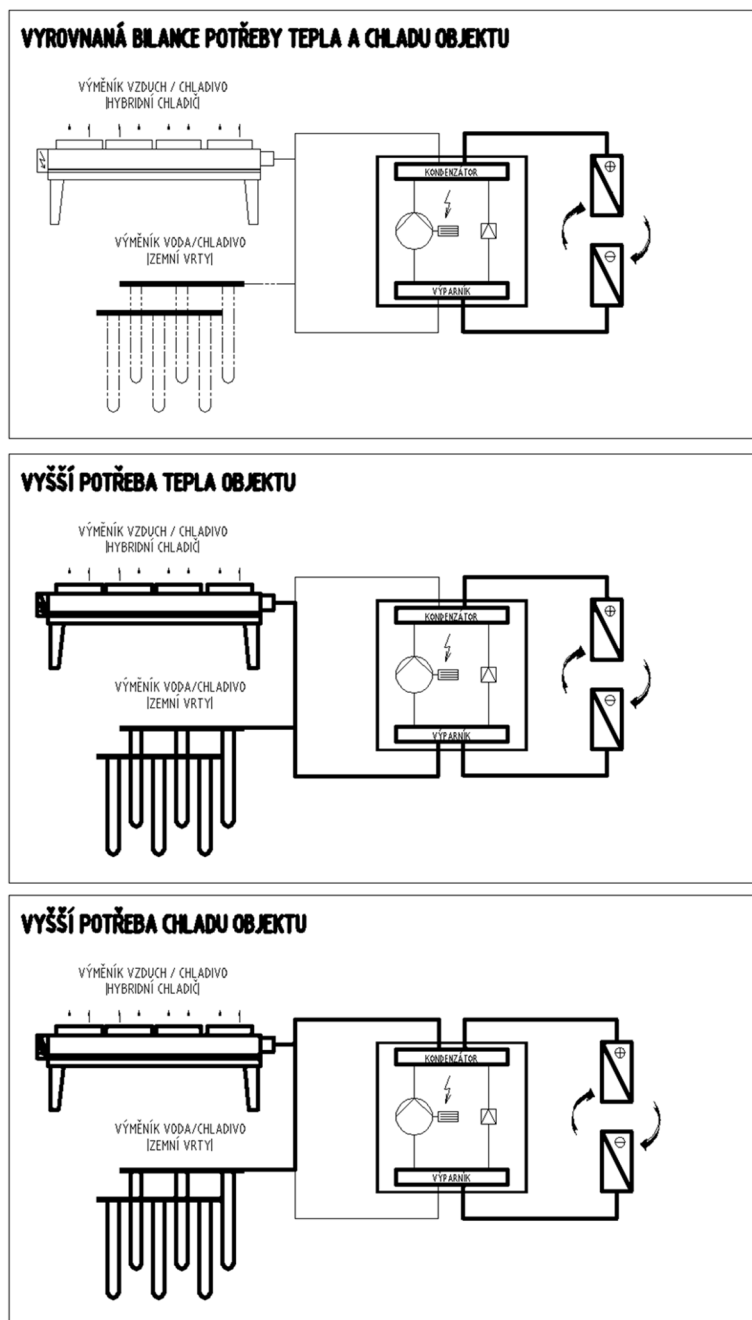
Jako zdroj tepla a chladu lze navrhovat tepelná čerpadla země/voda nebo vzduch/voda, případně jejich kombinace. Volba vhodného řešení závisí na místních podmínkách stavby, především na velikosti pozemku, který lze využít pro umístění geotermálních vrtů, a na geologických podmínkách. V případě vhodných podmínek pak může sloužit jako primární zdroj energie pro budovu geotermální energie z podloží a energie ze vzduchu. Jsou-li tepelná čerpadla využívána jako zdroj tepla a chladu, tj. celoročně, pak využitím energetických vrtů v průběhu celého roku dochází k úplné regeneraci vrtů a tím ke zvýšení efektivity využití podloží. Energetické vrty pak v podstatě slouží jako akumulátor tepelné energie.

Tyto zdroje dokážou s nízkoteplotním systémem vytápění/chlazení dosahovat vysokého sezónního zhodnocení elektrické energie a značně tak přispívají ke snížení energetické náročnosti celé budovy.

V praxi jsou tyto zdroje provedeny jako kaskáda kompresorových jednotek v provedení voda/voda popř. nemrznoucí směs/voda. Nemrznoucí směs se ohřívá či chladí v zemních vrtech zemním podložím či podzemní vodou, případně prouděním okolního vzduchu, pokud nelze zemní vrty použít. Přepínání režimu chlazení/vytápění je řešeno hydraulickým zapojením pomocí regulačních armatur. Hydraulické zapojení je navrženo tak, aby bylo možno využít pasivní chlazení s využitím okolního prostředí (podloží, vzduch) s provozem tepelných

čerpadel jako chladících jednotek a také využít odpadní teplo z objektu pro vytápění. Protože v administrativních budovách je často značná potřeba chladu pro provoz serveroven, při použití tepelných čerpadel lze chlazení serverů napojit na centrální systém chlazení objektu a využít odpadního tepla ze serverů pro vytápění objektu v zimním období, nebo pro možnost volného chlazení vodou z energetických vrtů v letním období.

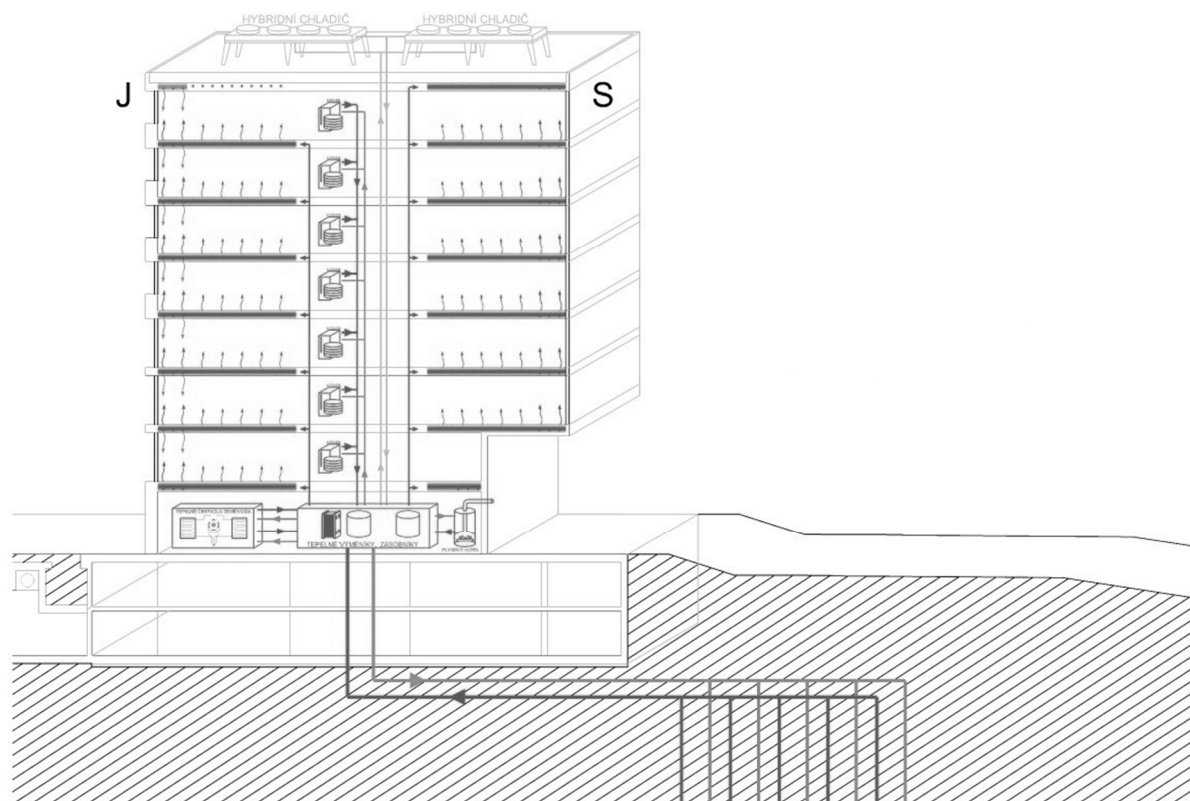
K dalšímu zefektivnění využití geotermální energie lze využít i základovou desku a obvodové suterénní stěny pro jímání energie z podloží. Při ploše základové desky 1000 m² se jedná o dalších cca 12-25 kW nízkopotenciální energie využitelné pro volné chlazení, nebo vytápění pomocí tepelného čerpadla.



Obr. 1 Principiální schéma zapojení zdroje tepla a chladu s využitím geotermální energie a hybridních chladičů.

Principiální schéma zapojení zdroje tepla a chladu s využitím energetických vrtů a odpadního tepla objektu pro vytápění (bez všech dalších provozních armatur, expanzních zařízení, úpraven vody a dalších provozních zařízení bez vlivu na princip řešení je zobrazeno na Obr. 1.

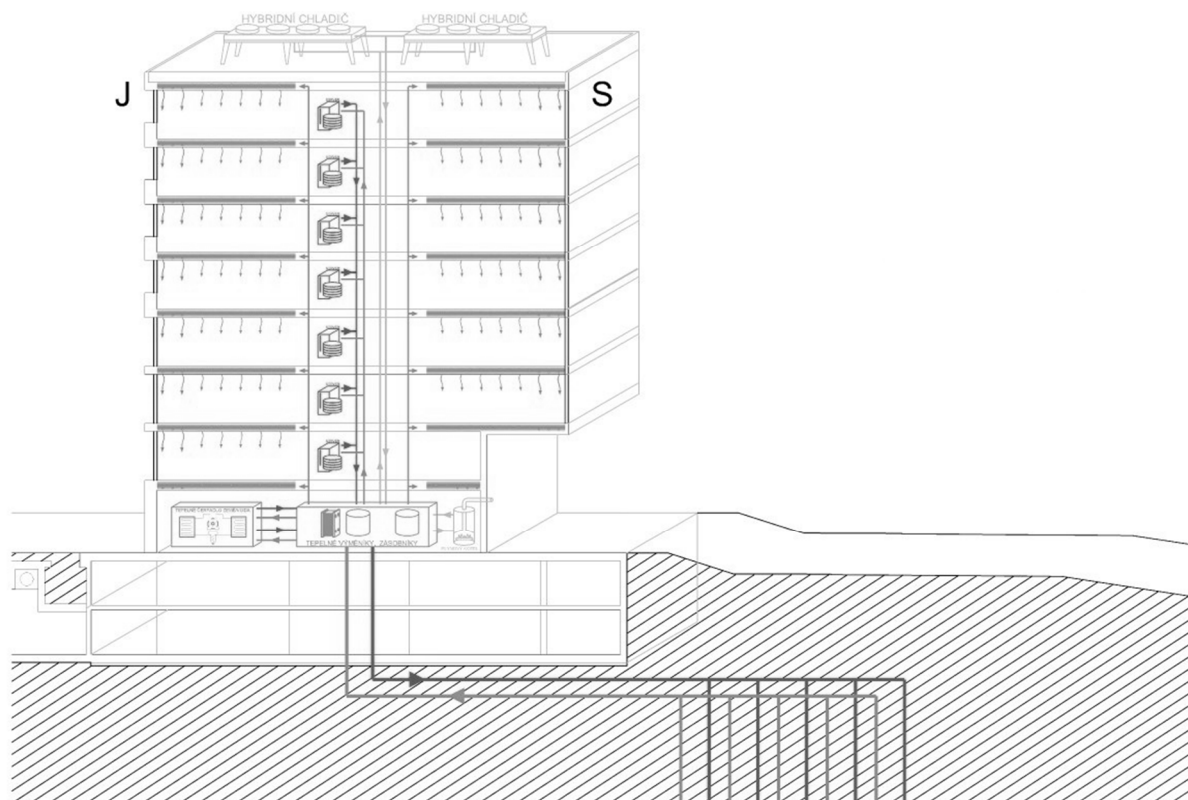
Tepelná čerpadla je možno kombinovat se zdroji pokrývajícími špičkové potřeby tepla a chladu nebo sloužícími jako záloha při výpadku energetických vrtů – např. plynová kotelna a hybridní suché chladiče, viz Obr. 2 a 3. Konkrétní způsob provozu závisí na místních podmínkách a využitelnosti geotermální energie.



Obr. 2 Zimní provoz – využívání tepelných zisků ze serveroven a osluněné jižní fasády, doplňková energie je dodávána z vrtného pole a z plynové kotelny.

Použití vhodných koncových elementů

Díky využití nízkopotenciálního tepla jsou tepelná čerpadla jako zdroj tepla a chladu vhodná ke kombinaci se sálavými systémy jak pro vytápění, tak chlazení. Pro tyto velkoplošné systémy s velkou teplosměnnou plochou není potřeba vysokých teplot na vytápění a naopak nízkých teplot na chlazení a vytvářejí příjemné prostředí bez nepříjemných lokálních ochlazení/přehřátí místností. Toto řešení přináší, kromě vysokého komfortu pro uživatele budovy, i energeticky velice výhodný provoz. Otopný i chladicí systém jsou uloženy ve stropních deskách či stěnách (tzv. aktivace betonového jádra) s okrajovou zónou pro rychlou reakci, v případě potřeby lze navrhnout doplňková otopná tělesa či konvektory před prosklením. Ilustrační půdorys a příčný řez s vyznačením rozsahu aktivace betonového jádra (potrubí v cca třetině až polovině tloušťky desky) a dynamické okrajové zóny (potrubí při spodním povrchu desky) jsou na Obr. 4.



Obr. 3 Letní provoz – volné chlazení nebo chlazení kondenzátorů kompresorových jednotek vrtným polem. Ve dnech s extrémní potřebou chladu jsou spolu s vrtným polem využívány i hybridní chladiče pro odvod přebytečného tepla. Část odpadního tepla z kondenzátorů kompresorových jednotek je využita pro dohřev vzduchu po řízeném odvlhčování.

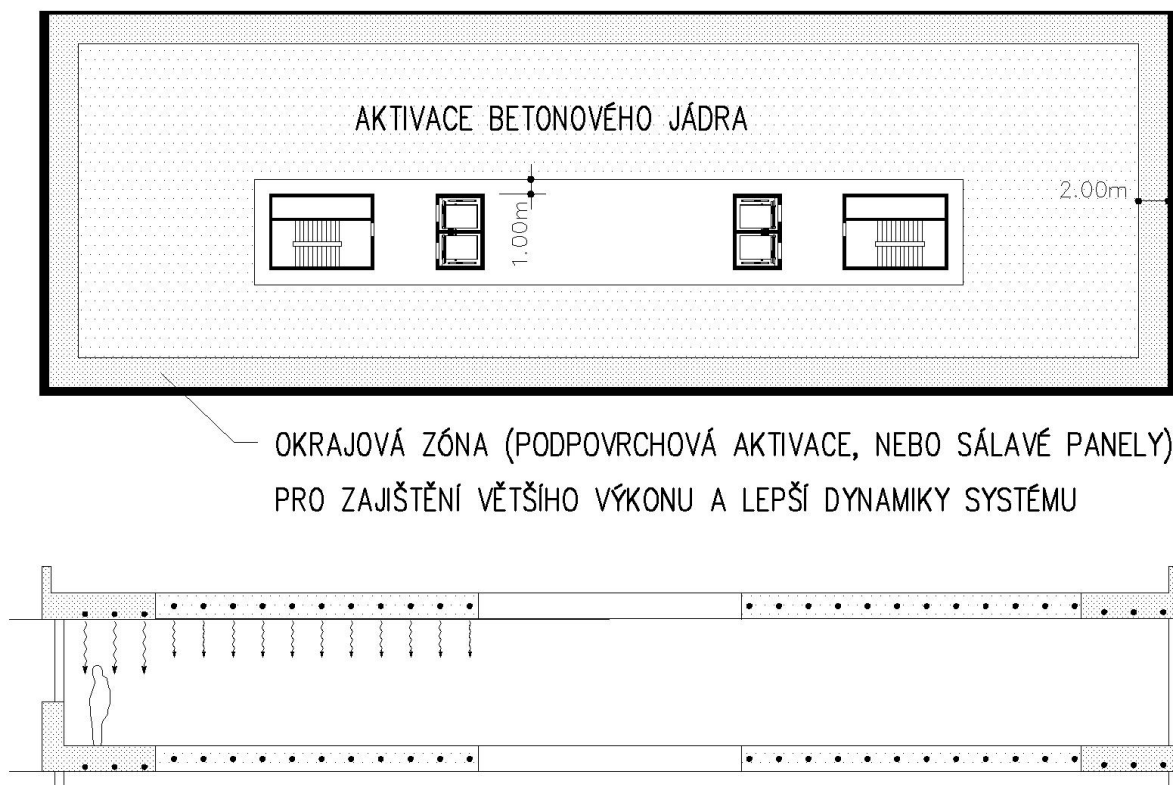
Typické řešení vytápění jednotlivých typů prostor je potom následovné:

- Administrativní plochy – pouze sálavé vytápění shodné se systémem chlazení s okrajovou zónou pro rychlou reakci, nebo návrh doplňkových otopných těles či konvektorů před prosklením.
- Vstupní haly a recepce – podlahové vytápění lokálně doplněné otopnými tělesy
- Sklady – otopná tělesa
- Hygienická zařízení a šatny – otopná tělesa
- Datové místnosti – bez vytápění
- Technické prostory – otopná tělesa (v případě potřeby)

Typické řešení chlazení jednotlivých typů prostor je následovné:

- Administrativní plochy – chlazení pomocí aktivace betonových stropních konstrukcí, lokálně s možností doplnění doplňkových sálavých panelů, noční předchlazování konstrukcí přirozeným větráním.
- Jednací místnosti – aktivace betonových konstrukcí případně v kombinaci s cirkulačními bezkondenzačními FCU jednotkami, alternativně podvěšenými sálavými panely.
- Vstupní haly a recepce – hala přirozené větrání, recepce lokální cirkulační bezkondenzační FCU jednotky

- Datové místnosti – vlastní systém chlazení pomocí cirkulačních FCU jednotek napojených na objektové chlazení, zálohování systému samostatnými SPLIT jednotkami.
- Technické prostory – dle požadavků technologie



Obr. 4 Typický rozsah aktivace betonového jádra a dynamické okrajové zóny

PŘÍKLAD Z PRAXE: NOVOSTAVBA BUDOVY ČSOB V PRAŽSKÝCH RADLICÍCH

Naše společnost PBA International Prague je autorem projektu vytápění, chlazení a vzduchotechniky pro novou budovu centrály ČSOB v Praze 5 (tzv. ČSOB SHQ). Jako zdroj informací pro tento text byl použit i článek společnosti GEROTop, který je k dispozici na jejich webových stránkách www.gerotop.cz, na jehož vzniku se naše společnost podílela.

Projekt zdroje tepla a chladu využívající geotermální energii u nového sídla společnosti ČSOB je svým rozsahem jistě největší v rámci České republiky a jedním z největších v rámci celé střední Evropy. Projekt vrtů na akci ČSOB SHQ zároveň ukázal, že pro administrativní objekty s vysokými požadavky na chlazení mají tepelná čerpadla v kombinaci s vrty smysl.

Základní údaje k nové budově ČSOB

Hrubá plocha nadzemních podlaží 27 386 m²

Celková hrubá užitná plocha 67 388 m²

Obestavěný objem 330 921 m³

Počet uvažovaných osob v budově ±2400

Počet vrtů 179

Celkový potřebný chladicí výkon 2680 kW

• Vnější zisky	513 kW
• Vnitřní zisky	750 kW
• Celkový chladicí výkon pro větrání	1084 kW
• Chlazení tech. m. slaboproudu	335 kW

Celkový potřebný tepelný výkon 1330 kW

• Potřebný tepelný výkon na vytápění	695 kW
• Potřebný tepelný výkon na větrání	770 kW
• Potřebný tepelný výkon na zvlhčování	340 kW
• Potřebný tepelný výkon pro přípravu TV	100 kW

Popis řešení

Při návrhu budovy bylo, vzhledem k požadavku klienta na vysoký komfort uživatelů budovy, zvoleno použití velkoplošných sálavých systémů tepla/chladu s velkou tepelnou akumulací, které jsou schopny rapidně snížit výkonové špičky zejména v letních měsících, tzv. aktivace betonového jádra BKT. Jako zdroj energie pro daný systém se jako nejvhodnější jevílo použití tepelných čerpadel země/voda.

Po definitivním rozhodnutí investora pro variantu geotermálních vrtů následovaly další podrobnější simulace a výpočty, do kterých byly v oblasti simulace chování budovy zapojeni i experti z pražského ČVUT. Tým doc. Matušky na UCEEB ČVUT vypracoval modely chování tepelných čerpadel a BKT. Byla provedena optimalizace předpokládaného provozu a ověření potřeby náhradních zdrojů tepla a chladu stejně jako možnosti využití volného chlazení přímo z vrtů. Samostatnou studií byly ověřeny parametry tepelné pohody v kancelářích při akumulacím způsobu vytápění a chlazení.

Vrtné pole s geotermálními vrty bylo koncipováno pro akumulacní způsob využívání s monitorováním provozních teplot i energií v systému. Pole bude provozováno jako jakýsi velký podzemní akumulátor, který bude sezónně nabíjen teplem (maření odpadního tepla při chlazení, pasivní chlazení) a poté vybíjen odběrem tepla při vytápění pomocí tepelných čerpadel. Zařízení je navrženo jako monovalentní zdroj vytápění a bude schopno přenášet i výkonové špičky v topné sezóně. Proto nebylo nutné doplňovat systém o plynovou kotelnu ani o její přípravu pro budoucí osazení. Veškerá důvěra na zajištění tepelné pohody je vložena v technologii tepelných čerpadel.

Požadovaný chladicí výkon v letním období dvakrát převýšil požadovaný výkon na vytápění, což je u moderních administrativních budov běžné. Dimenzovat geotermální vrty na přenášení špičkových výkonů pro chlazení nebylo s ohledem na prostor reálné a hlavně by nebylo ekonomické. Proto byly geotermální vrty pro tropická letní období doplněny o hybridní chladicí věže, odvádějící odpadní teplo na kondenzátorové straně kompresorových jednotek. Jejich provoz je uvažován zejména v době teplotních špiček a jako záložní zdroj pro odvod tepla. Drtivá většina energie chlazení však bude pokryta pomocí vrtů. Systém předpokládá dvě teplotní úrovně pro vytápění i chlazení, nízkoteplotní vytápění pro BKT a vyšší teploty pro otopná tělesa a vzduchotechnické jednotky, podobně vysokoteplotní chlazení pro BKT a běžné chlazení pro vzduchotechniku a doplňkové chlazení. Tento koncept spolu s přečerpáváním tepla a chladu mezi akumulacími zásobníky v budově i polem vrtů umožňuje maximálně efektivní výrobu tepla a chladu s minimální spotřebou elektrické energie.

Hlavní provozní stavy budovy

Zimní provoz s využíváním odpadního tepla objektu a energie podloží k vytápění objektu, ohřevu a vlhčení větracího vzduchu pomocí kompresorových jednotek.

Letní provoz s využíváním energie podloží a chladicí věže k odvodu tepelné zátěže z objektu pomocí kompresorových jednotek.

Přechodné období – využívání pouze energie podloží k volnému chlazení objektu pouze vodou ochlazenou v energetických vrtech, využívání nočního provětrávání objektu k akumulaci chladu do konstrukcí, provoz kompresorových jednotek pouze pro přečerpávání energie v rámci objektu bez využití podloží.

Monitoring a optimalizace systému

Návrh systému primárního okruhu tepelných čerpadel, potažmo návrh samotných tepelných čerpadel jakožto zdroje tepla a chladu vychází vždy z určitých předpokladů (počet osob, tepelná ztráta, tepelné zisky, uvažovaný provoz apod.). Tyto předpoklady se ovšem od reálného stavu vždy více či méně liší, a tím mohou systém vyvést z rovnováhy. Proto je nutné u systémů tohoto rozsahu zajistit, aby fungovaly co možná nejefektivněji a nejhospodárněji a jejich ekonomická návratnost byla co nejkratší. Proto projektová dokumentace předepsala zřízení monitorovacího systému, který bude měřit a následně ukládat data (energie, teploty) v určitém časovém intervalu. Zjištěná data z předchozího roku poté povedou k optimalizaci provozu technologie v roce následujícím, zjednodušeně řečeno: bude známo, kdy je možné do vrtů ukládat více tepla při chlazení, protože se teploty neblíží hraničním teplotám, případně naopak. Vzhledem k bezpečnému návrhu a informovanosti o teplotách podloží pod objektem bylo v rámci celého vrtného pole vybráno celkem 16 referenčních vrtů. Tyto referenční vrty budou sloužit pro měření teplot podloží ve 4 výškových horizontech. Referenční vrty budou vybaveny teplotními čidly po výšce vrtu v předepsaných hloubkách. Kabele od čidel budou napojeny vždy do datové sběrnice příslušného rozdělovače/sběrače. Teploty se opět budou zaznamenávat do systému monitorovacího zařízení MaR.

VYUŽITÍ TEPELNÝCH ČERPADEL VZDUCH-VODA V PANELOVÉM DOMĚ - BARRANDOV

Ing. Josef Fárka¹, Ing. arch. Alois Frühauf²

¹energetický specialista – Energo – JoFa s.r.o.

²projektant – ABDF – arch.ateliér

farka.j@energo-jofa.cz, abdf@atlas.cz

ANOTACE

Na Barrandově stojí 8 podlažní panelový dům s jedním podzemním podlažím s 32 b.j. a s ateliérem v suterénu, který byl vytápěn z blokové kotelny. V domě byla výměňková stanice, teplá voda byla připravována elektrickými bojlerů v každém bytě. V minulém období si SVJ vyměnilo okna, vstupní dveře a balkonové dveře. V roce 2015 začala příprava na zateplení obleku a to jak podzemní části, tak i nadzemní části včetně střechy. Zároveň byla zahájena příprava odpojení od CZT a využití tepelných čerpadel vzduch – voda od společnosti Stiebel Eltron a to jak na vytápění, tak na přípravu teplé vody. Na zateplení objektu byla přiznána dotace ze SFŽP. Provoz tepelných čerpadel byl spuštěn na jaře roku 2017.

ÚVOD

Obytný panelový objekt ze 70. let minulého století, postaven systémem OP1-11, na kterém byly prováděny stavební a technické práce je na pozemku č. 1020/60, katastrální území Hlubočepy (728837), obec Praha (55478). Vlastníkem je **Společenství vlastníků jednotek, Renoirova 622**, zastoupená pověřeným vlastníkem: **Stavebním bytovým družstvem POKROK**. V bytovém domě je 32 bytových jednotek a v suterénu jeden ateliér.



Obr. 1 Obytný panelový dům Renoirova 622/5, Praha 5

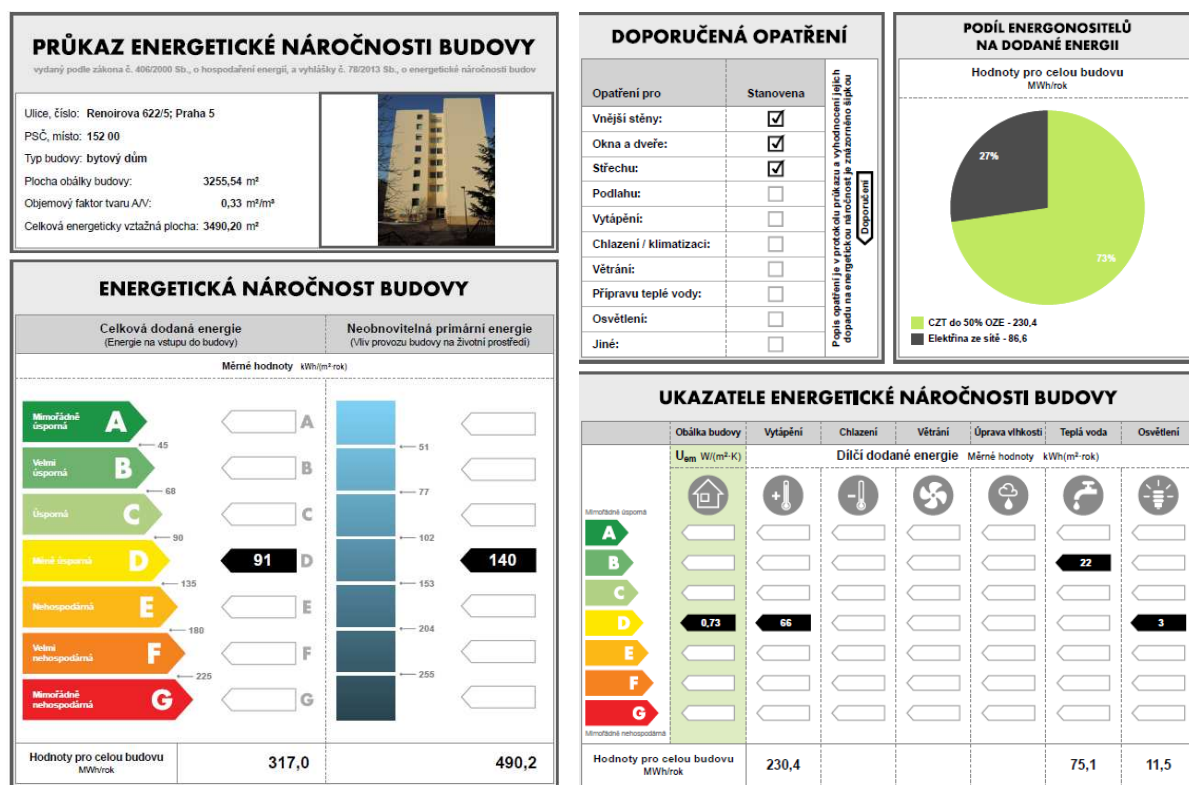
STAV PŘED ZATEPLENÍM A VÝMĚNOU ZDROJE

V roce 2010 byla vyměněna okna a vstupní dveře za plastová okna a dveře s hodnotou součinitele prostupu tepla $U = 1,2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Stávajícím zdrojem tepla pro vytápění byla bloková plynová kotlen na zemní plyn, topná voda se jmenovitými parametry 90/70 °C, která je kvalitativně regulována podle venkovní teploty, je přiváděna topným kanálem do technického prostoru v suterénu. Otopné plochy v jednotlivých vytápěných prostorech tvoří litinové radiátory typu KALOR. Tělesa jsou opatřena regulační ventily s termostatickými hlavicemi. Tělesa mají topný výkon cca 188 kW – pro původní stav objektu bez zateplení, byla snížena jmenovitá teplota vody na 60/50 °C. Teplá voda byla připravována v jednotlivých bytech pomocí elektrických ohřevů.

Obvodová stěna nadzemní je ve stávajícím stavu v systému OP1-11 ze železobetonu s 70 mm polystyrénu o celkové tl. 300 mm s $U = 0,532 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, u stěny suterénní je tl. 250 mm s polystyrénem 50 mm s $U = 0,705 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, stávající střecha má $U = 0,346 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Vypočtené tepelné ztráty jsou 110,6 kW. Pro výpočty na základě vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budovy byl použit program PROTECH a stávající projektová dokumentace.

Energetická náročnost budovy – původní stav:

Plocha obálky budovy je 3 255,54 m², celkový objem budovy je 9 772,3 m³,
Objemový faktor A/V-0,33 1/m, Celková energeticky vztažná plocha je 3 490,2 m²



Obr. 2 PENB – stávající stav - obytný panelový dům Renoirova 622/5, Praha 5

SOUHRN PODMÍNEK ÚSPORY

Postupně dochází ke snižování energetické náročnosti objektů. V souvislosti s touto činností jsou upravovány některé normy a nařízení. V roce 2000 vyšel nový zákon o hospodaření energií pod číslem 406/2000 Sb.. Do dnešní doby prošel řadou novel. V roce 2007 vyšla první

vyhláška, která certifikovala budovy a určovala jejich energetickou náročnost (č.148/2007 Sb.). Následně po úpravě zákona č. 406/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů byla vydána nová vyhláška č.78/2013 Sb. o energetické náročnosti (***jak zpracovat Průkaz energetické náročnosti budov – dále PENB***). V rámci dotačních programů na úspory energie vznikl při Zelené úsporám i v roce 2015 dotační program na ***Snížování energetické náročnosti stávajících bytových domů v Praze***. U panelových domů v Praze se jedná především o zateplení těchto objektů. U výměny tepelných zdrojů jsou dána jasná pravidla na snižování emisí, a tudíž navržený záměr v době podání žádosti o dotace nebylo možné využít (přechod z CZT na tepelná čerpadla).

Žádost o dotaci na zateplení byla podána v září 2015 a byla na základě doplňků několikrát upravována. V roce 2016 došlo k zateplení objektu následně pak i k výměně tepelného zdroje. Dotace byla po realizaci zateplení SFŽP vyplacena ve prospěch Společenství vlastnictví jednotek Renoirova 622.

Pro dotaci bylo nutné předložit PENB stávajícího stavu, nového stavu a krycí listy, které zpracoval energetický specialista s pomocí programu PROTECH na základě stávající a nové projektové dokumentace.

Výpočty byly provedeny pro podmínky Praha (Karlovy) pro venkovní teplotu -13 °C, 225 otopných dnů, v n.v. 200 m, průměrné roční teplotě 4,2 °C v době vytápění.

Tab. 1 ČHMÚ - teplota vzduchu ve stanici Ruzyně.

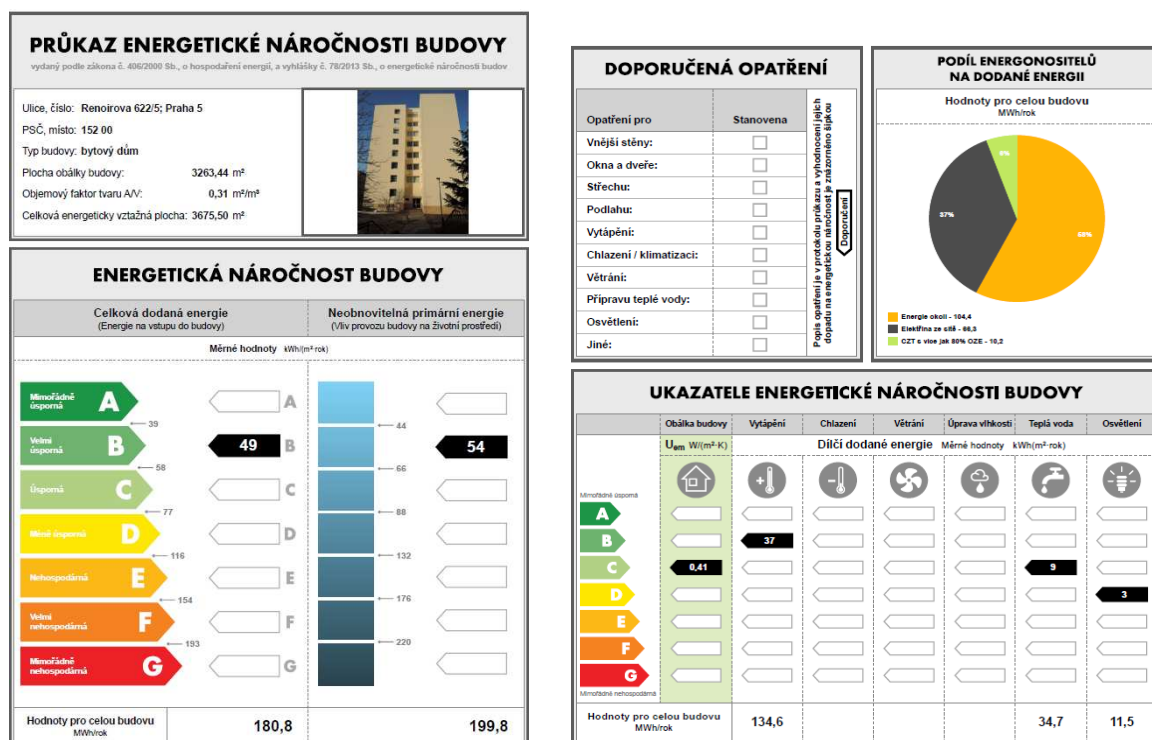
teplota °C	teplota ovzduší ve st. C										stanice Praha - Ruzyně			
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	za rok	Odchylka od 61-90
1961-1990	-2,4	-0,9	3,0	7,7	12,7	15,9	17,5	17,0	13,3	8,3	2,9	-0,6	7,9	0,0
1998	0,4	3,6	3,8	10,0	14,2	17,2	17,0	17,6	12,7	8,5	0,6	-0,7	8,7	0,8
1999	0,5	-1,3	4,9	9,0	14,2	15,3	18,8	17,3	16,8	8,4	2,1	0,7	8,9	1,0
2000	-1,1	3,1	4,1	11,0	15,6	17,9	15,6	19,0	13,5	10,6	5,2	0,8	9,6	1,7
2001	-1,6	0,9	3,8	7,2	14,4	14,3	18,3	18,6	11,7	11,8	2,3	-2,1	8,3	0,4
2002	0,1	4,3	4,6	8,2	15,4	17,6	18,8	19,3	12,7	7,7	4,3	-2,0	9,3	1,4
2003	-1,6	-3,4	4,6	8,1	15,3	20,1	19,1	21,1	14,3	5,5	4,5	-0,1	9,0	1,1
2004	-3,4	1,8	3,6	9,5	11,9	15,8	17,7	19,1	14,0	9,5	3,7	0,0	8,6	0,7
2005	0,8	-3,1	2,0	10,1	14,0	16,5	18,5	16,6	15,0	9,9	2,6	-0,4	8,5	0,6
2006	-5,3	-2,0	1,2	8,9	13,5	17,7	22,4	15,8	16,7	10,8	6,0	3,3	9,1	1,2
2007	4,2	3,7	5,9	11,7	15,1	18,6	18,7	18,3	12,4	8,1	2,1	0,2	9,9	2,0
2008	2,2	3,5	3,7	8,2	14,1	17,7	18,5	18,2	12,7	8,6	4,6	1,0	9,4	1,5
2009	-3,6	-0,3	4,1	13,0	14,2	15,1	18,6	19,6	16,0	8,0	6,4	-0,8	9,2	1,3
2010	-4,4	-1,6	3,7	9,0	11,8	17,2	20,9	17,7	12,3	6,8	4,8	-5,2	7,8	-0,1
2011	-0,9	-1,2	4,8	11,5	14,2	17,6	16,8	18,6	15,6	8,7	2,9	2,9	9,3	1,4
2012	1,0	-4,3	6,4	9,1	15,2	17,5	18,6	19,4	14,1	7,6	4,8	-0,4	9,1	1,2
2013	-1,2	-1,0	-0,7	8,8	12,0	16,2	20,2	18,2	12,5	9,1	4,3	1,4	8,3	0,4
2014	0,6	2,7	7,0	10,9	12,3	16,5	19,8	16,5	14,8	10,7	6,0	2,4	10,0	2,1
2015	1,8	0,5	4,9	8,3	13,2	16,3	20,9	22,4	13,8	8,4	6,7	5,2	10,2	2,3
2016	-0,3	3,2	3,7	8,2	14,1	17,7	19,4	18,5	17,4	8,2	3,0	0,6	9,5	1,6
2017	-5,2	1,7	6,9	7,7	14,4	18,8	19,3	19,3	12,5	10,5	4,5	1,6	9,3	1,4

REVITALIZACE PANELOVÉHO DOMU

Obvodová stěna nadzemní je v novém stavu v systému OP1-11 ze železobetonu s 70 mm polystyrénu o celkové tloušťce 428 mm + zateplení 120 mm + silikonová omítka EPS 70F – $U = 0,205 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, u stěny suterénní je tl. 378 mm s polystyrénem 50 mm + zateplení 120 mm vytlačovaným polystyrénem + silikonová omítka s $U = 0,206 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, stávající střecha + zateplení EPS 100S s $U = 0,117 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Vypočtené tepelné ztráty jsou 88,3 kW. Pro výpočty na základě vyhlášky č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budovy byl použit program PROTECH a nová projektová dokumentace.

Energetická náročnost budovy – původní stav:

Plocha obálky budovy je 3 263,44 m², celkový objem budovy je 10 396,6 m³,
Objemový faktor A/V-0,31 1/m, Celková energeticky vztažná plocha je 3 755,5 m²



Obr. 2 PENB – nový stav - obytný panelový dům Renoirova 622/5, Praha 5

Výměna zdroje vytápění a přípravy teplé vody probíhala následovně. Po výpočtu, že v samostatné místnosti v suterénu, ve stávající nepoužívané prádelně, bylo osazeno 6 ks tepelných čerpadel (T.Č.) vzduch – voda Stiebel Eltron, typ WPL 23E – vnitřní provedení, se jmenovitým výkonem 15,73 kW, tedy instalovaný výkon 94,38 kW. Společnost dává záruku 5 let, s poplatkem 10 let na T.Č. V sousední místnosti, stávající nepoužívané žehlárně byly osazeny 4 ks akumulčních nádob na teplou vodu, každá o objemu 1000l, typ SBB 1000WP SOL. Výfuky od jednotlivých T.Č. byly zaústěny do nově proražených otvorů jižní fasády.

Tepelná čerpadla vzduch – voda typu WPL 23 E jsou opatřena mezivstříkováním chladiwa díky němuž je za nízkých teplot dosaženo vysokého otopného výkonu. I při teplotě -20 °C je dosahováno výstupní teploty až 60 °C. Chladičový okruh je hermeticky uzavřen, kontrola těsnosti je prováděna ve výrobě. Tepelná čerpadla jsou naplněna chladičem R407C. Dvojitě tlumení vibrací kompresoru snižuje hladinu akustického hluku. Systém je vybaven integrovaným elektrickým nouzovým ohřevem pro monovalentní topný režim. Ten však nebude zapojen a používán. V první variantě bylo dohodnuto, že bivalentní zdroj bude CZT. Vypočtené tepelné ztráty po zateplení, jak bylo uvedeno, jsou cca 88 kW, instalovaný výkon T.Č. je cca 94 kW. Lze tedy předpokládat, že k této situaci nedojde. Na základě dlouhodobých sledování viz Tab. 1 je vidět, že spíše dochází ke zvyšování zimních teplot ke kladným hodnotám.



Obr. 3 Nasávání a výfuk tepelných čerpadel na fasádě Renoirova 622/5, Praha 5



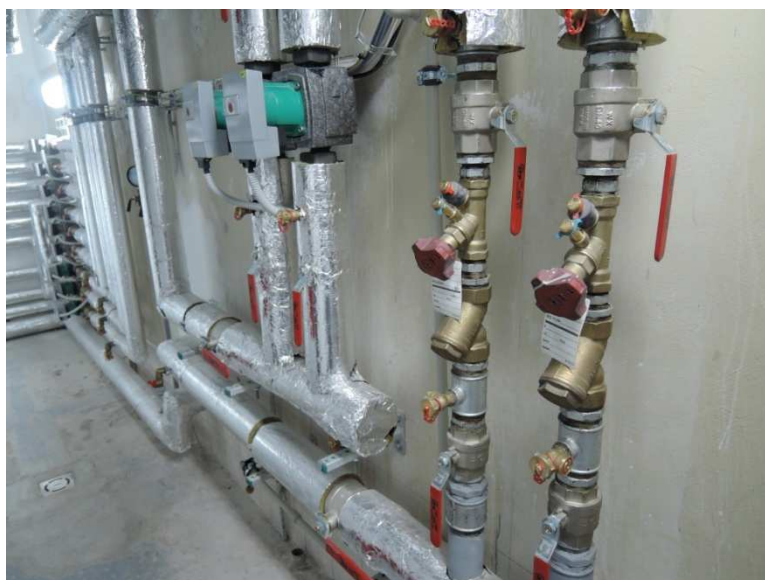
Obr. 4 Tepelná čerpadla WPL 23 a nádrže na teplou vodu SBB 1000WP SOL

K dohodě mezi SVJ a Veolia Energie (dodavatel tepla na levém břehu Vltavy) však nedošlo. Dodavatel tepla trval na plném výkonu v původní ceně, což bylo po rekonstrukci pro odběratele SVJ nevýhodné. Veolia odstoupila od smlouvy bez jakýchkoliv finančních nároků z jejich strany. Výpověď jsme přijali, protože jsme se rozhodli bivalenci zajistit pomocí elektrokotle a v případě potřeby dotápět elektrickou energií. Jedná se o pár dní v průběhu zimy (v loňském roce, kdy zima byla průměrná, jsme spotřebovali na dohřev 8,5 GJ). Máme spočítáno, že dotápění elektrickou energií vyjde ještě levněji než bivalence od Veolie.

Vzhledem k tomu, že ateliér měl na sebe napsán elektrický třífázový jistič 25 A, ten byl převeden na společenství a jako případný bivalentní zdroj byl doplněn výměník a 28 kW elektrický kotel Protherm Raj/Ray 28 K. Z provozu je vidět, že k jeho použití pravděpodobně nedojde, nebo jen minimálně.



Obr. 5 *Elektrokotel*



Obr. 6 *Rozvody rozdělovač tepelná čerpadla WPL 23*

VÝSLEDKY

Tab. 2 uvádí teoreticky vypočtené úspory nasazením tepelných čerpadel. Další rozbor v textu se zabývá skutečnými hodnotami za 9 měsíců roku 2017.

Tab. 2 *Výsledky vypočtených hodnot*

	Stávající stav	Nový stav	Procenta úspory
Tepelné ztráty	110,6 kW	88,3 kW	20,2 %
Celkem energie	317,0 MWh/r	180,8 MWh/r	56,0 %
Neobnovitelná primární energie	490,2 MWh/r	199,8 MWh/r	52,2 %

V letech 2009 - 2015 se spotřeba tepla na vytápění pohybovala mezi **615 GJ – 871 GJ** podle klimatických podmínek v zimě, **vyjádřeno finančně mezi 430.000,-Kč – 515.000,-Kč, cena za jednotku GJ dnes činí přes 600,- Kč.** V této částce není uvedena energie na přípravu teplé vody, kterou si každý hradil v rámci elektrické energie samostatně a nelze ji samostatně vyčíslit.

Za 9 měsíců roku 2017 je spotřebováno 279 GJ z tepelných čerpadel a 8,5 GJ z bivalentního zdroje, tedy celkem **287,5 GJ, finanční odhad za celý rok je cca 200.000,-Kč, Cena za jednotku GJ vychází na 254 Kč**

Za 9 měsíců roku 2017 je spotřebováno **na ohřev vody 176 GJ**, takže roční spotřeba v Kč oproti ohřevu elektrickými bojlerů bude cca poloviční a to cca **60.000,-Kč**, navíc je teplá voda k dispozici (to ocení lidé, kteří mají v bytě bojler – Barrandov)

Náklady na vytápění a ohřev vody jsou mnohem nižší, ale do ekonomického zhodnocení je třeba započítat původní investici. Náklady činily 2,500.000,-Kč, návratnost je spočítána cca na 8 let.

ZÁVĚR

Zkušenosti z provozu – byty se nepřetápí, topí se méně, hlavně topí se, kdy chce zákazník. Teplá voda je k dispozici nepřetržitě, díky blokové kotelně se snížily emise v okolí bytového domu a vzhledem k odběru energie ze vzduchu nedochází ke značnému navýšení emisí ani u dodavatele elektrické energie. Hlučnost z tepelných čerpadel není majiteli bytů vůbec vnímána.

Úspora se v prvním roce provozu pohybuje mezi 53,4 až 64,8 % energie, což je způsobeno jednak zateplením objektu, jednak změnou tepelného zdroje.

Podrobnější výpočet bude vhodné provést až po dvou letech provozu. Je však vidět, že došlo ke zhodnocení bytů – zateplení a výměna tepelného zdroje snížila v jednotlivých bytech roční náklady na vytápění a přípravu teplé vody. Bude možné snížit i příspěvek do fondu oprav a tím se sníží celkové náklady na bydlení.

Navržené opatření zateplení objektu s dotací od SFŽP a výměna tepelného zdroje v panelovém domě je efektivní.

LITERATURA

- [1] Ing. arch. Alois FRÜHAUF: *Projektová dokumentace – stávající stav a nový stav – Revitalizace panelového domu*, 2015
- [2] Ing. Andrea KOPPOVÁ: *Referát pro družstvo Pokrok - tepelná čerpadla 01/2018*
- [3] Ing. arch. Alois FRÜHAUF: *Radost z proměny paneláku – Pěkné bydlení 03/17*
- [4] Ing. Josef FÁRKA: *Zpracované podklady pro NZÚ 2015-17*
- [5] Vyhláška MPO č.78/2013 Sb.
- [6] Podklady k NZÚ 2015 – bytový dům

Děkuji Ing. arch. Alois FRÜHAUFOVI za projektanta a paní Ing. Andrea KOPPOVÉ za společenství vlastníků za podklady pro sepsání příspěvku.

VÝVOJ SOLÁRNEJ TECHNIKY A JEJ APLIKÁCIE OD 19. DO 21. STOROČIA

Alfréd Gottas

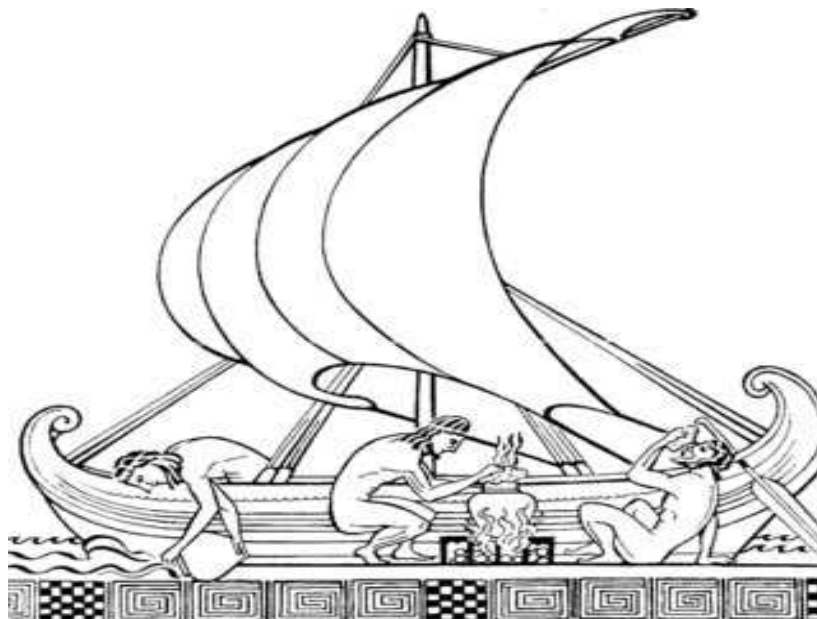
THEMO/SOLAR Žiar s.r.o.
gottas@thermosolar.sk

ANOTÁCIA

V minulosti sme mali možnosť vypočuť si na tejto konferencii veľmi zaujímavú prednášku Ing. Jaroslava Peterku, CSc. o histórii solárnych termických kolektorov v Československu. V priebehu niekoľkých posledných rokov som sa stretol s veľmi zaujímavými materiálmi o hlbokéj histórii využitia energie slnka, kolektorov a počiatkoch ich využitia. Tieto informácie ma viedli k príprave tohto príspevku, ktorý pojednáva aj, ale nielen, o počiatkoch využívania energie slnka, využití kolektorov v baníctve v južnej Amerike v 19. storočí, komerčných systémoch v USA na začiatku 20. storočia, vývoji inštalácií kolektorov do roku 2000, ale aj o aktuálnej situácii v niektorých častiach sveta.

ÚVOD

Už starí Feničania pri svojich cestách Stredomorím využívali slnečnú energiu na premenu morskej vody na vodu pitnú. Ako dokazuje Aristotelov popis vodného cyklu, aj starovekí Gréci vedeli, že keď sa slaná voda premení na paru a následne skondenzuje, stane sa tak vo forme sladkej vody. Okrem odparovania varením bol starým arabským alchymistom známy aj spôsob ohrevu slnečným žiarením koncentrovaným konkávnymi zrkadlami [1]. Už roku 1589 uvádza Della Porta vo svojej knihe *Magiae Naturalis* niekoľko metód odsolňovania vrátane solárnej destilačnej jednotky a spôsobu získavania sladkej vody zo vzduchu. Avšak prvý patent na solárnu destiláciu bol udelený až v roku 1870 v USA spoločnosti Wheeler and Evans. Prvá rozsiahla solárna inštalácia zariadení podobných súčasným kolektorom bola postavená v roku 1872. Prvý patent na plochý termický kolektor získal v roku 1891 v USA Clarenc Kemp, majiteľ strojárskych firmy CM Kemp, ktorá existuje aj v súčasnosti.

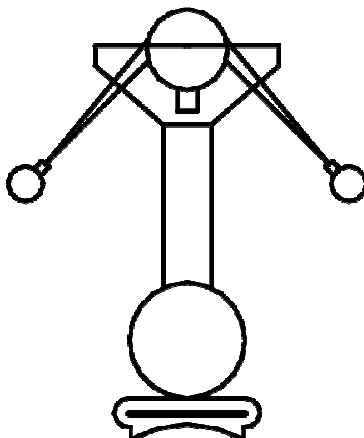


Obr. 1 Príprava sladkej vody varením vody morskej. Zdroj: Internet.

POČIATKY VYUŽITIA ENERGIE SLNKA

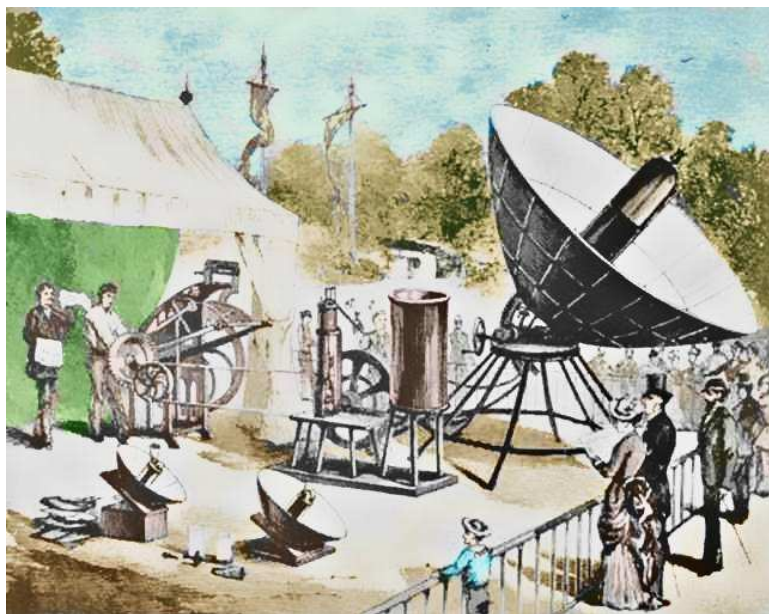
Ako už bolo spomenuté, v 4 storočí pred n.l. bola popísaná technológia odsol'ovania, ktorá sa rozvinula v čase dlhých morských plavieb Féničanov a Grékov. Na Obr. 1 je znázornená príprava pitnej vody prisudzovaná Alexandrovi z Afrodisiasu (200 n.l.). V mosadznej nádobe sa varila morská voda, nad jej ústím bola zavesená špongia, ktorá pary absorbovala a následne sa táto voda spotrebúvala.

S ďalšou technológiou odparovania, už s využitím slnečnej energie je možné sa stretnúť u arabských alchymistov, ktorí používali koncentrovanú energiu slnka na odparovanie morskej vody, ale aj na koncentráciu alkoholových a bylinných roztokov a parfumov.



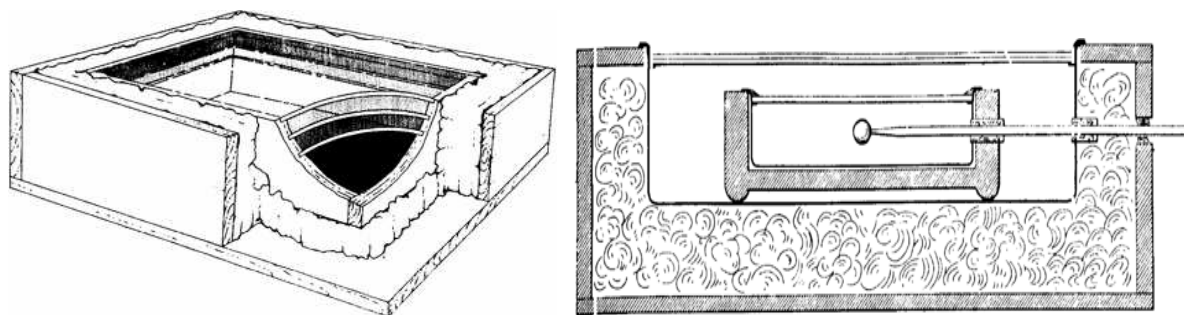
Obr. 2 Alembic (z arabského Al-Ambiq- liehovar), v spodnej časti umiestnené konkávne koncentračné zrkadlá. Zdroj: Internet.

Od týchto, relatívne primitívnych zariadení sa už zásadne líši solárny koncentrátor Augustina Mouchota, vynálezcu solárneho motora, predstavený na svetovej výstave v Paríži v roku 1878. Tento vynález inšpiroval francúzskeho spisovateľa Emile Zolu k napísaniu futuristického románu „Práca“ o post-uhľovej spoločnosti univerzálne využívajúcej slnečnú energiu.



Obr. 3 Solárny koncentrátor poháňajúci parný motor, plocha 20 m². Zdroj: Internet.

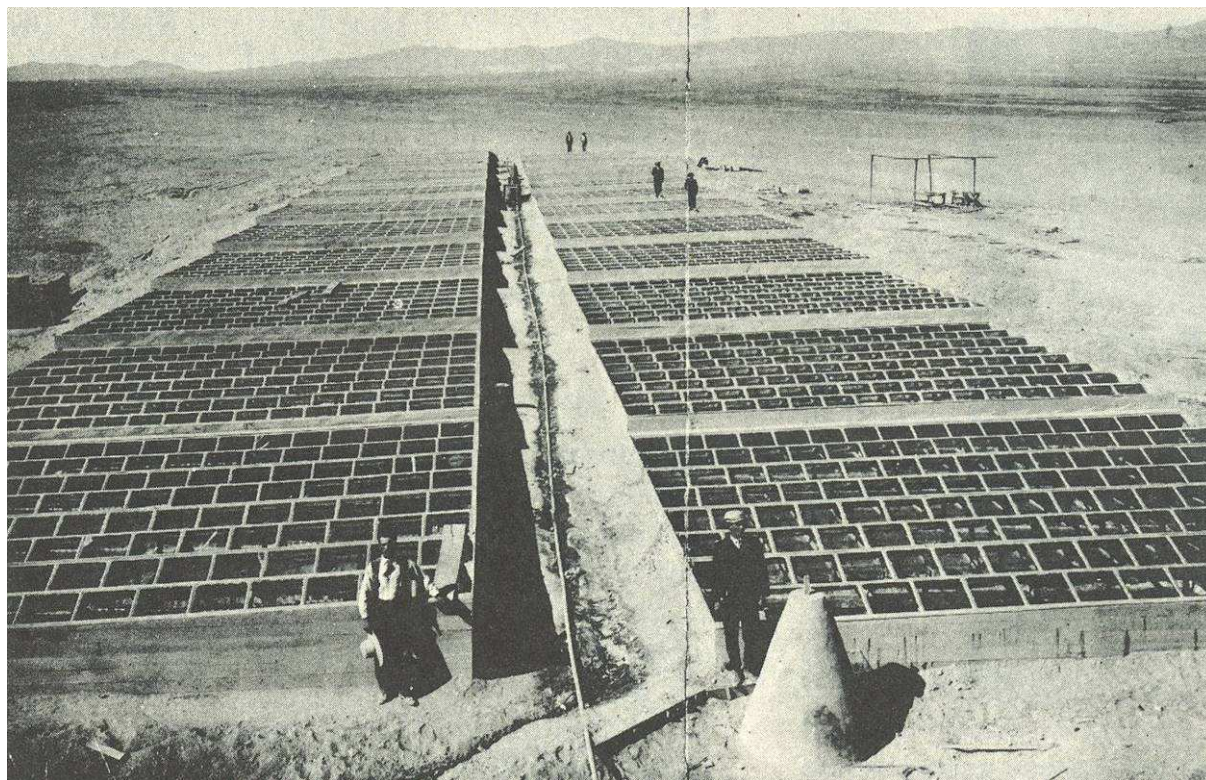
V oblasti solárnej termiky je vhodné spomenúť aj experimenty Johna Herschela, Samuela Langleya a predovšetkým Horacea de Saussure, ktorých navzájom veľmi podobné zariadenia označované ako hot-box môžeme smelo nazvať predkami slnečných termických kolektorov. Hot-boxy vedeli uvariť vodu, vajíčka, popáliť neopatrnú obsluhu.



Obr. 4 Ideová koncepcia hot-boxu. Zdroj: Wikipedia..

BLÍŽIME SA K SLNEČNÉMU KOLEKTORU ALEBO ZABUDNUTÉ CHILE

Prvá skutočne veľká realizácia zariadenia podobného slnečnému kolektoru sa datuje do roku 1872, kedy v Las Salinas v severnom Chile švédsky inžinier Charles Wilson navrhol a zrealizoval systém pasívneho odsol'ovania. Systém pozostával zo 64 polí „kolektorov“, ktoré boli vyrobené z dreva tmavo zafarbeného kamencom, kvôli lepšej absorpcii slnečného žiarenia a prekryté sklom. Projekt bol naozaj obrovský – aktívna absorbčná plocha bola $4\,450\text{ m}^2$, obostavaná plocha takmer $8\,000\text{ m}^2$ a denná kapacita výroby bola cca. 23 m^3 sladkej vody. Zdrojom bola pritom odpadová banská voda s extrémne vysokou salinitou (140 g/l) [2].



Obr. 5 Solárny systém Las Salinas, Chile, 1872, plocha 4450 m^2 . Zdroj: Internet.

Investormi projektu boli americkí miliardári, bratia Kochovci, fungovanie zabezpečovalo 5 zamestnancov, systém úspešne fungoval viac ako 40 rokov a traduje sa, že konkurencia dovážajúca pitnú vodu do Atacamy z pobrežia sa minimálne raz pokúsila Charlesa Wilsona fyzicky zlikvidovať.

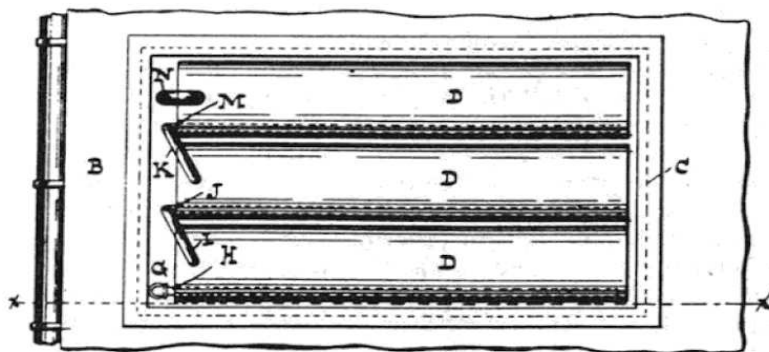
Na tomto mieste si dovoľím malú odbočku a ukážeme si ako vyzerá situácia v Chile v súčasnosti – viacero technológií v baniach na med' je podporovaných slnečnými termickými kolektormi. Zrejme najväčšia je v súčasnosti Gabriela Mistral, kde je osadené pole s 39 300 m² kolektorovej plochy a zásobníkom s objemom 4 300 m³. Tento systém pokrýva 80 % potreby energie spomenutej bane.



Obr. 6 Baňa Minera Gabriel Mistral. Zdroj: <http://www.solarthermalworld.org>.

SLNEČNÉ KOLEKTORY VČERA A DNES

Prvý patent slnečného termického kolektora sa prisudzuje pánovi C. M. Kempovi z Baltimore, USA. Bol udelený 28. apríla 1891 pod číslom 451 384. Predával sa pod značkou Climax Solar.



Obr. 7 Reprodukcia patentu slnečného termického kolektora. Zdroj: www.uspto.gov.

Väčší rozmach inštalácií slnečných kolektorov je spojený so štartom predaja v juhozápadných štátoch USA – Kalifornii a Arizone. Zaujímavá je cena takéhoto prvého komerčne predávaného kolektora – 25 \$. V Pasadene (Kalifornia) v roku 1900 viac ako tretina rodinných domov využívala kolektory.

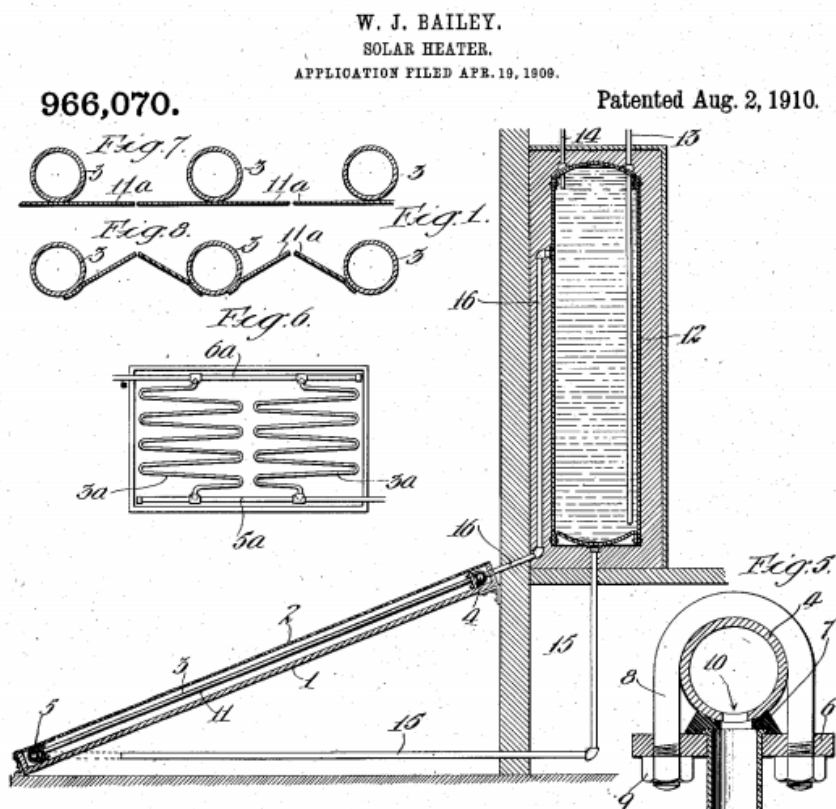
Climax Solar-Water Heater
UTILIZING ONE OF NATURE'S GENEROUS FORCES
THE SUN'S HEAT {Stored up in Hot Water for Baths, Domestic and other Purposes.
GIVES HOT WATER at all HOUSES OF THE DAY AND NIGHT.
NO DELAY. FLOWS INSTANTLY.
NO CARE. NO WORRY.
ALWAYS CHARGED. ALWAYS READY.
THE WATER AT TIMES ALMOST BOILS.
Price, No. 1, \$25.00
This Size will Supply sufficient for 3 to 5 Baths.
CLARENCE M. KEMP, BALTIMORE, MD.

Hot Water
WITHOUT FIRE
WITHOUT COST
WITHOUT INCONVENIENCE
A Climax Solar Water Heater
Set on or set into (flush with) your roof will give you the luxury of hot water without the discomfort of manipulating a stove and heating the interior of your house.
Over 2,000 in use in this locality. Any user will tell you that the heater has more than paid for its cost, and once known is indispensable.
Climax Solar Water Heater Co.
335 S. Broadway Los Angeles, Cal.
DEPARTMENT "B"

"What so Rare as a Cloudy Day in Arizona"
HOT WATER
DAY
NIGHT
SOLAR HEATER
PATENTED AUG. 2, 1910
SUNSHINE Like Salvation is Free!
Every Arizona home should see advantage of it by installing a "Day and Night" Solar Heater.
It can't stop working while the sun shines.
It can't get out of the window, or melt a tin.
It can't only heat your water.
It keeps it hot in a storage tank.
Will it really work?
Thousands of satisfied users back in
Let us give you prices and full information.
Write
Southwestern Solar Heater Co.
215 West Main St. Phoenix, Ariz.
Phoenix, ARIZONA

Obr. 8 Dobové reklamy na slnečné kolektory Zdroj: internet.

Ďalšiu revolúciou vo vývoji solárnej techniky spôsobil v roku 1910 William J. Bailey, patentom na solárny ohrievač vody s oddeleným izolovaným zásobníkom. Tento systém, nazvaný „Deň a noc“ už zabezpečoval akumuláciu a tým pádom aj celodennú dostupnosť teplej vody a v priebehu krátkeho obdobia vytlačil z trhu riešenie Climax C. M. Kempa. V nasledujúcich rokoch v tejto oblasti slnečné kolektory takmer prehrali boj s ropnými a plynárenskými spoločnosťami, ale zvyšovanie cien energií po 2. svetovej vojne a rozmach stavebníctva (predovšetkým výstavba bazénov pri rodinných domoch) zabezpečili jednoduchším solárnym technológiám prosperitu až do súčasnosti.



Obr. 9 Patent solárneho systému W.J. Bailey, Zdroj: : www.uspto.gov.

Paralelne sa rozvíjala aj technológia koncentračných kolektorov, predovšetkým ich využitie na pohon parných motorov. Jedna z najznámejších inštalácií z toho obdobia je z Egypta, kde v roku 1913 Frank Shuman, americký vynálezca zrealizoval projekt Number One Sun Engine, koncentrátor s plochou 50 m², ktorý zabezpečil čerpanie vody z hlbinných studní. Výkon zariadenia bol neuveriteľných 23 000 litrov za minútu. Projekty tohto typu mali byť predzvesťou bezuhľovej spoločnosti, bohužiaľ objavenie lacnej ropy v Iraku a Iráne komerčné realizácie v tejto oblasti prakticky zastavilo.

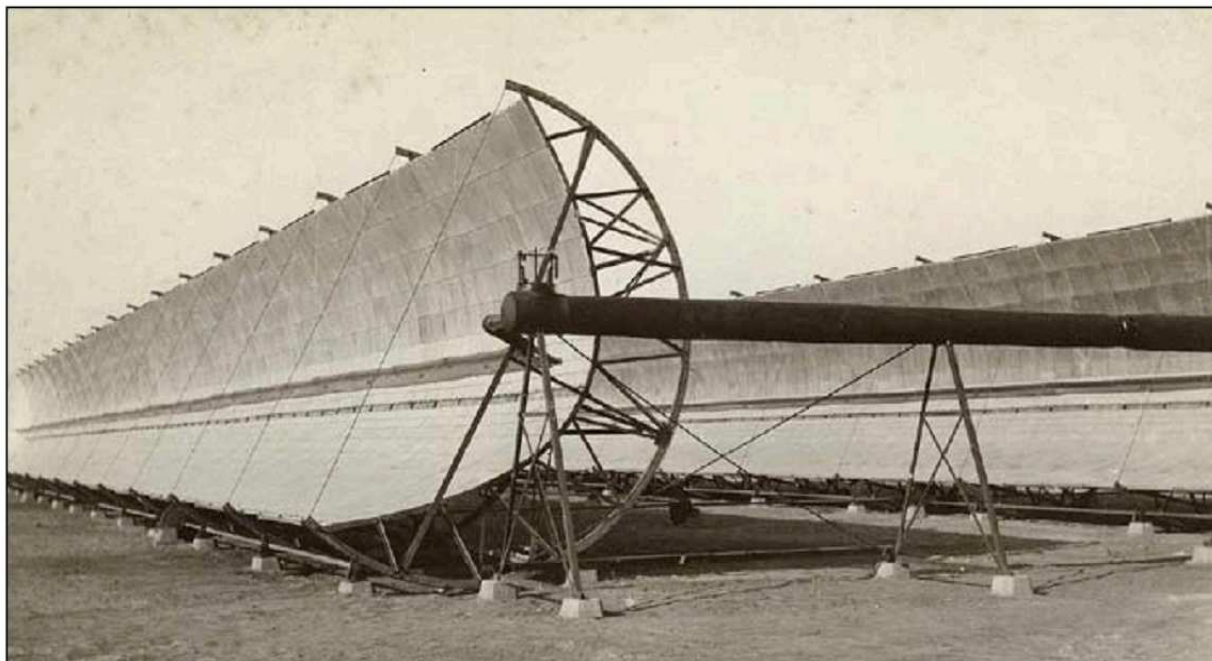


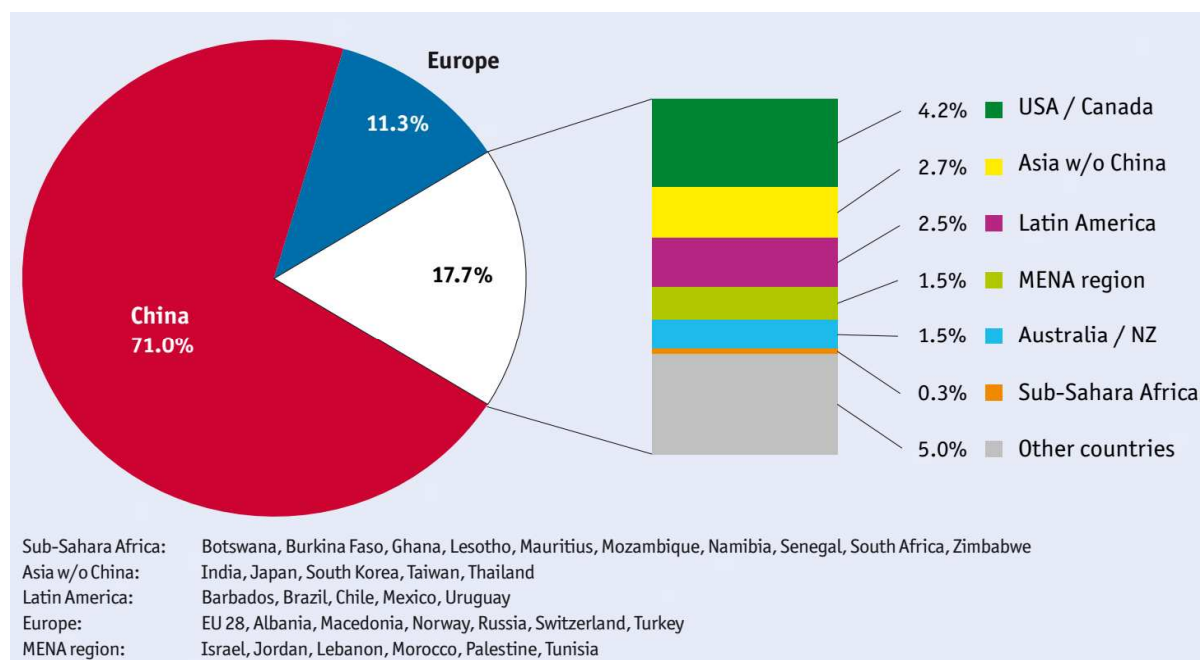
Foto: Historical Society of Iacony, USA / Bundesamt für Kultur, CH-Bern.

Obr. 10 Solárne zariadenie Franka Shumana, Káhira 1913 Zdroj: www.iea-shc.org.

Ako takmer všade, išlo predovšetkým o peniaze – vojnou vyčerpané Japonsko, krajina bez energetických surovín, sa v 50. a 60. rokoch sústredila na jednoduché gravitačné ohrievače vody, do roku 1970 bolo kolektormi vybavených viac ako 4 000 000 domov. Následne, so zvyšovaním dostupnosti lacnej ropy upadol priemysel kolektorov do obdobnej krízy ako v USA. Prebudením pre trh bola ropná kríza v roku 1973. Od tohto obdobia sa inštalujú klasické solárne systémy. Dnes je v Japonsku kolektormi vybavených viac ako 10 000 000 rodinných domov.

Obdobná situácia bola aj v Izraeli – minimum energetických zdrojov a naviac nepriateľsky naladené okolité štáty spôsobili opatrné začiatky inštalácie slnečných kolektorov už v 50. rokoch. Rozumnou, štátom riadenou politikou sa dosiahlo, že v súčasnosti viac ako 90 % rodinných domov v Izraeli využíva solárne systémy.

Zaujímavou sa javí byť situácia v Číne – bezkonkurenčne najväčšej veľmoci v oblasti solárnej techniky na svete. V priebehu posledných 50 rokov sa z nuly dostala na viac ako 70 % podielu inštalácií vo svete.



Obr. 11 Využitie solárneho tepla vo svete – 2016. Zdroj: : www.iea-shc.org.

Ako všetci vieme, svet je zavalený jednoduchými a lacnými čínskymi vákuovými trubicami, ktorých výroba je materiálovo veľmi nenáročná. Na druhej strane však menej známym faktom je, že podstatná časť skutočne veľkých inštalácií je v Číne vykonávaná s plochými kolektormi.



Obr. 12 Veľké solárne systémy v Číne – prevažujú ploché kolektory. Zdroj : internet

Či už ide o textilné fabriky (Daly Textile – 13.000m², Foshan Textilex – 3 000 m²), tlačiarenské kombináty (Jiangsu Printing And Dyeing – 9 000 m², má sa rozšíriť na 32 000 m²), ale aj potravinárske kombináty, je zrejme že v prípade posudzovania kvality, výkonu a životnosti idú aj čínske firmy európskou cestou.

Situácia v Európe bola obdobná, s tou výnimkou, že pokiaľ v západnej Európe sa inštalovali skôr systémy pre rodinné domy, či už továrensky vyrábané, alebo skladané v domácich podmienkach prostredníctvom vznikajúcich ekologických občianskych projektov (iniciatíva Glasberg), vo východnej Európe sa často inštalovali väčšie solárne systémy s rôznou podporou štátov na roľníckych družstvách, farmách a iných podnikoch.

Záverom sa nedá nespomenúť aj najväčšia z našich. Európskych inštalácií, o ktorej bola reč na predchádzajúcej konferencii, takže iba stručne – Marstal, Dánsko, viz Obr. 13.



Obr. 13 Najväčšia komunálna inštalácia v Európe – 33 000 m² kolektorov, 75 000 m³ v zásobníku. Zdroj : internet

LITERATURA

- [1] Delyannis E., Stefanakos, E., Solar Desalination, Solar Energy, Volume 75, 2003
- [2] Julio Hirshberg, 1975, "Carlos Wilson's Solar Still," *ISES News*

VÝSTAVBA A ENERGETICKÉ HODNOCENÍ BUDOV S TÉMĚŘ NULOVOU SPOTŘEBOU ENERGIE V ČR

Petr Horák

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav TZB
horak.p@fce.vutbr.cz

ANOTACE

Od roku 2016 se poprvé v českém stavebnictví objevila povinnost pro vybrané druhy objektů splňovat požadavky definující budovu s téměř nulovou spotřebou energie. Postupně se tato povinnost bude vztahovat na další budovy, v roce 2020 už bude muset být každá nova budova navržena a postavena jako budova s téměř nulovou spotřebou energie. Na tuto skutečnost se musí adaptovat jak projekční společnosti, investoři, ale i energetičtí specialisté a další osoby spjaté s návrhem a realizací budov. Tento článek shrnuje dílčí zkušenosti energetického specialisty s problematikou výstavby a hodnocení domů s téměř nulovou spotřebou energie. Na příkladu malého rodinného domu je demonstrován rozdíl energetického hodnocení v případě referenčního požadavku pro běžnou novou budovu a pro budovu s téměř nulovou spotřebou energie.

ÚVOD

Již před časem zákon 406/2000 Sb. o hospodaření energií zavedl pojem budova s téměř nulovou spotřebou energie [1]. Tento zákon ukládá za povinnost, aby stavby navrhované od jistého data byly projektovány jako budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Tato povinnost platí pro všechny nové budovy veřejné moci od roku 2018 a pro ostatní budovy od roku 2020. Pro větší budovy u obou typů nastává tato povinnost již dříve.

Zákon [2] definuje v §2, odst. 1), písm. w): „budovou s téměř nulovou spotřebou energie je budova s velmi nízkou energetickou náročností, jejíž spotřeba energie je ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů.“

Tato ne zcela konkrétní formulace je dále zpřesněná požadavky na hodnotu průměrného součinitele prostupu tepla a hodnotu spotřeby neobnovitelné primární energie. Oba tyto další parametry jsou u budov s téměř nulovou spotřebou energie přísnější než u ostatních typu budov.

Konkrétně u průměrného součinitele prostupu tepla je hodnota u budovy s téměř nulovou spotřebou energie nižší o 30 % oproti referenční budově. U neobnovitelné primární energie je hodnota nižší o 25 % (u rodinných domů) než u referenční budovy [3]. Tyto požadavky jsou relativně přísné a takřka znemožňují například instalaci elektrického vytápění. Jak se tyto požadavky projevují v praxi, ukazuje příklad v následující kapitole. Z pohledu zákona je tedy třeba u budov s téměř nulovou spotřebou energie splnit požadavky dvojího druhu:

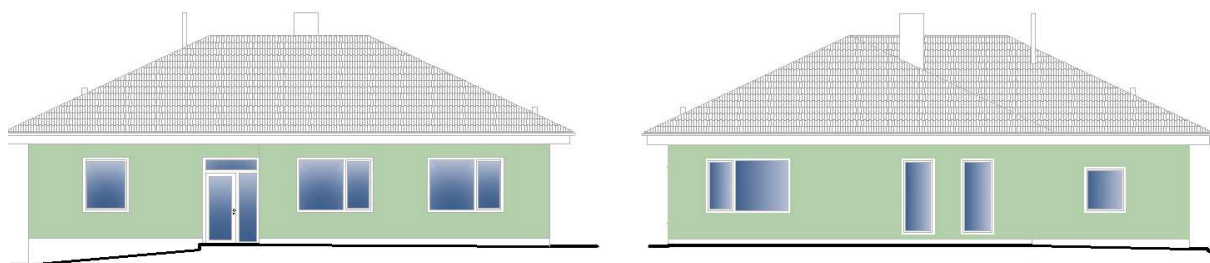
1. Hodnocená budova musí dosahovat ve vybraných parametrech minimálně hodnoty referenční budovy (požadavek vyhlášky č. 78/2013 Sb.).
2. Spotřeba energie musí být ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů (požadavek zákona č. 406/2000 Sb.).

PRAKTICKÝ PŘÍKLAD RŮZNÝCH VARIANT ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI RODINNÉHO DOMU

Aby bylo možné demonstrovat vliv požadavků na návrh domu s téměř nulovou spotřebou energie, byly provedeny dvě varianty výpočtu energetické náročnosti budovy pro objekt rodinného domu. První varianta výpočtu představuje budovu s referenčním požadavkem na běžnou novostavbu, druhá varianta výpočtu představuje novostavbu s referenčním požadavkem na dům s téměř nulovou spotřebou energie. V obou případech je posuzován tentýž objekt.

Charakteristika hodnoceného objektu

Na Obr. 1 jsou pohledy na posuzovaný dům. Jde o jednoduchý rodinný dům s jedním nadzemním podlažím a šikmou střechou, tepelná izolace leží na stropě, střecha je pak bez tepelné izolace. Budova není podsklepená.



Obr. 1 SZ a JV pohled na hodnocený objekt

Základní charakteristika objektu je uvedena v Tab. 1. Dům je navržen z keramického zdiva tl. 400 mm. Vytápění objektu a příprava TV je pomocí plynového kondenzačního kotle, otopnou soustavu tvoří podlahové vytápění. Účinnost zdroje tepla byla uvažována 94 %. Zásobník TV byl navržen s objemem 115 l. Pro výpočet energetické bilance byl použit jednoduší model. Okrajové podmínky stavební části a systémů TZB byly stejné pro obě varianty výpočtu. Uvažovalo se, že objekt budou obývat 2 osoby.

Tab. 1 Charakteristika objektu

popis	jednotka	hodnota
Energeticky vztažná plocha	m ²	223,9
Čistá podlahová plocha	m ²	182,4
Obestavěný objem zóny z vnějších rozměrů V	m ³	761,4
Podíl A/V	m ² · m ⁻³	0,87
Celková plocha obálky budovy A	m ²	656,6

Ani jedna z variant výpočtu neuvažuje s obnovitelným zdrojem energie v budově. Tím se ale samozřejmě dostáváme do rozporu s požadavkem č. 2 v kapitole úvod. Proč je takto počítáno, bude vysvětleno v závěru.

Výsledky výpočtu

Výsledky porovnání energetické bilance rodinného domu s referenčními požadavky nové budovy a budovy s téměř nulovou spotřebou energie jsou uvedeny v Tab. 2.

Varianta 2 nesplní požadavek jak na hodnotu průměrného součinitele přestupu tepla, tak ani požadavek na neobnovitelnou primární energii. Vyhoví pouze v parametru celkové dodané energie.

Budova hodnocená dle varianty 1 vyhovuje na požadovanou energetickou náročnost do konce roku 2019, ta stejná budova postavená po tomto datu již nebude splňovat požadavky na energetickou náročnost.

Tab. 2 Výsledky porovnání energetické bilance zkoumaného objektu

popis	jednotky	Varianta 1	Varianta 2
		Nová budova	Budova s téměř nulovou spotřebou energie
U – obvodová stěna	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$		0,29
U – podlaha 1	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$		0,30
U – podlaha 2	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$		0,27
U – strop	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$		0,30
U – okna a dveře	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$		1,20
U – průměrná hodnota	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$		0,26
U – průměrná hodnota, referenční	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	0,28	0,24
U – splnění referenční hodnoty	-	ANO	NE
Celková dodaná energie do budovy	$\text{kWh.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$	B - 193	B - 193
Celková dodaná energie do budovy refer.	$\text{kWh.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$	282	252
Splnění celkové dodané energie do budovy	$\text{kWh.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$	ANO	ANO
Neobnovitelná primární energie	$\text{kWh.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$	C - 224	D - 224
Neobnovitelná primární energie, referenční	$\text{kWh.m}^{-2}.\text{rok}^{-1}$	288	216
Splnění referenční hodnoty prim. energie	-	ANO	NE

Jak by vypadala energetická bilance objektu při aplikaci solární soustavy pro přípravu TV, dle parametrů uvedených Tab. 3, je možné vidět v Tab. 4. Vzhledem k orientaci budovy, by solární soustava byla uvažována na střeše směrem k jihozápadu. Ve výpočtu bylo uvažováno s instalací předřazeného solárního zásobníku o objemu 200 l, který bude napojen na stávající zásobník TV. Stávající zásobník TV s objemem 115 l by byl nedostatečný pro přímé zapojení solární soustavy.

Tab. 3 Popis solární soustavy

popis	jednotka	hodnota
Účinná plocha solárních kolektorů	m^2	3,56
Orientace kolektorů	-	JZ
Úhel sklonu kolektorů	°	45
Optická účinnost solárních kolektorů	-	0,812
Lineární součinitel tepelné ztráty	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	3,63
Kvadratický součinitel tepelné ztráty	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-2}$	0,011

Tab. 4 Výsledky porovnání energetické bilance zkoumaného objektu se solární soustavou

popis	jednotky	Varianta 1	Varianta 2
		Nová budova	Budova s téměř nulovou spotřebou energie
U – průměrná hodnota	$W.m^{-2}.K^{-1}$		0,26
U – průměrná hodnota, referenční	$W.m^{-2}.K^{-1}$	0,28	0,24
U – splnění referenční hodnoty	-	ANO	NE
Celková dodaná energie do budovy	$kWh.m^{-2}.rok^{-1}$	B - 196	B - 196
Celková dodaná energie do budovy refer.	$kWh.m^{-2}.rok^{-1}$	285	256
Splnění celkové dodané energie do budovy	$kWh.m^{-2}.rok^{-1}$	ANO	ANO
Neobnovitelná primární energie	$kWh.m^{-2}.rok^{-1}$	B - 218	C - 218
Neobnovitelná primární energie, referenční	$kWh.m^{-2}.rok^{-1}$	292	219
Splnění referenční hodnoty prim. energie	-	ANO	ANO

U varianty 1 došlo instalací solární soustavy ke zlepšení kategorií, dodané neobnovitelné energie z C na B. Posun kategorie nastal také u varianty 2, kde se bilance zlepšila z původního D na C. Přesto však přísný požadavek na průměrnou hodnotu součinitele U , pro budovy s téměř nulovou spotřebou nelze již eliminovat ani použitím obnovitelných zdrojů energie. Musela by se zlepšit obálka budovy, aby bylo dosaženo referenční hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla a objekt vyhověl požadavkům na energetickou náročnost budov.

ZÁVĚR

V současnosti stavěné budovy, které splňují referenční požadavek na novou budovu, již nemusí splňovat přísnější referenční požadavek na budovu s téměř nulovou spotřebou energie od roku 2020. Při výstavbě nových budov je třeba splnit požadavky na straně průměrného součinitele prostupu tepla, celkové dodané energie a dodané neobnovitelné primární energie. V případě nedostatečného průměrného součinitele prostupu tepla U situaci nezlepší ani instalace zdroje využívajícího obnovitelnou energii. Řešení je třeba hledat na straně obálky budovy. Na tyto uvedené skutečnosti je třeba se připravit, protože od roku 2020 budou muset všechny nové budovy splňovat referenční požadavek budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Mimo to jak již bylo řečeno v úvodu článku, je zde i požadavek, že u budov s téměř nulovou spotřebou energie musí být většina spotřebované energie ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů. Tento požadavek na obnovitelné zdroje celé problematice energetické náročnosti přidává nový rozměr. V praxi vyvolal řadu rozporuplných reakcí mezi energetickými specialisty a projektanty. V konečném důsledku by striktní aplikace tohoto ustanovení zákona znamenala, že nové budovy by byly notně osázeny solárními nebo fotovoltaickými panely, nebo by bylo nutné vytápět tepelnými čerpadly či s pomocí kotlů na biomasu.

Přestože podle zákona 406/2000 Sb. má být u budov s téměř nulovou spotřebou energie spotřeba převážně pokryta z obnovitelných zdrojů, vydalo Ministerstvo průmyslu a obchodu stanovisko, které splnění této podmínky v praxi nevyžaduje, s odvoláním na prováděcí vyhlášku 78/2013 Sb. Stanovisko k této záležitosti lze najít na webu Státní Energetické Inspekce [4]. Ve stručnosti toto stanovisko uvádí, že při výstavbě budov s téměř nulovou spotřebou energie je postačující splnit požadavky dle vyhlášky 78/2013 Sb. týkající se hodnoty průměrného U , celkové dodané energie a dodané neobnovitelné primární energie. Podmínku dle zákona 406/2000 Sb. že spotřebovaná energie musí být pokryta převážně z obnovitelných zdrojů, není nutné splnit.

LITERATURA

- [1] HORÁK, P., Technická a právní problematika energetického hodnocení budov v ČR, příspěvek na konferenci Vnútorná klíma budov 2015 - Energetické a environmentálne aspekty pri komplexnej obnove budov, ISBN 978-80-89216-85-7, Slovenská spoločnosť pre techniku prostredia, Bratislava, 2015.
- [2] Zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií, ve znění pozdějších předpisů.
- [3] Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov.
- [4] http://www.cr-sei.cz/wp-content/uploads/TemerNulovaSpotrebaEnergie_MPO-a-SEI.pdf

Článek vznikl za podpory projektu: Specifický výzkum VUT Brno FAST-S-18-5217 Vývoj nových typů výměníků pro systémy TZB s využitím 3D tisku.

POHLED NA FLEXIBILITU DOMÁCNOSTÍ

Pavel Hrzina

Solární asociace

pavel.hrzina@solarniasociace.cz

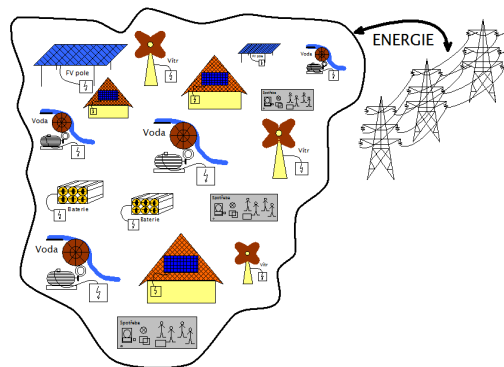
ANOTACE

Článek analyzuje výhledy na technicky reálné možnosti získání flexibility v podmínkách běžných českých domácností, a to jak bytových jednotek, tak rodinných domů.

Především se zaměříme na význam akumulace energie z OZE a řízení příkonů domácnosti. Zmíníme také psychologický dopad vzdáleného ovládání spotřeby na uživatele. Budeme řešit především technologické, nikoliv legislativní otázky nástupu flexibility do běžného života spotřebitelů, respektive tzv. prosumerů (viz slovníček na konci článku).

ÚVOD

Flexibilita zdrojů a spotřeby elektrické energie je jedním ze základních požadavků dnešní doby. Pouze s dostatkem flexibilních zdrojů a spotřeby dokážeme přejít od klasické energetiky založené na základním odběrovém diagramu s omezenou možností regulace k plně obnovitelné energetice využívající zdroje energie s obtížně predikovatelnou výrobou [1] a nízkou spolehlivostí dodávky (FVE, VTE, VE a další sezónní OZE zdroje). Základem flexibility je možnost aktivně řídit potřebu elektrické energie v soustavě bez znatelného omezení dodávek a nasmlouvaných objemů energie. Je logické, že pouhou změnou pasivní zátěže (dnes HDO) nelze vyhovět požadavkům na vypořádání se s nároky moderní energetické soustavy, a tak je nutné zapojit i aktivní akumulaci v podobě energetických úložišť – z nich v současné době nabývají na důležitosti úložiště označované jako BESS (bateriové energetické skladovací systémy [2]). V následujícím textu se budeme věnovat podmínkám pro získání flexibility z domácností.



DOSTUPNOST FLEXIBILITY ELEKTRICKÉ ENERGIE DOMÁCNOSTÍ

Flexibilita, jak již bylo uvedeno, znamená možnost přizpůsobit spotřebu a výrobu aktuálnímu požadavku sítě. Jak mohou být tyto požadavky řešeny v dnešní moderní domácnosti?

Flexibilita bytové jednotky

Bytová jednotka v dnešní době disponuje často dálkovým zdrojem tepla i teplé vody. V případě, že není tepelná energie dodávána dálkově, je vyráběna na úrovni bytového domu, nebo skupiny domů, v centrální kotelně. Viz dále – flexibilita sdružení vlastníků jednotek. Pro instalaci zdrojů není v dnešních domácnostech dostatek prostoru. Například instalace fotovoltaické elektrárny (FVE) je omezena pouze na tzv. balkónové elektrárny, které ale tvoří jen mizivé procento a jejich dostupný výkon je na úrovni stovek wattů. Provozovány jsou pak v polo-legálním režimu většinou nadšenci [3]. Další zdroje pak prakticky nepřípadají v úvahu vůbec.

Z hlediska spotřeby je dnešní moderní domácnost vybavena především spotřebiči třídy energetické účinnosti A, případně A++. Tyto spotřebiče mají svoji energetickou náročnost minimalizovanou na tak nízkou hodnotu, že již není ekonomicky vhodné jejich provoz výrazně řídit a omezovat s cílem získání regulační energie. Navíc například automatická pračka, jako jeden z příkladů často uváděných v prospektech a informacích od společností nabízejících flexibilitu, má svoji činnost přísně řízenou programem s dobou trvání často 2 až 3 hodiny. Tento program nelze, bez dopadu na práci schopnost, jednoduše přerušit a z flexibilního zatížení se tak stává po započetí programu zatížení kritické. Samotná pračka pak na jeden prací cyklus spotřebuje přibližně 1 kWh. Tento fakt je bohužel opomíjen i v některých dostupných publikacích [4]. Jediným flexibilním spotřebičem tak zůstává příprava TV v případě domácností bez centrální nebo společné kotelny.

Flexibilita rodinných domů

Na rozdíl od domácností, rodinný domek disponuje často vhodnou plochou pro výrobu elektrické energie z FV modulů (střecha domu, případně střechy hospodářských budov – garáže, přístřešky, pergoly). Instalace elektrárny do těchto prostor je úkolem snadným a v současnosti plně zvládnutým. Problematické je dimenzování takové FVE. Maximální výkon je omezen nejen plochou střechy – ta bývá často velká a není pro instalaci elektrárny využita celá, ale máme zde četná omezení legislativní. Maximální výkon FVE pro zjednodušené povolení je dnes omezen hodnotou 10 kW_p. Maximální výkon je také omezený nutností dodržet vhodný poměr mezi výrobou a vlastní spotřebou energie, daný dotačními podmínkami [5]. Právě tyto skutečnosti snižují možnosti využití flexibility individuálních FVE. Zkráceně – současné FVE jsou dimenzovány na potřebu objektu, nikoliv na pomoc elektrizační soustavě.

Z hlediska spotřeby je u rodinných domků takřka výhradně využívána individuální příprava TV i tepla pro vytápění. TV je většinou připravována elektrickým ohřívačem vody, nebo pomocí ohřevu plynovým kotlem. V otopné sezóně pak jako kombinovaný ohřev. Vytápění zajišťuje kotel na pevná paliva (biomasa, uhlí), nebo na zemní plyn, případně tepelné čerpadlo nebo kogenerační jednotka. Flexibilita těchto spotřebičů (elektrokotle, tepelná čerpadla, elektrické ohřívače vody) je většinou dobrá, integrační charakter elektrického ohřevu vody s její výraznou tepelnou kapacitou umožní dálkové řízení, kdy lze krátké výpadky pokrýt právě akumulací schopností otopné vody. V současné době se v tomto případě jedná o dvoustavovou regulaci typu HDO. V budoucnu lze očekávat i nástup proporcionální regulace výkonu v souladu s řízením TZB chytrých domů. Tato proporcionální regulace je u tepelných spotřebičů jednoduše realizována pomocí systémů založených na solid-state relay (SSR).

Další možnost ukládání energie - akumulace elektrické energie do baterií, se v současné době u rodinných domů teprve rozvíjí. Vzhledem k vhodným dotačním titulům (NZÚ) [5], lze očekávat její strmý nárůst. Z hlediska flexibility pomáhají tzv. domácí baterie především stabilizovat odběr rodinného domu, ve kterém jsou instalovány. Dimenzování probíhá na vyrovnaný diagram a v případě vhodného fotovoltaického zdroje se takový objekt stává v období duben-říjen energeticky v podstatě nezávislým. Právě dimenzování na vyrovnaný diagram ale také znamená, že systém není schopen poskytovat své služby (flexibilitu) distribuční síti.

Shrnuto, u rodinných domků je zdrojem flexibility pouze příprava teplé vody a vytápění, a to ještě pouze v otopné sezóně. Obnovitelné zdroje (fotovoltaika) a elektrochemická akumulace elektrické energie (baterie) se díky současným požadavkům na minimalizaci přetoků do sítě mezi zdroje flexibility nemohou počítat.

Flexibilita sdružení vlastníků jednotek

V současné době není povoleno podnikání SVJ, tedy nelze přímo budovat flexibilní systémy za účelem ziskového obchodování s flexibilitou. Pokud odhlédneme od legislativního rámce, dostáváme následující zdroje flexibility: Centrální příprava TV, centrální vytápění, možnost instalace FV elektrárny na střechu objektů. Z hlediska flexibility pak lze provést podobnou analýzu jako u rodinných domků a konstatovat, že hlavním zdrojem flexibility by mohlo být sezónní vytápění a příprava TV. Vzhledem k poměru mezi dostupnou plochou pro FVE a odběrem energie, není možno uvažovat u bytových domů vyvážený odběrový diagram, a tak bude mít kombinace baterie a FVE pouze podpůrnou funkci, přestože jisté výjimky existují [6].

Omezení flexibility – psychologické hledisko

Ve všech výše uvedených případech je vždy nutno počítat také s lidským faktorem. Cenová motivace pro flexibilitu funguje pouze u části obyvatelstva. Především v „bohaté“ společnosti je spíše preferováno osobní pohodlí před úsporou nákladů. Dále existují některé nepřekročitelné zábrany – například je neakceptovatelné, aby v současné době byla omezována dodávka TV nebo tepla. U přípravy TV je tak nutno zajistit dostupnost dostatečného množství vody po celý den, u tepla je možno využívat akumulace a rozdílných teplot dle požadavků na konkrétní činnost – tlumení vytápění v nočních hodinách. Ale z hlediska uživatele musí být zachováno zdání plné kontroly nad systémem – chytrá řešení, smart-home, domy 4.0 a další systémy.

Pro zvýšení zájmu obyvatel o nová technická řešení je nutno vytvářet vhodné podmínky a za pomoci grantových pobídek instalovat pilotní projekty s širokým dopadem na veřejnost, i za cenu diskutovatelného praktického přínosu a ekonomické výhodnosti [7]. Tato činnost je ekonomicky velmi náročná a její návratnost reálná pouze ve velmi dlouhém časovém horizontu, nicméně pro přípravu širokých vrstev obyvatelstva na změny spojené se zaváděním smart-grids a „Nové energetiky“ je to činnost nezbytná.

Možnosti flexibility – shrnutí

V současné době nejsou domácnosti ani sdružení nájemníků, případně bytová družstva, připravena na poskytování služeb flexibility. Trh je velmi omezený. Jako limitující faktory se zde uplatňují 2 mechanismy: 1. ekonomická omezení nedovolují stavět velké systémy, protože není dostatečná poptávka po regulační energii, respektive neexistuje vhodná tarifní struktura. 2. legislativní omezení – ve většině grantových a podpůrných programů a výzev je striktně vyžadováno spotřebování co největšího množství energie přímo v objektech, pokud možno s minimálními přetoky a dopady na distribuční/rozvodnou síť.

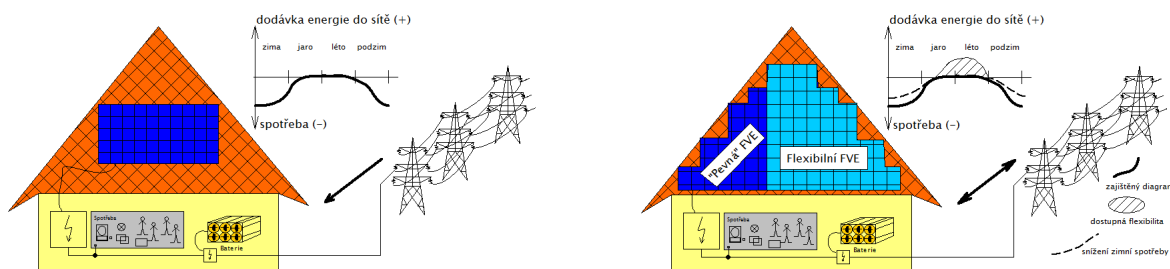
ANALÝZA PŘEKÁŽEK NA STRANĚ PŘENOSU A VÝROBY

Distribuční soustava ČR je ve většině míst dostatečně dimenzovaná pro obousměrné přenosy elektrické energie. Sítě nízkého napětí ve velkých městech jsou většinou konstruovány jako mřížové soustavy s dostatečnou přenosovou kapacitou [8]. Sítě vysokého napětí na úrovni 22 kV jsou dostatečně husté i v odlehlejších lokalitách. Často jsou pro dnešní potřeby předimenzovány, a to z důvodů postupné změny požadavků na odběry, kdy většina menších továren (bývalých) a zemědělských areálů v minulosti díky úsporným opatřením rapidně snížila svoji spotřebu a tím uvolnila kapacitu linek pro využití OZE. Bohužel je potřeba podotknout, že tento stav není tak ideální, jak by se mohlo zdát, protože sítě postupně zastarávají a je nutno je rekonstruovat. Shrnutí – v oblasti rozvodu a distribuce není v ČR indikován ve vztahu k flexibilitě závažný problém.

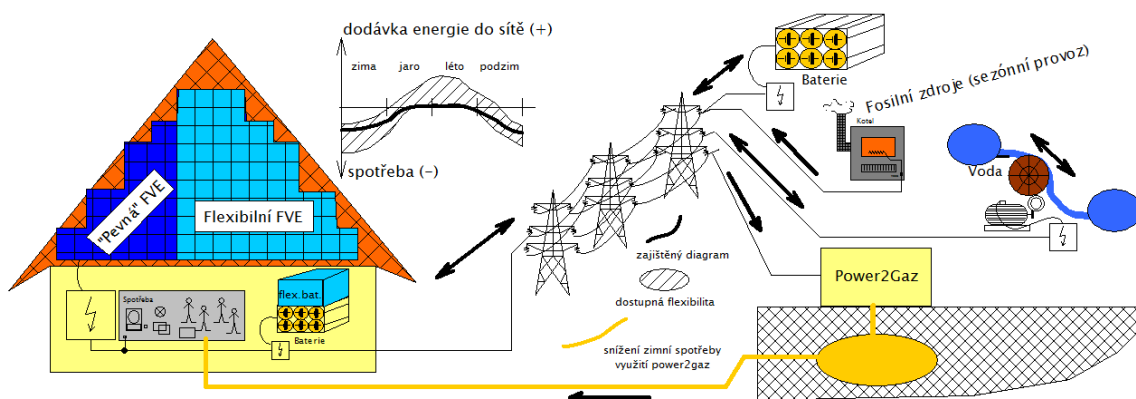
Fotovoltaické zdroje v ČR jsou trojího druhu, jednak elektrárny s dotovanou výkupní cenou z období let 2008-2011, které nemají při zachování současného stavu žádnou motivaci k flexibilnímu chování, a pak je zde skupina zdrojů s nedostatečným výkonem pro flexibilitu – tedy zdroje pokrývající především vlastní spotřebu objektu, navržené v souladu s dotačními podmínkami v letech 2017-2018. Poslední skupina je nejmenší, jedná se ale o zdroje s dostatečnou kapacitou pro flexibilní chování – tato skupina se rekrutuje především ze zdrojů z let 2010, které přišly o možnost podpory. Další výstavba těchto zdrojů vyžaduje změnu mechanismu podpory – tedy vyřazení podmínky pokrytí zdroje vlastní spotřebou a tvorbu vhodného tarifního mechanismu.

NÁVRH ŘEŠENÍ

Návrh vhodného tarifního mechanismu by mohl vycházet například z virtuálního rozdělení instalované FVE na část kryjící vlastní spotřebu (chráněný objem výroby) a z části flexibilní složky výkonu, pod kontrolou agregátora. Navrhovaná dotační struktura by v tomto případě podporovala výstavbu FVE pokrývající 100 % dostupné plochy (střešní) v zamýšleném místě instalace, auditovaný výpočet chráněného objemu výroby a povinnost uzavření smlouvy s vhodným agregátorem se závazkem zpřístupnění zbývajících výkonu FVE pro flexibilní řízení s například fixní platbou za poskytnutý flexibilní výkon.



Obr. 1 Dnešní stav, vyvážený systém bez možností flexibilního chování (vlevo). Vpravo pak navrhované řešení spočívající ve 100% využití dostupné plochy pro instalaci FVE systému, kdy „nadbytečná“ část je využívána pro flexibilní výpomoc rozvodné soustavě. Výkon flexibilní části je plně řízen pomocí dálkového ovládání (smart-grid)



Obr. 2 Téměř ideální stav, kdy domácnosti poskytují flexibilní výrobu i akumulaci pro rychlé vykrývání špiček. Sezónní akumulace je pak realizována pomocí syntetického plynu, vyráběného při nadbytku energie (získané z flexibilní části FVE) a využívaného pro snížení nároků na fosilní paliva v zimních měsících

ZÁVĚR

Tento scénář by umožnil zajistit podstatně větší činitel využití ploch, zajistil by státu možnost i do budoucna plnit závazky pro rozvoj OZE a vzhledem k povinné flexibilitě by byl i plně v souladu s plánem budování chytrých sítí v ČR. V případě České republiky by se tak mohlo podařit rozšířit existující potenciál výroby z FVE [9] a vytvořit kvalitní zázemí pro další rozvoj flexibility – tedy postupný přechod od řízení (snižování) výkonu FVE k akumulaci přebytečné energie do větších bateriových úložišť. Ideální cílový stav je patrný ze závěrečné ilustrace.

SLOVNÍČEK

prosumer (AJ) - A prosumer is a person who **consumes** and **produces** a product. [10]. Ve svém článku si dovoluji toto slovo „počesť“ a v textu skloňovat. V budoucnosti předpokládám, že tento výraz zdomácní, už jen pro svoji zvukomalebnost. Budeme jím tedy označovat někoho, kdo zároveň vyrábí i spotřebovává, například elektrickou energii.

LITERATURA

- [1] WOLF, P. A KOL., *Přesnost zdrojů předpovědi osvitu pro fotovoltaické systémy*, Vytápění, větrání, instalace VVI, 2017
- [2] *Asociace Aku-Bat* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.akubat-asociace.cz/>
- [3] *Grid Free instalace* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.i4wifi.cz/gridFree-Instalace/>
- [4] KLAASSEN, E.A.M., C.B.A. KOBUS, J. FRUNT a J.G. SLOOTWEG. Responsiveness of residential electricity demand to dynamic tariffs: Experiences from a large field test in the Netherlands. *Applied Energy*. 2016, **183**, 1065-1074. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.09.051. ISSN 03062619. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261916313538>
- [5] *Nová zelená úsporám* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.novazelenazusoram.cz/>
- [6] VČELÁK, J. Sustainable living in reality. 39. *Nekonvenční zdroje elektrické energie*. 2018.
- [7] *Praha spustí zatím největší Smart City projekt. Karlín pokryjí senzory v lampách* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.lupa.cz/clanky/praha-spusti-zatim-nejvetsi-smart-city-projekt-karlin-pokryji-senzory-v-lampach/>
- [8] *Distribuční síť PRE* [online]. [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/cs/distribucni-sit/>
- [9] *STUDIE „POTENCIÁL SOLÁRNÍ ENERGETIKY V ČESKÉ REPUBLICE“* [online]. 2015 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: www.alies.cz/wp-content/uploads/Potencial-solarni-energetiky-v-CR.pdf
- [10] Prosumer. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-[cit. 2018-05-30]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Prosumer>

TEPELNÁ POHODA V BUDÚCICH BUDOVÁCH POMOCOU DOSTUPNEJ BEZPLATNEJ ENERGIE Z BEZPROSTREDNÉHO OKOLIA

Jaroslav Jerz, František Simančík, Jozef Šebek, Peter Tobolka,
Jaroslav Kováčik, Ján Španielka

Ústav materiálov a mechaniky strojov SAV, Bratislava (Slovensko)

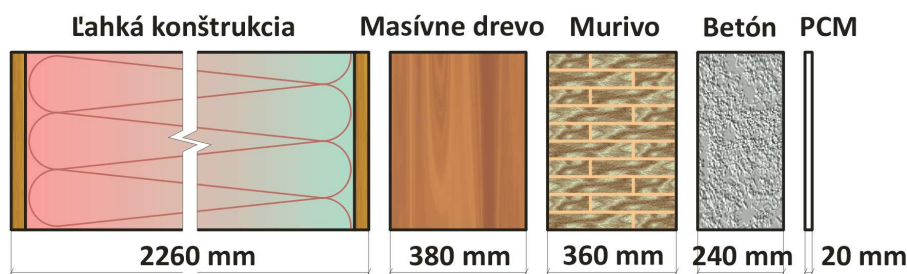
ummsjerz@savba.sk, ummssima@savba.sk, sebek.jozef@savba.sk, ummstob@savba.sk,
ummsjk@savba.sk, jan.spanielka@savba.sk

ANOTÁCIA

Tento príspevok pojednáva o novom koncepte, ktorý umožňuje výrazne znížiť potrebu energie na vykurovanie/chladenie a ohrev teplej vody z dodávateľských externých zdrojov, a tým aj podstatne znížiť náklady na prevádzku budúcich budov. Tepelná pohoda interiéru je udržiavaná stabilizáciou teploty pomocou systému stropných výmenníkov tepla vyrobených z penového hliníka. Tieto inovatívne stropné radiátory teplo nielen efektívne a rovnomerne distribuuujú v priestore, ale súčasne dokážu veľké množstvo tepla na niekoľko dní aj uskladniť pomocou akumulovania latentného tepla do materiálu s fázovou premenou (Phase Change Material – PCM) impregnovaného v pórovitej štruktúre penového hliníka. Pri chladení sa prebytočné teplo generované v budove počas slnečných dní akumuluje do radiátorov vo forme latentného tepla a neskôr v noci sa dá rozptýliť do studeného okolia budovy pomocou nového typu strešnej krytiny s funkciou výmenníka tepla, takisto vyrobenej z penového hliníka. Riadiaci systém zabezpečuje, aby sa teplo akumulované strešnou krytinou v prípade slnečných dní efektívne využívalo predovšetkým na pokrytie energetických potrieb pre vykurovanie interiérov a ohrev teplej vody.

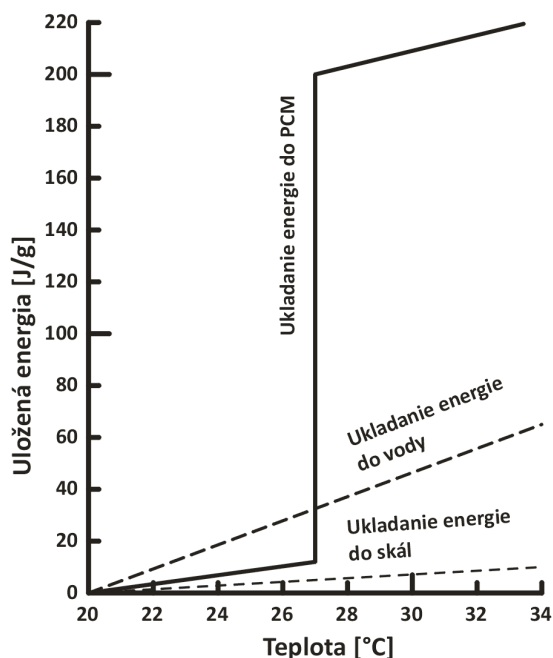
ÚVOD

Významnou nevýhodou ľahkých stavebných konštrukcií, ktoré sa v súčasnosti stavajú najmä z dôvodu úspory nákladov na energiu potrebnú na výrobu betónu a iných stavebných materiálov, je ich veľmi nízka merná tepelná kapacita c (t. j. množstvo tepla v J, ktoré je potrebné dodať 1 g materiálu, aby sa jeho teplota zvýšila o 1 K). Budovy by preto bez nadmerných nákladov na izoláciu vonkajšej obálky mali tendenciu k veľkým teplotným výkyvom, ktoré by viedli k vysokým nárokom na zimné vykurovanie a letné chladenie. Možným riešením je použitie PCM v takýchto budovách, ktoré dokáže pri minimálnom objeme a hmotnosti akumulovať veľké množstvo latentného tepla pričom zachováva konštantnú teplotu (Obr. 1).



Obr. 1 Porovnanie hrúbky stavebných materiálov potrebnej na akumuláciu rovnakého množstva tepla pri ohreve materiálu z 20 °C na 30 °C (fázová premena PCM je v danom teplotnom intervale).

Materiál s fázovou premenou (PCM) impregnovaný v povrchovej vrstve vnútorných stropných výmenníkov tepla je schopný akumulovať veľkú časť tepla zo slnečného žiarenia dopadajúceho na strechu budovy bez zvýšenia teploty výmenníkov (Obr. 2) v prípade, že aktívne vnútorné panely sú prepojené s termosolárnym strešným systémom cez cirkulujúce teplotnosné kvapalné médium. Počas horúcich letných dní dokáže ten istý systém efektívne odvádzať prebytočné teplo z interiéru do fázovej zmeny PCM (znova bez zmeny teploty) a počas chladnejších nocí ho rozptýliť cez tepelne aktívnu strešnú krytinu (alebo cez fasádu) do okolia budovy. Stabilná teplota v budove sa takto dá dlhodobo dosahovať aj pri značných výkyvoch vonkajšej teploty, pričom systém sa pri ohreve teplom kontinuálne nabíja keď je teplota strešnej krytiny vyššia ako požadovaná interiérová teplota ($T > 25\text{ °C}$), napr. počas slnečných dní a pri chladení naopak vybíja v čase keď je nižšia, napr. počas chladnej noci ($T < 20\text{ °C}$). Akumulované teplo v optimálnom prípade dokáže medzi „nabitím resp. vybitím“ vykryť aj niekoľkodňové tepelné straty interiéru a udržať v ňom tak stabilnú teplotu. Hlavnou prekážkou, ktorá v súčasnosti bráni aplikácii rôznych materiálov s fázovou premenou v stavebníctve, je veľmi nízka tepelná vodivosť PCM (tabuľka 1), ako aj konvenčných pórovitých stavebných materiálov (napr. sadrokartónových dosiek, pórobetónov, a pod.).



Obr. 2. Uskladňovanie energie do PCM, vody a tepelného zásobníka vyplneného kamennou drťou [3].

Vhodným technickým riešením eliminujúcim tento nedostatok je použitie veľkoplošných stropných panelov z hliníkovej peny, ktoré dokážu efektívne zabezpečovať prenos tepla z/do vnútorného prostredia do/z teplotnosného kvapalného média prúdiaceho v rúrkach zapustených do hliníkovej peny (Obr. 3). Ak sa póry peny navyše vyplnia vhodným PCM, teplo sa pred prechodom z interiéru do kvapaliny alebo naopak najskôr akumuluje vo forme latentného tepla v PCM, čím sa dá dosiahnuť požadovaný časový posun medzi dobou, kedy sú na ohrev/resp. chladenie vhodné vonkajšie podmienky (slnko/noc). Vysoká vodivosť stien pórov hliníkovej peny umožňuje rýchly transfer tepla aj do veľkých objemov PCM umiestnených v póroch. Do 1 m^2 sa pritom pri hrúbke panela 10 mm dá umiestniť viac ako 6 kg PCM. Veľká radiačná plocha panelu (napr. celý strop) na druhej strane umožňuje na udržanie stabilne tepelnej pohody interiéru využívať aj nepatrné rozdiely teploty panelu a interiéru a pracovať tak s nízkopotenciálovým zdrojom.

Tab. 1 Termofyzikálne vlastnosti niektorých komerčných PCM (parafrínových voskov) [6]

PCM	Teplota topenia [°C]	Merné skupenské teplo topenia [J/g]	Merná tepelná kapacita (tuhý/tekutý) [J/(g·K)]	Súčiniteľ tepelnej vodivosti (tuhý/tekutý) [W/(m·K)]	Hustota (tuhý/tekutý) [g/cm³]	Literatúra
RUBITHERM® RT28HC	27 – 29	245	2,00	0,20	0,88 (15°C)/ 0,77 (40°C)	[11]
RUBITHERM® RT44HC	41 – 44	255	2,00	0,20	0,80 (25°C)/ 0,70 (80°C)	[12]
Suntech P116 Paraffin wax	43 – 56	266	2,95/2,51	0,24/0,24	0,818/0,760	Himran [7]
Paraffin 53	53	164	2,13 (30°C)/ 2,62 (70°C)	0,28 (30°C)/ 0,19 (70°C)	0,978 (30°C)/ 0,795 (70°C)	Inaba a Tu [8]
Paraffin 56	56 ± 2	72 – 86		0,75 (25°C)	1,06	Dotsenko [9]
Paraffin 57	57 ± 2	98		0,70		Dotsenko [9]
RUBITHERM® RT60	58 – 60	214	0,93	0,20	0,850/0,775	Verlaj [10]
Paraffin natural wax 79	79 ± 2	80		0,63	1,20	Dotsenko [9]
Paraffin natural wax 84	84 ± 2	85		0,72	1,20	Dotsenko [9]
Paraffin natural wax 106	106 ± 2	80		0,65	1,20	Dotsenko [9]

ENERGETICKÁ SPOTREBA BUDOV NA UDRŽIAVANIE DOSTATOČNÉHO TEPELNÉHO POHODLIA

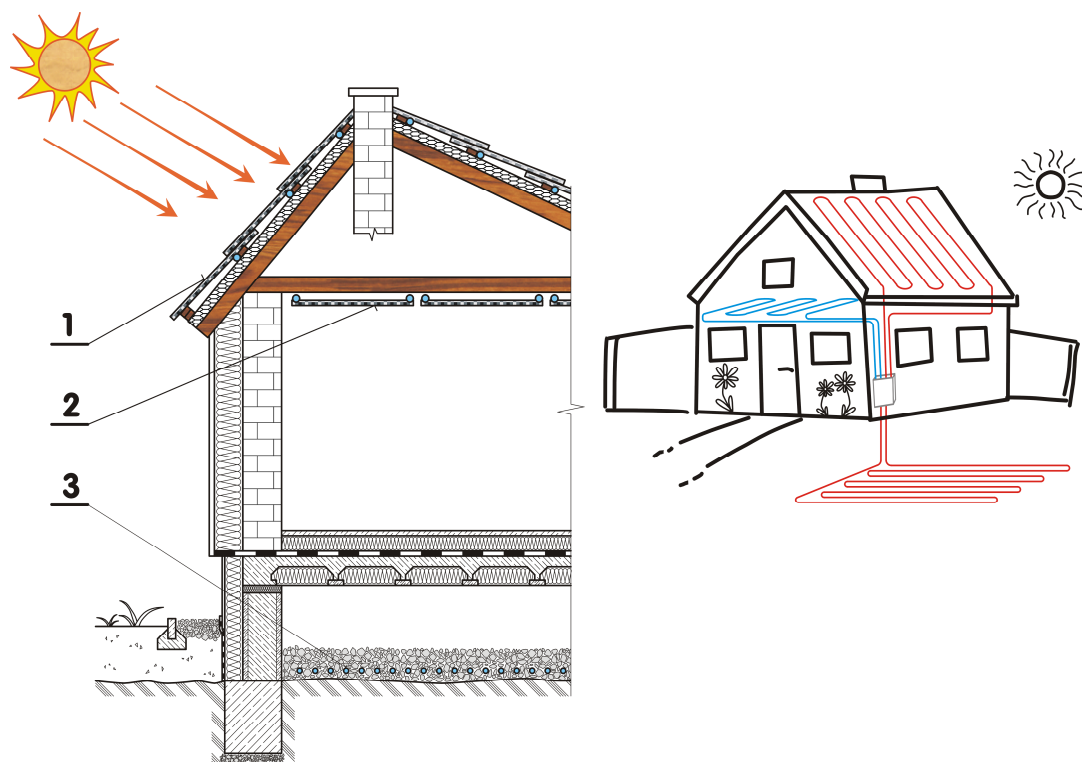
Spotreba energie na vykurovanie a chladenie budov sa v súčasnosti minimalizuje najmä dostatočne tepelne izolovanou obálkou budovy, ktorá udržiava teplo počas zimy v budove a počas leta mimo budovy bez výrazného prestupu tepla cez obálku budovy. Vhodná veľkosť a orientácia okien umožňuje zvýšiť využitie solárnej energie počas zimnej sezóny v súčasnosti stavaných pasívnych domoch. Tento prístup však spôsobuje značné problémy v horúcich letných dňoch, keď je naopak žiaduce aby bol interiér slnečnou energiou vyhrievaný čo najmenej. Náklady na udržiavanie dostatočného tepelného pohodlia počas dní s tropickým letným počasím sú preto zvýšené požiadavkami na dostatočné zatienenie interiéru žalúziami, inštaláciou klimatizačných, ventilačných a rekuperačných jednotiek, ktoré dokážu relatívne chladnejší vzduch získať napr. z podzemných priestorov v okolí budovy, alebo na jej severnej fasáde.

Využitie nasledujúcich nových technických princípov sa preto javí byť skvelou príležitosťou pre výrazné zníženie energetickej náročnosti vykurovania/chladenia a ohrevu teplej vody, ktoré môže viesť k značnej úspore nákladov na výstavbu a prevádzku budúcich budov:

- ✓ Tepelné pohodlie v interiéri je počas celého roka udržiavané stabilizáciou teploty pomocou systému veľkoplošných stropných výmenníkov tepla z penového hliníka (Obr. 3), ktoré umožňujú krátkodobé uskladňovanie tepla vo forme latentného tepla fázovej premeny PCM impregnovaného v pórovitej štruktúre penového hliníka.
- ✓ Konštrukcia základovej dosky budovy je navrhnutá tak, aby mala možnosť sezónneho uskladňovania letných prebytkov tepla, ktoré sa môžu využiť na vykurovanie interiérov najmä počas zimnej sezóny.
- ✓ Strešná krytina celej strechy budovy je takisto aktívnym výmenníkom tepla, ktorý dokáže zo solárnych ziskov a z okolia budovy získavať teplo potrebné na udržiavanie dostatočného tepelného pohodlia v interiéri v zimnej sezóne a ohrev teplej vody v lete, ale aj efektívne odvádzať nežiaduce teplo do okolia budovy počas chladnejších letných nocí (Obr. 4).



Obr. 3 Interiérové stropné vykurovacie/chladiace panely z penového hliníka v kancelárskych priestoroch (260 m²) spoločnosti Sapa Profily a. s. v Žiari nad Hronom (Slovensko).



Obr. 4 Grafické znázornenie systému s efektívnym využívaním tepla získaného predovšetkým zo solárnych ziskov a zemskej kôry, ktorý obsahuje:

- 1 – tepelne aktívnu strešnú krytinu z penového hliníka zabezpečujúcu efektívnu výmenu tepla medzi okolím budovy a teplonosným kvapalným médiom vykurovujúcim/chladiacim interiér, ohrievajúcim teplú vodu potrebnú pre prevádzku budovy a sezónne uskladňovanie tepla v izolovanej základovej doske,
- 2 – interiérové vykurovacie/chladiace stropné panely z penového hliníka impregnované PCM s možnosťou niekoľkodňovej akumulácie tepla,
- 3 – podzemný kolektor, ktorý je súčasťou základov budovy a umožňuje sezónne uskladňovanie letných prebytkov tepla za účelom ich využitia predovšetkým na vykurovanie interiéru počas zimnej sezóny.

Fázové premeny medzi tuhým a tekutým stavom sa javia veľmi atraktívnymi pre využitie v systémoch skladovania tepelnej energie. Samotné PCM však nemožno použiť ako teplonosné médium. Na účely prenosu tepelnej energie cez výmenník tepla je vhodné využívať samostatné kvapalné médium, ktoré dokáže efektívne prenášať teplo zo zdroja do výmenníka naplneného PCM a z neho ďalej do interiéru alebo naopak. Výmenník tepla však musí byť navrhnutý tak, aby dokázal čo najlepšie eliminovať nevýhodu extrémne nízkej tepelnej vodivosti takmer všetkých PCM.

Použitie dostatočne pórovitých kovových štruktúr s vysokou tepelnou vodivosťou stien pórov, akými sú hliníkové peny, je veľmi vhodným riešením pri konštrukčnom návrhu takýchto výmenníkov.

PCM na báze parafrínových voskov alebo masných kyselín (Tab. 2) poskytujú týmto spôsobom možnosť uskladňovania a uvoľňovania veľkého množstva latentného tepla počas jeho fázovej zmeny z tuhej do kvapalnej fázy a naopak (~ 200 až 250 J/g) pri takmer konštantnej teplote. To umožňuje udržať výmenník na požadovanej teplote dlhšiu dobu bez toho, aby bolo potrebné okamžite všetko naakumulované teplo ihneď rozptýliť do okolia výmenníka. Len mierne vyššia teplota kvapaliny v porovnaní s teplotou topenia použitého PCM je postačujúca aby výmenník mohol teplo efektívne uskladňovať. V prípade, ak sa výmenník tepla používa na účely odvádzania nežiaduceho nadmerného tepla z interiéru budovy, teplo sa spotrebuje na roztavenie PCM, čím sa udržiava teplota na požadovanej úrovni, kým sa všetok parafrínový vosk (prípadne PCM na báze masných kyselín) neroztopí.

Hodnoty latentného tepla fázovej premeny pre rôzne PCM uvedené v Tab. 1 sú však len približné odhady. Je to preto, lebo žiadne PCM sa neroztopí a nestuhne v celom objeme pri presnej konštantnej teplote. Podľa [9] je merné skupenské teplo topenia PCM s ochrannou známkou RUBITHERM® RT28HC vyrábaného nemeckou firmou Rubitherm Technologies GmbH približne 250 J/g (t. j. $\sim 70 \text{ Wh/kg}$) $\pm 7,5\%$. Toto teplo je však súčtom latentného tepla fázovej premeny a citelného tepla (t. j. tepla, ktoré spôsobí zmenu teploty) v teplotnom rozsahu od 21°C do 36°C .

Na základe testov panelov z penového hliníka impregnovaných PCM RUBITHERM® RT28HC s teplotou topenia 27 až 29°C (hustota PCM v pevnom stave je $0,88 \text{ g/cm}^3$ a v kvapalnom stave $0,77 \text{ g/cm}^3$) bolo v klimateckej komore experimentálne overené množstvo latentného tepla, ktoré je možné opakovateľne uskladňovať a neskôr odvádzat prostredníctvom teplonosnej kvapaliny pri konštantnej teplote. Ak zoberieme do úvahy panel z penového hliníka s rozmermi $600 \times 600 \times 10 \text{ mm}$ s objemom 3600 cm^3 , s hustotou $0,5 \text{ g/cm}^3$ a hmotnosťou 1800 g , hmotnosť 1 m^2 stropných panelov je $5,4 \text{ kg}$ a môže sa do nich naplniť približne $7,24 \text{ kg}$ PCM RUBITHERM® RT28HC. Pretože 1 kg PCM je schopný naakumulovať približne 250 kJ latentného tepla, počas fázového prechodu PCM z tuhého do kvapalného stavu môže každý 1 m^2 stropných panelov z penového hliníka s pórmí plne naplnenými PCM uskladniť až 1810 kJ (t. j. $\sim 503 \text{ Wh}$) tepla.

ZASTREŠENIE ŠIKMÝCH STRIECH ZNIŽUJÚCE SPOTREBU ENERGIE

Možnosť akumulovať veľké množstvo latentného tepla v stropných paneloch s cieľom znížiť energetické nároky na udržanie dostatočného tepelného pohodlia v interiéroch budov prináša obrovskú príležitosť na prispôsobenie požiadaviek na vlastnosti strešných krytín tak, aby lepšie využívali tepelné prebytky zo solárnych ziskov, ktoré stavebný priemysel v súčasnosti využíva len veľmi neefektívne. Konštrukcia strešnej krytiny pritom môže využívať výhody systému na uchovávanie tepla potrebného na prevádzku budovy, ktorý je prezentovaný v tomto príspevku, a to nielen kvôli sezónnej akumulácii tepla nahromadeného v čase, kedy je tepla zo solárnych ziskov dostatok (v horúcich letných dňoch), ale aj kvôli možnosti veľmi efektívneho odvádzania veľkého množstva prebytočného tepla nahromadeného počas celého dňa v interiéri cez strešnú krytinu do okolia budovy počas chladnejších letných nocí.

Hlavné požiadavky na tepelne-aktívne zastrešenie šikmých striech, ktoré znižuje spotrebu energie budovy postavenej podľa tejto koncepcie, možno zhrnúť takto:

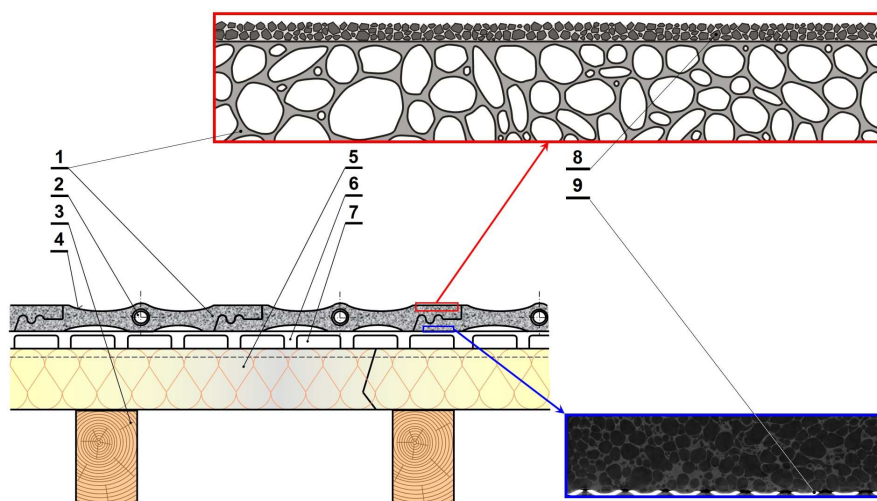
- ✓ strešná krytina musí byť dostatočne odolná voči poveternostným vplyvom, mrazu, intenzívnemu slnečnému žiareniu, letným horúčavám, chemickým látkam vo vzduchu,

chemicky znečisteným vodným parám a mechanickému poškodeniu spôsobenému nepriaznivými poveternostnými podmienkami (napr. silné zrážky, krúpy, a pod.)

- ✓ strešná krytina musí poskytovať značné tepelné zisky aj vtedy, keď je teplota okolo budovy nízka, ale slnečné lúče dopadajúce na strechu sú dostatočne intenzívne,
- ✓ množstvo tepla nahromadené strešnou krytinou v horúcich letných dňoch je dostatočne nízke, aby sa počas letných nocí mohlo rozptýliť do okolia budovy spolu s teplom kvapalného teplonosného média, ktoré odvádza teplo z interiéru potrubím integrovaným do penového hliníka, z ktorého je strešná krytina vyrobená,
- ✓ výrobné náklady na tepelne-aktívnu strešnú krytinu pre šikmé strechy budov musia byť len o niečo vyššie v porovnaní s výrobnými nákladmi na klasické strešné krytiny používané v súčasnosti stavaných budovách, ktoré spĺňajú spolu s dodatočnou tepelnoizolačnou vrstvou najmä funkciu tepelnej izolácie strechy a ochrany voči prenikaniu dažďovej vody a vodnej pary do interiéru,
- ✓ tepelne-aktívna strešná krytina musí byť architektonicky navrhnutá tak, aby pokrývala celú šikmú strechu budovy (aby bola súčasťou strechy bez toho, že bolo možné rozpoznať miesta, z ktorých sa získava teplo zo solárnych ziskov od zvyšku strechy).

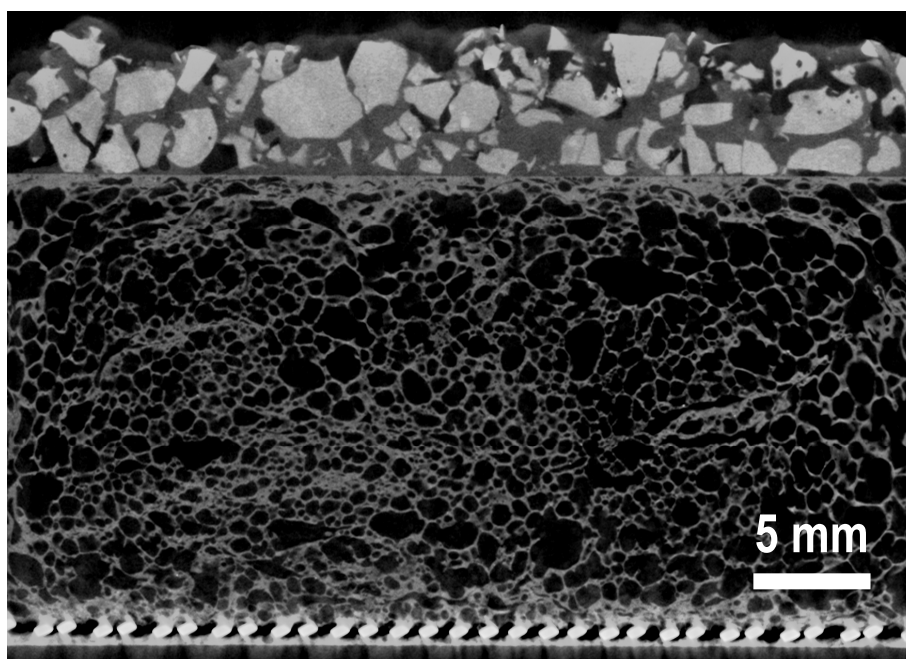
V regiónoch, kde slnko intenzívne žiari na povrchu južných šikmých striech počas prevažnej časti roka, je výhodné použiť strešný dizajn znázornený na Obr. 5. Výhodou takejto strechy je, že všetko prebytočné teplo nahromadené v interiérových stropných paneloch sa môže počas každej chladnej noci rozptýliť pomocou kvapalného teplonosného média do okolia budovy. Povrch strechy musí byť z týchto dôvodov prispôbený tak, aby výmena tepla medzi okolitým vzduchom a kvapalinou prenášajúcou teplo prúdením cez rúrky uložené v štruktúre tepelne vodivého hliníkového penového strešného plášt'a bola čo najintenzívnejšia. Využitie rôznych kompozitných systémov s matricou na báze hliníkových zliatin, ktorá v procese výroby strešnej krytiny zatečie medzi častice vystužujúce povrchovú vrstvu krytiny (kovové alebo keramické častice, čadičová drť, rozdrvené recyklované penové sklo, a pod.) sa javí pre tento účel ako veľmi prospešné. Povrch strešnej krytiny musí byť dostatočne odolný aj voči akémukoľvek mechanickému poškodeniu spôsobenému silnými zrážkami, krúpami a inými nepriaznivými poveternostnými podmienkami. Z technologického hľadiska je však jednoduchšie a podstatne lacnejšie kryciu povrchovú vrstvu strešnej krytiny vytvoriť z kompozitov s termosetovou polymérnou matricou (napr. epoxidová živica, polyimid, polyuretán, a pod.) alebo s bitúmenovým tmelom vystuženým jemnozrnným čadičovým kamenivom (Obr. 6 a 7).

Variabilita rôznych povrchov otvára možnosť dosiahnuť vhodný estetický vzhľad strešnej krytiny, jej farebnú stálosť a zároveň možnosť zachovať vysokú mechanickú a chemickú odolnosť voči atmosférickým vplyvom v rôznych klimatických oblastiach. Za účelom dosiahnutia vysokej tuhosti a nízkej hmotnosti strešnej krytiny, je veľmi výhodné spevňovať jej spodnú povrchovú vrstvu pomocou perforovaného plechu (ťahokovu) z korozivzdornej austenitickej chrómniklovej ocele.

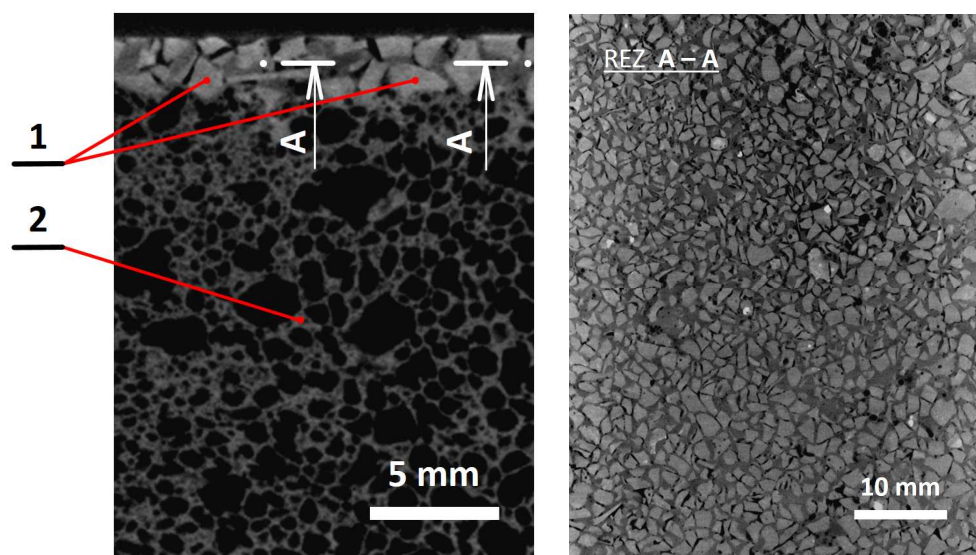


Obr. 5 Tepelne-aktívna ultraľahká strešná krytina z penového hliníka zobrazená v reze kolmom na smer šikmých strešných krokiev:

- 1 – časti strešnej krytiny vyrobené z penového hliníka,
- 2 – vlnovcové rúrky z korozivzdornej ocele rozvádžajúce teplonosnú kvapalinu,
- 3 – konštrukcia šikmej strechy z drevených krokiev,
- 4 – povrchová vrstva strešnej krytiny zabezpečujúca vysokú absorpciu tepla zo solárnych ziskov,
- 5 – tepelno-izolačná vrstva nad krokviami šikmej strechy zabezpečujúca jej hydroizoláciu a vytvorenie bariéry voči prenikaniu vodnej pary,
- 6 – lišty z pozinkovanej ocele vintegrované do tepelne-izolačnej vrstvy,
- 7 – prevetrávacía vzduchová vrstva systému strešnej krytiny,
- 8 – povrchová vrstva z kompozitu s matricou na báze bitúmenového tmelu vystuženého jemnozrnným čadičovým kamenivom,
- 9 – povrch vystužený ťahokovom z korozivzdornej ocele.



Obr. 6 Štruktúra strešnej krytiny z penového hliníka s povrchovou vrstvou vystuženou čadičovým kamenivom v bitúmenovej matrici.



Obr. 7. Štruktúra povrchu strešnej krytiny na báze hliníkovej peny vystuženej jemnozrnným čadičovým kamenivom, (a) rez kolmý na povrch krytiny, (b) pozdĺžny rez cez vystuženú vrstvu s hliníkovou maticou vytvorenou počas expanzie penového hliníka – v hĺbke 1 mm pod povrchom krytiny (1 – čadičová drť, 2 – penový hliník).

Tab. 2 Teplota topenia a merné skupenské teplo topenia niektorých parafínov a mastných kyselín [24]

PCM	Teplota topenia [°C]	Merné skupenské teplo topenia [J/g]	Literatúra
paraffin 18-carbons, Octadecane $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CH}_3$	28	244	[4]
PARAFOL 18-97, Octadecane – čistota min. 97 wt. %	27,5	220	[14]
RUBITHERM® RT28HC	28	250	[11]
kyselina kaprinová (dekánová) (CA), $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$	32,1	168,77	[16]
kyselina laurová (LaA), $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$	42,6	176,4	[16]
kyselina myristová (MA), $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$	54,7	178,79	[15]
kyselina stearová (SA), $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$	58,22	180,56	[15]
kyselina kaprylová (oktánová) (COA), $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{COOH}$	15,42 (topenie) 8,82 (tuhnutie)	150,99 152,56	[17]
kyselina palmitová (PA), $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$	58,9	189,6	[16]
kyselina olejová (OA), $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$			
– topenie α -formy	13,2	140,19	[18-21]
– topenie β -formy	16,2	183,73	
kyselina linolová (LA), $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	– 5,8	119,81	[21]
67/33 CA-LaA eutektická zmes (67 hm. % CA + 33hm. % LaA)	22,81	154,16	[15]
72/28 CA-MA eutektická zmes	25,36	139,2	[15]
77/23 CA-SA eutektická zmes	27,78	122,58	[15]
58/42 LaA-MA eutektická zmes	35,18	162,27	[15]
69/31 LaA-PA eutektická zmes	35,2	166,3	[17]
kokosový olej (~ 50,8 hm. % LaA + 19,6% MA + 8,2% PA + 6,7% COA + 5,8% CA + 5% OA + 2,7% SA + 1,2% LA)	25	249	[22, 23]

ZÁVER

Tento príspevok poukazuje na možnosť využitia penového hliníka na účely výroby strešnej krytiny a stropných vykurovacích/chladiacich interiérových panelov. Tepelne aktívna strešná krytina je schopná nielen účinne získať teplo zo solárnych ziskov a z okolia budovy, ale aj v prípade potreby nežiaduce teplo rozptýliť do okolia. Teplonosná kvapalina zabezpečuje prenos tepla medzi interiérom a okolím budovy, pričom stropné panely z penového hliníka impregnované PCM dokážu uchovávať veľké množstvo latentného tepla fázovej premeny PCM za účelom zabezpečenia dostatočnej tepelnej pohody s minimálnymi nárokmi na externé dodávanú energiu. Zásady analyzované v tomto príspevku sa však môžu vo všeobecnosti používať v stavebníctve na navrhovanie ľubovoľnej konštrukčnej časti, ktorá tvorí vonkajšie obvodové plášte s integrovanou funkciou energeticky efektívneho výmenníka tepla.

POĎAKOVANIE

Autori príspevku ďakujú za finančnú podporu spoločnej Vedeckej grantovej agentúre Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR a Slovenskej akadémie vied (príspevok vznikol na základe zmluvy VEGA 2/0152/17, projekt: Štúdium progresívnych materiálov vhodných pre veľmi efektívne uskladňovanie tepla) a Európskemu fondu regionálneho rozvoja (v rámci zmluvy ITMS 26240220028, projekt: Efektívne riadenie výroby a spotreby energie z obnoviteľných zdrojov, akronym: ENERGOZ).

LITERATÚRA

- [1] JERZ J., SIMANČÍK F., OROVČÍK L. Advanced solution for energy storage in net zero-energy buildings, Mechanical Technologies and Structural Materials 2014, Split: Croatian Society for Mechanical Technologies, ISSN 1847-7917 (2014) 47-54.
- [2] JERZ J., TOBOLKA P., V. MICHENKA V., DVORÁK T. Heat storage in future zero-energy buildings, International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, vol. 4, iss. 8, ISSN 2319-8753 (2015) 6722-6728.
- [3] JERZ J., SIMANČÍK F., ŠPANIELKA J., ŠEBEK J., KOVÁČIK J., TOBOLKA P. DVORÁK T., OROVČÍK L. Energy demand reduction in nearly zero-energy buildings by highly efficient aluminium foam heat exchangers. In: Materials Science Forum, 2018, vol. 919, p. 236-245. ISSN 0255-5476. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.919.236.
- [4] SHARMA A., TYAGI V. V., CHEN C. R., BUDDHI D. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 318-345.
- [5] BRUNA F. Using phase change materials (PCMs) for space heating and cooling in buildings, Proceedings of AIRAH 2004 – Conference of enhanced buildings environmentally sustainable design (2004) 26-31.
- [6] KENISARIN M., MAHKAMOV K. Solar energy storage using phase change materials, Renewable and Sustainable Energy Reviews 11 (2007) 1913-1965.
- [7] HIMRAN S., SUWONO A., MANSOORI G. A. Characterization of alkanes and paraffin waxes for application phase change energy storage medium, Energy Sources, vol. 16, no. 1 (1994) 117-128.
- [8] INABA H., TU P. Evaluation of thermophysical characteristics on shape-stabilized paraffin as a solid-liquid phase change material, Heat and Mass Transfer 32 (1997) 307-312.
- [9] DOTSENKO S. P., MARTSINKOVSKII A. B., DANILIN V. N. Thermal storage properties of *n*-paraffins, fatty acids and multicomponent systems on their basis, e-Journal: Fiziko-khimicheskii analiz svoistv mnogokomponentnykh system, vol. 1, in Russian (2004).

- [10] VELRAJ R., SEENIRAJ R. V., HAFNER B., FABER C., SCHWARZER K. Experimental analysis and numerical modeling of inward solidification on a finned vertical tube a latent heat storage unit, *Solar Energy* 60, 5 (1997) 281-290.
- [11] RUBITHERM® RT28HC Data sheet, Rubitherm Technologies GmbH, Berlin (2013).
- [12] RUBITHERM® RT44HC Data sheet, Rubitherm Technologies GmbH, Berlin (2014).
- [13] SHARMA A., CHEN C. R. Solar water heating system with phase change materials. *International review of chemical engineering*, vol. 1, no. 4 (2009) 297-307.
- [14] PARAFOL C12 – C22 – High purity normal paraffins, Corporate brochure of Sasol Performance Chemical, Organics Division, Hamburg, Germany, 2016.
- [15] WANG L., MENG D. Fatty acid eutectic/ polymethyl methacrylate composite as form-stable phase change material for thermal energy storage. In: *Applied Energy* 87 (2010) 2660-2665.
- [16] TUNÇBILEK K., SARI A., TARHAN S., ERGÜNES G., KAYGUSUZ K. Lauric and palmitic acids eutectic mixtures as latent heat storage material for low temperature heating applications. In: *Energy* 30 (2005) 677-692.
- [17] ZUO J., LI W., WENG L. Thermal performance of caprylic acid/1-dodecanol eutectic mixture as phase change material (PCM). In: *Energy and Buildings* 43 (2011) 207-210.
- [18] http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/oleic_acid
- [19] <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C112801&Mask=6F>
- [20] SATO K., YOSHIMOTO N., SUZUKI M., KOBAYASHI M., KANEKO F. Structure and transformation in polymorphism of petroselinic acid (cis- ω -12-octadecenoic acid). In: *J. Phys. Chem.* 94 (1990) 3180-3185.
- [21] PI F., KANEKO F., IWAHASHI M., SUZUKI M., OYAKI Y. Solid-State Low Temperature – Middle Temperature Phase Transition of Linoleic Acid Studied by FTIR Spectroscopy. In: *J. Phys. Chem. B*, 115 (2011) 6289-6295.
- [22] CHERNOUSOV A. A., CHAN B. Y. B. Novel form-stable phase change material composite for high-efficiency room temperature control. In: *Solar Energy Materials and Solar Cells* 170 (2017) 13-20.
- [23] PUTRI W. A., FAHMI Z., SUTJAHJA I. M., KURNIA D., WONORAHARDJO S. Thermophysical parameters of coconut oil and its potential application as the thermal energy storage system in Indonesia. In: *Journal of Physics: Conference Series* 739 (2016) doi: 10.1088/1742-6596/739/1/012065.
- [24] JERZ J., SIMANČÍK F., KOVÁČIK J., ŠPANIÉLKA J. Aluminium foam for thermo-active pitched roofs of nearly zero-energy buildings. In: *Mechanical Technologies and Structural Materials 2017*, Split: Croatian Society for Mechanical Technologies (2017) 49-58. ISSN 1847-7917.

ZOZNAM OZNAČENÍ

c	merná tepelná kapacita	[J/(g·K)]
Δh_m	merné skupenské teplo topenia	[J/g]
t	teplota topenia	[°C]
ρ	hustota	[g/cm ³]
λ	súčiniteľ tepelnej vodivosti	[W/(m·K)]

VYUŽITÍ POLYSILOXANOVÉHO GELU V SOLÁRNÍ TECHNICE

Vladimír Jirka¹, Vladislav Poulek², Martin Libra², Bořivoj Šourek¹

¹Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze

²Technická fakulta CZU Praha

ANOTACE

V České republice se se zapojilo několik organizací včetně technických univerzit do výzkumu, technologického vývoje a prototypové výroby nového typu plochých slunečních kolektorů s cílem jejich masového uplatnění. Tyto práce a pracoviště spojuje nová progresivní technologie laminace transparentním silikonovým gelem, která podstatně rozšiřuje technické i geografické možnosti uplatnění plochých kolektorů. Tato technologie byla poprvé vyzkoušena při výrobě fotovoltaických panelů, kde gel posloužil jako průhledná stále pružná zalévací hmota s optickými vlastnostmi blízkými sklu, ve které byly zapouzdřeny fotovoltaické články. Díky svým fyzikálním vlastnostem a především teplotní odolnosti v rozsahu od -60 °C do +250 °C se objevily nové možnosti a aplikace plochých slunečních kolektorů.

ÚVOD

V současnosti spojily svoje úsilí a kapacity univerzitní pracoviště: UCEEB ČVUT Praha a Katedra fyziky ČZU spolu s výzkumnými a výrobními organizacemi SKANSKA, a.s., TRAXLE, s.r.o. a ENKI, o.p.s. na vývoj, výrobu využití a zavedení do praxe nových typů plochých kolektorů a jejich aplikací.

Uvádíme základní vlastnosti polysiloxanového gelu, který tvoří základní technický prvek inovativního řešení:

- Index lomu 1,42
- Časová stabilita, životnost více než 50 let
- Teplotní rozsah využitelnosti gelu od -60 °C do +250 °C
- Není hořlavý
- Inertnost, není toxický
- Umožňuje recyklaci kolektorů

Tab. 1 Porovnání vlastností jednotlivých typů zapouzdření [1,2]

Vlastnost	EVA fólie	Polysiloxanový gel
1. Teplotní rozsah	- 40 °C do + 80 °C	- 60 °C do + 180 °C
2. Životnost	25 let	50 let
3. Stabilita na UV záření	nízká	vysoká
4. Chemická aktivita	nízká	vysoká
5. Propustnost 360 nm	8 %	90 %
6. Propustnost 400 nm	62 %	92 %
7. Propustnost 600 – 1000 nm	91 %	93 %
8. Energie na zapouzdření	49 kWh	1 kWh

Na základě těchto vlastností a to především schopnosti vydržet velké rozmezí teplot, pracovníci výše uvedených organizací se zaměřili na technická řešení nových, dosud nevyzkoušených aplikací, které na rozdíl od dnes vyráběných kolektorů umožňují jejich využití v extrémních klimatických podmínkách.

V Tab. 1 jsou uvedeny vlastnosti zapouzdření fotovoltaických panelů, využívajících k zapouzdření folii na základě kopolymeru etylenu a vinylacetátu (EVA) v porovnání s polysiloxanovým gelem.

FOTOVOLTAICKÉ APLIKACE

Fotovoltaické panely do extrémních podmínek

Technologie laminace polysiloxanovým gelem byla vyvinuta a poprvé uplatněna při výrobě slunečních fotovoltaických panelů v Moskvě (Ruská federace) v ústavu VIESCH. Prvních prakticky využitelných aplikací bylo dosaženo až v rámci spolupráce s českou firmou TRAXLE Solar, s.r.o. z Prahy. Výroba slunečního fotovoltaického panelu malého rozměru tehdy trvala několik hodin. Po několikaletém vývoji především v TRAXLE Solar bylo dosaženo toho, že laminace panelu standardní velikosti se zkrátila na několik minut. Konstrukční řešení nových panelů je založeno na tom, že „stringy“ s fotočlánky jsou zalaminovány polysiloxanovým gelem mezi dvěma skly, kde přední je vysoce transparentní a zadní, kde jsou vyvedeny kontakty, může být také průhledné nebo barvené ve hmotě nebo na povrchu v závislosti na estetických požadavcích zákazníka. Jsou používány standardní rozměry a systém komutace článků. Fotovoltaické panely byly testovány v prostředí s vysokou teplotní i mechanickou zátěží [2].

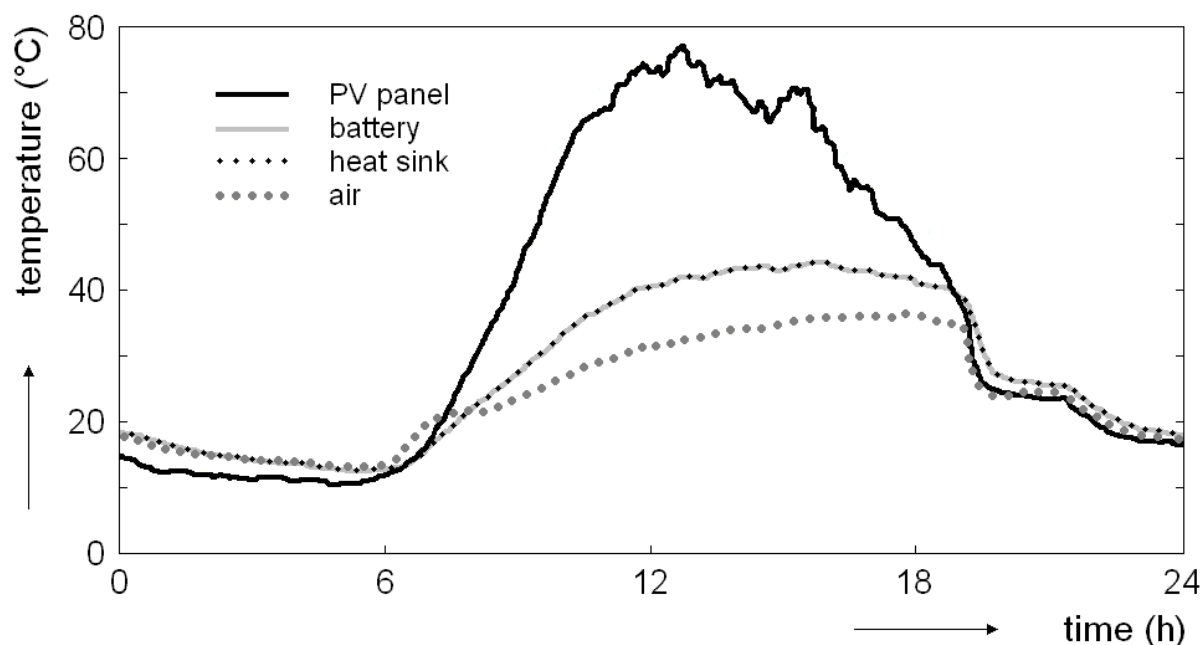


Obr. 1 Laminace fotovoltaických článků mezi dvě skla

Baterkopanely

Probíhají vývojové práce na využití fotovoltaických panelů, laminovaných polysiloxanovým gelem na vytvoření integrovaného zařízení, které obsahuje současně zdroj i úložiště vyrobené elektrické energie, tzv. baterkopanelu. Sluneční fotovoltaické panely mají na zadní straně integrovaný plochý blok lithiových baterií a tvoří jeden celek. Tomu je také podřízena komutace FV článků v kolektoru. Baterkopanely vznikly díky spolupráci Katedry Fyziky Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze se společností Solarmonitoring, s.r.o. z Prahy.

Baterkopanely v konstrukčním provedení TF ČZU byly od června 2017 do ledna 2018 testovány při simulovaném odběru na zkušebním polygonu na střeše Technické fakulty. Obavy byly především s jejich přehříváním. Baterkopanel nevykazoval žádné provozní problémy a na Obr. 2 je uveden průběh teplot na baterkopanelu. Při vysokých okolních teplotách + 37 °C v Praze dne 22.06. 2017 byla teplota lithium-iontových baterií nižší než + 45 °C v průběhu nabíjecích/nabíjecích cyklů 8 A (0,2 C).



Obr.2 Průběh teplot v baterkopanelu, kdy teplota chladiče je totožná s teplotou akumulátoru

HYBRIDNÍ FVT KOLEKTORY

Hybridní fotovoltaicko/termální (FV/T) kolektor je zařízení, které umožňuje přímou přeměnu dopadajícího slunečního záření současně na teplo a elektrický proud. Sluneční energie nevyužitá k přeměně na elektrickou energii FV články je jako teplo odváděna teplotnosnou látkou proudící v chladiči (absorbéru). Díky společné výrobě tepla a elektřiny (solární kogenerace) je hybridní FV/T kolektor schopný vyprodukovat více celkové energie než oddělené řešení (jednotlivé fotovoltaické panely a solární kolektory) při stejné zastavěné ploše. Zasklený FV/T kolektor je určen především pro využití v budovách, kde je kladen důraz na zisk tepla, nezasklená varianta FV/T kolektoru je vhodná pro aplikace, kde je prioritou produkce elektrické energie a využití nízkopotenciálního tepla je přidanou hodnotou.

Od roku 2014 probíhají v Univerzitním centru energeticky efektivních budov ČVUT v Praze (UCEEB) ve spolupráci s Technickou fakultou České zemědělské univerzity (TF CZU) v Praze výzkumné a vývojové činnosti, směřující ke vzniku hybridních kolektorů na současnou produkci elektřiny a tepla. Základ hybridního kolektoru tvoří izolační dvojsklo, natmelené transparentním polysiloxanovým gelem, ve kterém jsou zapouzdřeny stringy fotovoltaických článků, na měděný absorbér, ze kterého je odváděno teplo (viz Obr. 3 a Obr. 4). Hodnota indexu lomu gelu je blízká indexu lomu skla, a proto nejsou na optickém rozhraní žádné energetické ztráty. Absorbér je tvořen měděným plechem, na kterém je přichycen trubkový registr, protékáný teplosměnnou kapalinou, kterou je odváděno teplo k dalšímu využití [3].



Obr. 3 Řez hybridním kolektorem

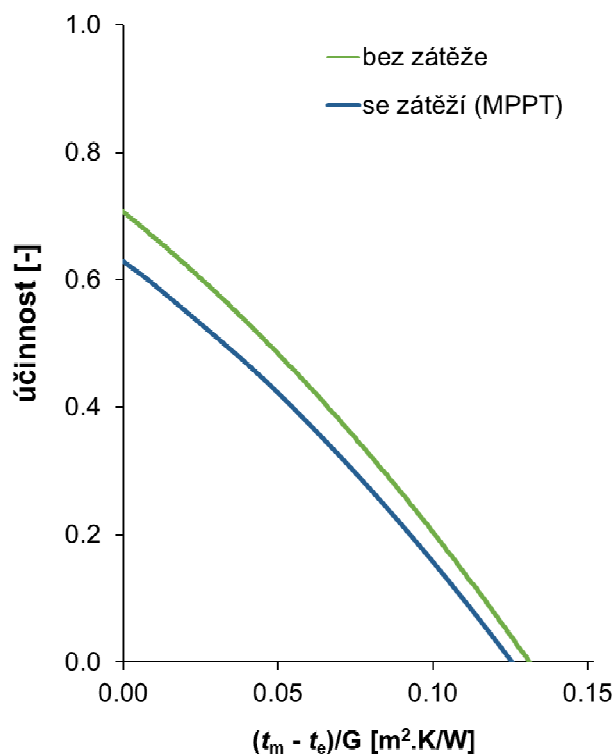


Obr. 4 Pohled z boku na zadní a čelní stranu hlavní komponenty hybridního kolektoru

V běžném provedení je použito vysoce transparentní dvojsklo bez spektrálně selektivních tenkých vrstev (neselektivní kolektor). Pro snížení tepelné ztráty a zvýšení účinnosti při vyšší provozních teplotách je nutné použít spektrálně selektivní vrstvu, která pro omezení tepelných ztrát absorberu vyzařováním odráží paprsky v tepelné oblasti spektra $\lambda > 5 \mu\text{m}$, ale současně má vysokou propustnost ve viditelné oblasti 0,4 až $1,1 \mu\text{m}$, kde dopadá maximum energie slunečního záření a je pracovní oblastí křemíkových článků. Ve vyvíjeném řešení hybridních zasklených FVT kolektorů je použito povlakované sklo s propustností 87 % v krátkovlnné oblasti, kde absorbují monokrystalické Si články, a sníženou emisivitou v dlouhovlnné oblasti na úrovni okolo 25 %, kde vyzařuje absorber [4].

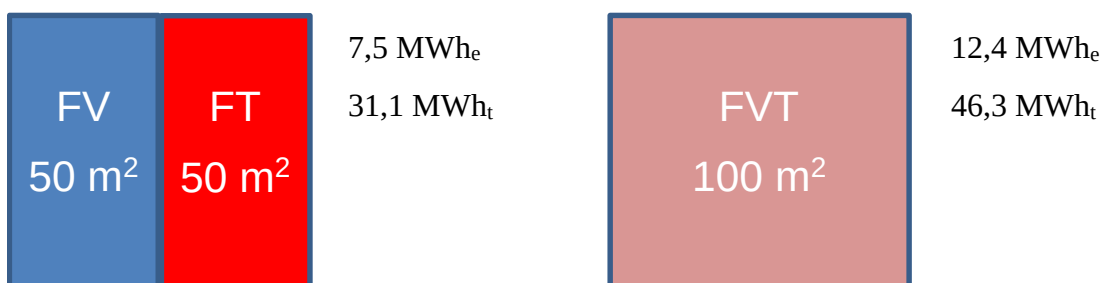
Dosud byla vyrobena řada hybridních FVT kolektorů, které byly testovány na zkušebním zařízení s umělým zdrojem – simulátorem slunečního záření (viz obr. 5). Měřeny byly vždy

tepelné a elektrické charakteristiky účinnosti. Zkouší se ve dvou režimech provozu hybridního kolektoru: bez elektrické zátěže (otevřený obvod) a se zátěží (v bodu výkonového maxima). Výsledkem jsou dvě křivky tepelné účinnosti, jak je patrné z obr. 5. Účinnost je vztažena k hrubé ploše kolektoru, viz ČSN EN ISO 9806.



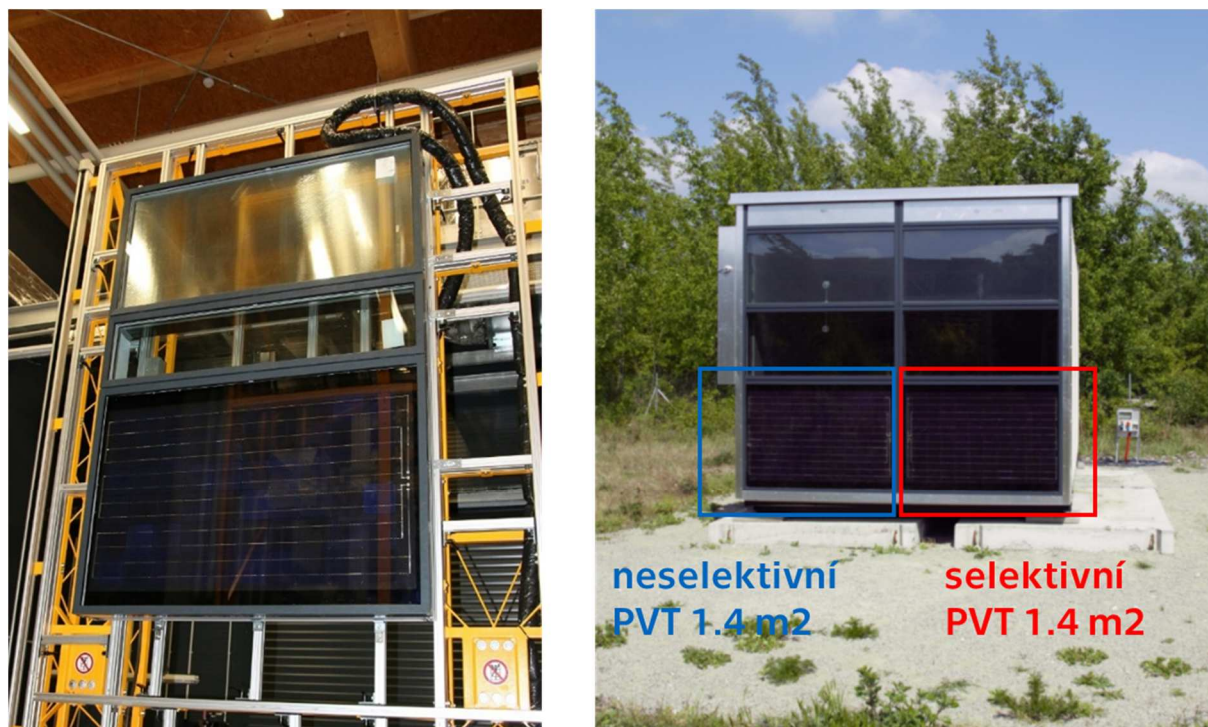
Obr. 5 Hybridní kolektor při zkoušce a výsledek

Na základě testování solárních hybridních kolektorů byl vytvořen a validován dynamický model zaskleného hybridního FVT kolektoru a byla provedena řada simulací různých solárních systémů s FVT kolektory [5]. Výsledky ukazují, že ze shodné zastavěné plochy lze získat zasklenými hybridními kolektory více energie, než pokud by jednotlivé technologie (fotovoltaické kolektory, fototermické kolektory) byly instalovány odděleně se shodnou celkovou plochou a to v jakémkoliv poměru fototermálních kolektorů a fotovoltaických panelů. Na obr. 6 je uveden příklad srovnání získané elektrické a tepelné energie z plochy 50 m² fotovoltaických modulů a 50 m² fototermických kolektorů v porovnání s 100 m² hybridních FVT kolektorů.



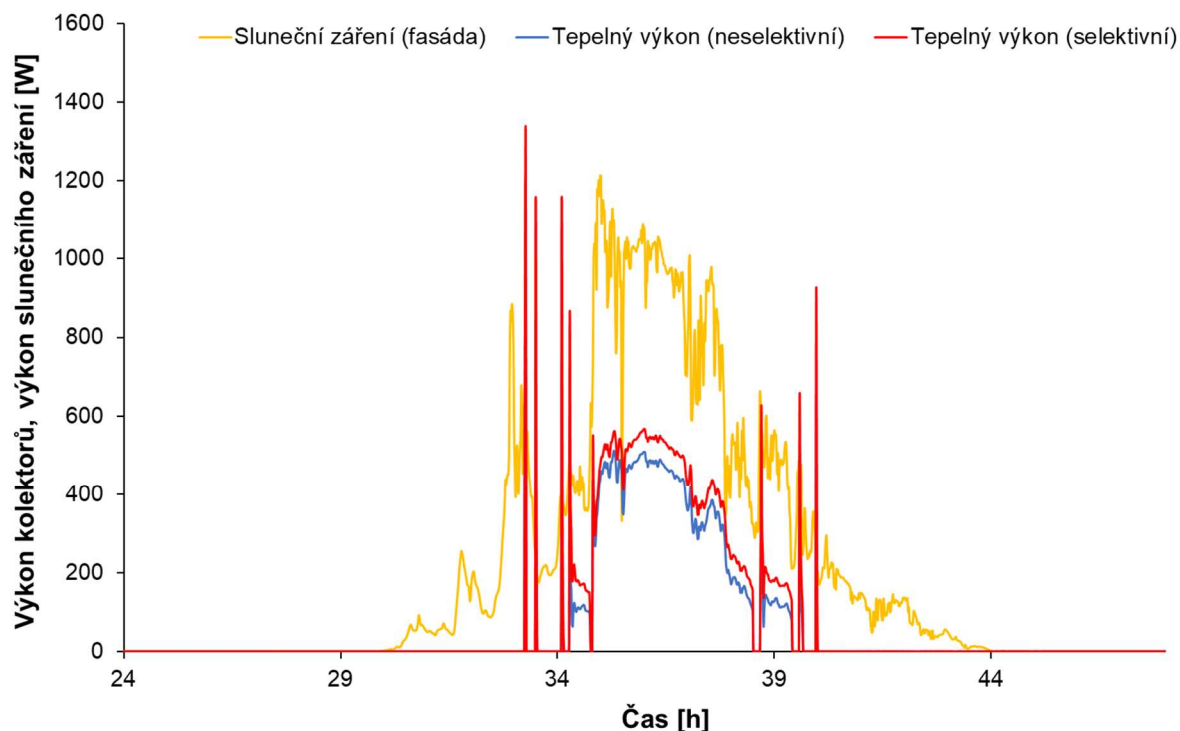
Obr. 6 Energetický zisk z plochy 50 m² standardních a 100 m² hybridních kolektorů (nahore dodané teplo, dole dodaná elektrická energie)

Ve spolupráci se společností Skanska, oblast LOP bylo vytvořeno technické řešení pro začlenění hybridních FVT kolektorů do systému lehkého obvodového pláště. Technologie může být použita jak v novostavbách, tak při rekonstrukci stavebních objektů. Hybridní FVT kolektor umožňuje zásobovat budovu teplou vodou a současně dodává elektrickou energii do přímé spotřeby nebo do akumulátorů pro následné využití. V rámci společného projektu byly vyrobeny prototypy fasádních modulů o rozměru 3 x 3 m pro další zkoušení v reálném prostředí. Pro zkoušky velkoformátových fasádních prvků byla na ČVUT UCEEB připravena testovací buňka [6] se dvěma komorami – jedna simulující tepelně upravovaný prostor za fasádním prvkem, druhá komora obsahuje technické zázemí (vytápění, chlazení, odvod tepla a elektrické energie z fasádního prvku), viz obr. 7.



Obr. 7 Testovací modul LOP s FVT kolektorem (vlevo), modul LOP 3x3 m se dvěma provedením FVT kolektoru na testovací buňce.

Lehký obvodový plášť integruje dvě provedení zaskleného hybridního FVT kolektoru, v levé části parapetu je umístěn neselektivní FVT kolektor, v pravé části je selektivní FVT kolektor. Provoz hybridních kolektorů v obvodovém plášti je průběžně monitorován. Na obr. 8 je znázorněn tepelný výkon obou FVT kolektorů během slunečného dne. Z průběhu je patrný vyšší výkon u selektivního kolektoru.



Obr. 8 Průběh výkonu FVT kolektorů během slunečného dne

ZÁVĚR

Využití polysiloxanových gelů v oblasti hybridních kolektorů otevřelo nové aplikační možnosti a to nejen z hlediska konstrukčního řešení, ale také uplatnění v různých geografických oblastech. Díky indexu lomu gelu, blízkému indexu lomu skla, jsou eliminovány energetické ztráty na jejich rozhraní. Gel přinesl nové možnosti uplatnění hermetizovaných dvojskel a selektivních vrstev při vývoji a výrobě solárních kolektorů. Vzhledem k tomu, že nosnou část kolektoru tvoří hermetizované dvojsklo, lze použít pro jejich montáž do pláště budovy standardní zasklívací konstrukce, které jsou velice sofistikovaně zpracované a představují velkou perspektivu pro jejich velkoplošné uplatnění.

ODKAZY

- [1] POULEK.V, LIBRA M.,JIRKA.V., PERSIC I.S. Polysiloxane Gel Lamination Technology, ILSA Praque, 2013 ISBN 978-80-9034311-8-8
- [2] POULEK V, .STREBKOV D.S., PERSIC I.S., LIBRA M., Towards 50 years lifetime of PV panels laminated with silicone gel technology, *Solar Energy*, 2012, 86,10, pp 3103-3108 ISSN 0038-092X
- [3] MATUŠKA, T.; ŠOUREK, B.; JIRKA, V.; KUDLÁČEK, J. Solární kolektor pro transformaci slunečního záření na teplo a elektrickou energii s poddajným absorbérem Czech Republic. Patent. CZ 307178. 2018-01-10.
- [4] POKORNÝ, N.; MATUŠKA, T.; ŠOUREK, B.; JIRKA, V. Vývoj hybridného fotovoltickotepelného solárneho kvapalinového kolektora, *TZB HAUSTECHNIK SK*. 2017, XXV.(2), 18-21. ISSN 1210-356X.
- [5] POKORNÝ, N.; MATUŠKA, T. Simulace solární soustavy s hybridními FVT kolektory, *Simulace budov a techniky prostředí 2016 - sborník 9. konference IBPSA-CZ*. Praha: IBPSA-CZ, 2016. pp. 45-50. ISBN 978-80-270-0772-1.

- [6] POKORNÝ, N.; SHEMELIN, V.; ŠOUREK, B.; MATUŠKA, T.; JIRKA, V.; STRAKA, T. Testovací buňka pro energeticky aktivní fasádní moduly, Funkční vzorek, 2017.

TEPELNÉ MODELOVÁNÍ FOTOVOLTAICKÝCH MODULŮ

Yauheni Kachalouski¹, Tomáš Matuška²

¹ Fakulta strojní, ČVUT v Praze

² Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze

Yauheni.Kachalouski@fs.cvut.cz

ANOTACE

Byl vytvořen tepelný model fotovoltaického (FV) modulu. Pro tepelnou bilanci FV modulu a výpočet provozní teploty byly v simulační analýze použity různé formulace výpočtu součinitele přestupu tepla konvekcí vlivem větru. Výsledky výpočty roční produkce elektrické energie byly vzájemně porovnány. Simulace okamžitého elektrického výkonu FV modulu při použití různých korelací se může lišit až o 15 %, na druhé vliv na výpočet roční produkce je potlačen a modely se liší do 5 %.

ÚVOD

Tepelné chování fotovoltaických (FV) modulů bylo v minulém desetiletí široce zkoumáno [1-2]. Teplota FV článků je funkcí mnoha faktorů jako je sluneční ozáření dopadající na modul, teplota okolního vzduchu, rychlost okolo proudícího větru a jeho směr, konstrukce FV modulu, sklon modulu, apod. Mnoho jednoduchých korelací pro teplotní závislost produkce nalezených v literatuře bylo shrnuto Skoplakim [3], studie teplotní závislosti produkce FV modulů v závislosti na použitých modelech byla provedena např. v [4].

Řada autorů z oblasti obálky budov, solárních tepelných kolektorů či fotovoltaických modulů se v minulosti soustředila na odvození korelací pro větrem vyvolaný přenos tepla konvekcí a jejich použití pro modelování tepelné bilance obecnému povrchu vystavenému větru [5, 6]. Velice dobrá rešerše modelů konvekce vlivem větru byla představena Palyvosem [7]. Existuje mnoho přístupů zohledňujících rychlost větru a jeho směr [5] rozlišujících mezi náběžnou a závětrnou stranou povrchu a definujících součinitel přestupu tepla konvekcí pro přední a zadní část FV modulu [8]. Obecně, přijetím jakékoli modelu pro stanovení součinitele přestupu tepla musí být zohledněno experimentální uspořádání, samotná metoda stanovení a okrajové podmínky pro použití vztahu [5], protože řada empiricky stanovených modelů vede k velice rozdílným výsledkům ve produkci elektrické energie FV modulu [8].

Konvekce vlivem větru hraje významnou úlohu ve stanovení teploty FV článků, která ovlivňuje produkci elektrické energie, přitom modely pro vlastní výpočet se od sebe výrazně odlišují a vykazují relativně velký rozptyl. Proto byla provedena analýza, jak závisí vypočtená produkce FV modulu na volbě modelu pro větrem vyvolaný přestup tepla konvekcí.

MATEMATICKÉ MODEL Y

Matematický model FV modulu je uvažován jako jednorozměrná tepelná bilance řešená iteračním přístupem pro stanovení teploty FV článků. Konstrukce FV modulu je uvažována a jedním zasklením, FV články zapouzdřenými mezi dvě vrstvy EVA materiálu a zadní ochrannou vstvou z Tedlaru. Seznam parametrů jednotlivých vrstev je naznačen v Tab. 1, údaje byly převzaty z různé literatury [9, 21].

Obecná energetická bilance FV modulu je popsána rovnicí (1) jako

$$\frac{dQ}{d\tau} = \dot{W}_s - \dot{W}_r - \dot{W}_h - \dot{W}_e \quad (1)$$

kde je

- $\frac{dQ}{d\tau}$ změna tepelného obsahu FV modulu;
- $\dot{W}_s$ tok slunečního záření [W];
- $\dot{W}_r$ tok slunečního záření odraženého od FV modulu [W];
- $\dot{W}_h$ tepelný tok do okolí [W];
- $\dot{W}_e$ elektrický výkon FV modulu [W].

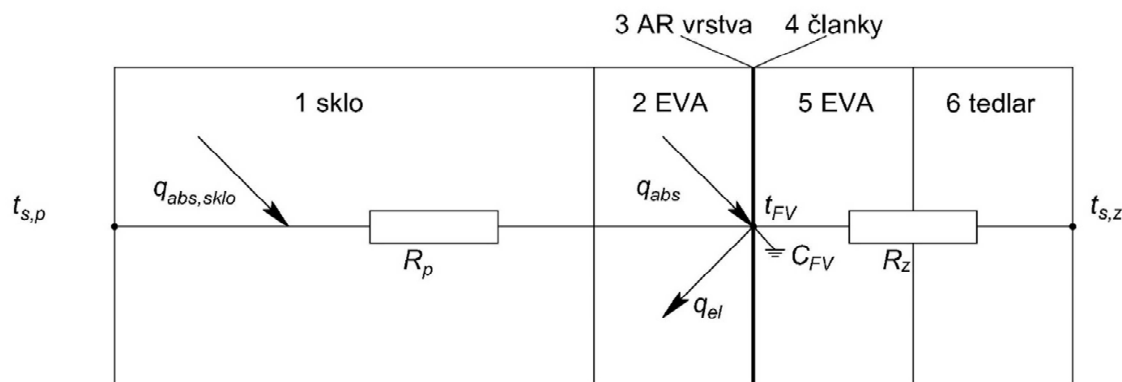
Tab. 1 Tepelné vlastnosti vrstev FV modulu.

Vrstva	Materiál	Tloušťka [mm]	Tepelný odpor [m ² K/W]	Tepelná kapacita [J/m ² .K]
Přední sklo	sklo	4	3,92	7900
Laminační folie	EVA	0,5	1,43	920
FV články	c-Si	0,225	0.002	490
Laminační folie	EVA	0,5	1,43	920
Zadní ochranná vrstva	Tedlar	0,25	1,25	423
Celkem		5,475	8,03	10563

Jak je patrné z Tab. 1 vrstva skla má nejvyšší tepelný odpor a kapacitu, FV články nejmenší. Antireflexní vrstva byla kvůli velice nízkému odporu zanedbána. Pro účely modelu byly vrstvy agregovány do tří izotermních vrstev (vrstev se stejnou uvažovanou teplotou): přední vrstva, vrstva FV článků a zadní vrstva (viz Obr. 1) s tepelnými odpory

$$R_p = R_{sklo} + R_{EVA} \quad (2)$$

$$R_z = R_{EVA} + R_{Tedlar} \quad (3)$$



Obr. 1 Zjednodušená struktura FV modulu.

Zjednodušené schéma FV modulu je znázorněno na Obr. 1 s tepelnými odpory naznačených vrstev. Přenos tepla lze pak popsat následovně:

- záření mezi předním sklem a oblohou, resp. záření mezi předním sklem a terénem, zadní ochrannou vrstvou a okolím (terén, střecha, obloha);
- volná a nucená konvekce na povrchu předního skla, resp. zadní ochranné vrstvy;
- vedení tepla přední vrstvou, resp. zadní vrstvou.

Bylo zavedeno několik předpokladů:

- celková tepelná kapacita C_{FV} je soustředěna do vrstvy FV článků (viz Obr. 1);

- vlastnosti materiálů nejsou závislé na teplotě.

Dále byla provedena energetická bilance každé vrstvy. Pro zjednodušení rovnic byl tepelný odpor nahrazen tepelnou propustností $\Lambda = \frac{1}{R}$.

Pro přední vrstvu:

$$0 = h_{c,p}(t_a - t_{s,p}) + h_{r,p,o}(t_o - t_{s,p}) + h_{r,p,gr}(t_{gr} - t_{s,p}) + \Lambda_p(t_{FV} - t_{s,p}); \quad (3)$$

Pro vrstvu FV článků:

$$C_{FV} \frac{dt_{FV}}{d\tau} = \Lambda_p(t_{FV} - t_{s,p}) + \Lambda_z(t_{FV} - t_{s,z}) + q_{abs} - q_{el}; \quad (4)$$

Pro zadní vrstvu:

$$0 = h_{c,z}(t_a - t_{s,z}) + h_{r,z,s}(t_{sky} - t_{s,z}) + h_{r,z,gr}(t_{gr} - t_{s,z}) + \Lambda_z(t_{FV} - t_{s,z}); \quad (5)$$

kde je

$h_{c,p}, h_{c,z}$ součinitel přestupu tepla konvekci na přední, resp. zadní vrstvě [W/m^2K];

$h_{r,p,s}, h_{r,p,gr}$ součinitel přestupu tepla zářením mezi přední vrstvou a oblohou, resp. přední vrstvou a terénem [W/m^2K];

$h_{r,z,s}, h_{r,z,gr}$ součinitel přestupu tepla zářením mezi zadní vrstvou a oblohou, resp. zadní vrstvou a terénem [W/m^2K];

Λ_p, Λ_z tepelná propustnost přední vrstvy, resp. zadní vrstvy [W/m^2K];

q_{abs}, q_{el} tok energie pohlcený články, resp. generovaný články jako elektrický výkon [W/m^2];

t_a, t_o, t_{gr} teplota okolního vzduchu, oblohy a terénu [$^{\circ}C$];

$t_{s,p}, t_{s,z}, t_{FV}$ teplota povrchu přední vrstvy, zadní vrstvy a FV článků [$^{\circ}C$];

C_{FV} tepelná kapacita FV modulu [J/m^2K].

Jelikož časová konstanta FV modulu byla zjištěna velice malá (do 20 min), byla další analýza využívající klimatické údaje s hodinovým kroku prováděna s uvažováním ustálených podmínek (člen $\frac{dQ}{d\tau} = 0$) [11].

Záření mezi FV modulem a oblohou, resp. terénem

Jelikož teplota oblohy není rovnoměrná, zavádí se ekvivalentní teplota oblohy, uvažující oblohu jako černé těleso. Součinitel přestupu tepla zářením mezi povrchem i a oblohou a mezi povrchem i a terénem je vyjádřen následovně:

$$h_{r,i,s} = \varepsilon_i \sigma F_{o,i} (T_o^2 + T_{s,i}^2) (T_o + T_{s,i}); \quad (6)$$

$$h_{r,i,gr} = \varepsilon_i \sigma F_{gr,i} (T_{gr}^2 + T_{s,i}^2) (T_{gr} + T_{s,i}); \quad (7)$$

kde je

ε_i emisivita vrstvy i [-];

σ Stefan-Boltzmannova konstanta, $\sigma = 5,67 \cdot 10^8$ [W/m^2K^4];

$F_{o,i}, F_{gr,i}$ úhlový faktor mezi oblohou a vrstvou i , resp. mezi terénem a vrstvou i [-].

Existuje řada korelací pro výpočet ekvivalentní teploty oblohy, pro účely analýzy byla použita rovnice (10), která pro výpočet teploty oblohy T_o [K] používá teplotu okolního vzduchu T_a [K] a teplotu rosného bodu t_{dp} [°C]:

$$T_o = T_a \left(0.711 + 0.56 \frac{t_{dp}}{100} + 0.73 \left(\frac{t_{dp}}{100} \right)^2 \right)^{1/4}; \quad (10)$$

Vedení vrstvami

Tepelná propustnost vrstva je dána vztahem:

$$A_i = \frac{\lambda_i}{\delta_i}; \quad (11)$$

kde je

λ_i , tepelná vodivost vrstvy i [W/mK];

δ_i , tloušťka vrstvy i [m].

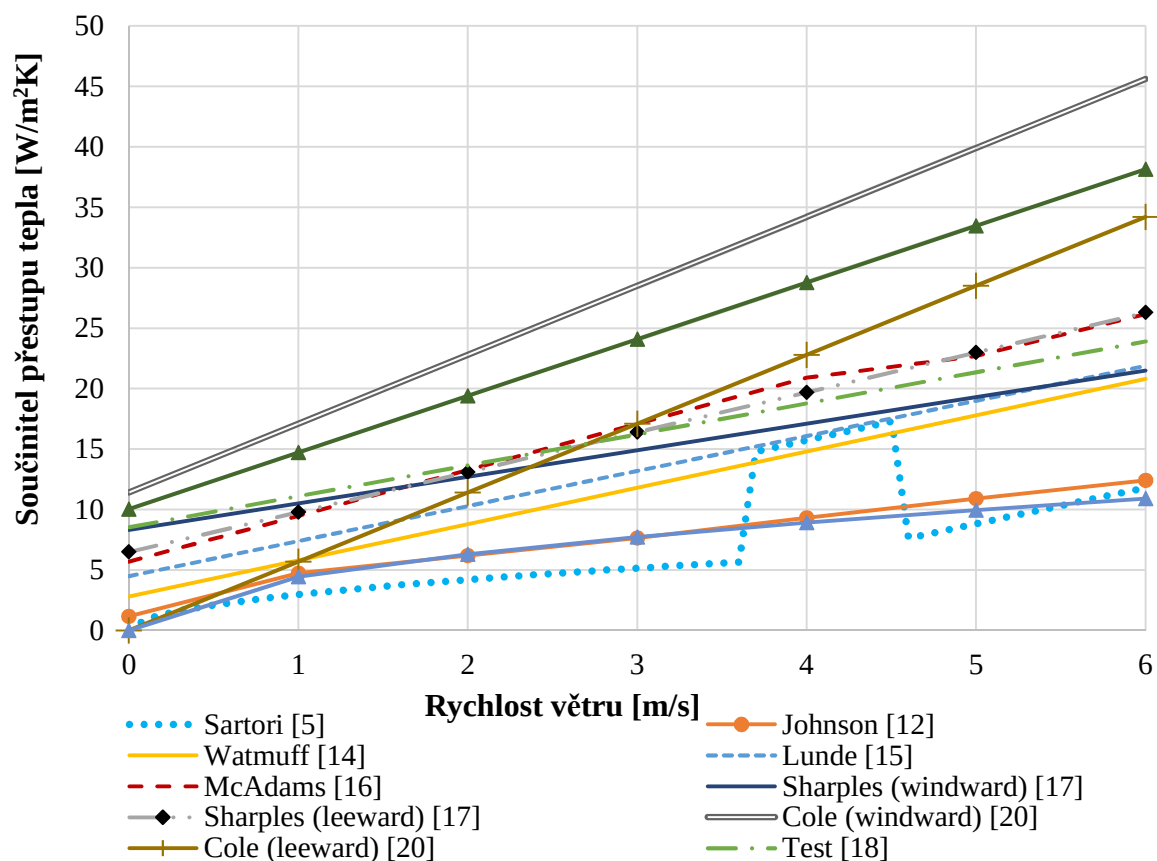
Konvekce vlivem větru z povrchu do okolí

Přestup tepla konvekcí u FV modulu je na jedné straně zásadním členem při zkoumání tepelného chování FV modulu, na druhé straně jeho vyčíslení za reálných podmínek provozu je velice komplexní úloha. V literatuře lze nalézt celou řadu modelů [7], nicméně velká část z nich nakonec zjednodušuje problém do rovnice (12) s koeficienty a a b .

$$h_w = a + b \cdot w; \quad (12)$$

kde je

w rychlost větru [m/s].



Obr. 2 Modely pro součinitel přestupu tepla konvekcí vlivem větru použité v analýze

Mnoho korelací neuvažuje jen rychlost větru, ale také směr větru a rozlišuje mezi náběžnou plochou a závětrnou plochou modulu. V oblasti solární techniky je potom nejčastěji používaná McAdamsova korelace.

Obr. 3 ilustruje, jak se modely pro stanovení součinitele přestupu tepla konvekcí vlivem větru navzájem velice liší, často z důvodu odlišných okrajových podmínek stanovení. Při uvažování rychlosti větru 3 m/s vykazuje součinitel přestupu tepla konvekcí nejmenší hodnotu na úrovni 5 W/m²K a největší 28 W/m²K, takže se liší více než 5krát (viz Obr. 2). Součinitel přestupu tepla zářením se pohybuje okolo hodnoty 6 W/m²K (s uvažováním emisivity 0,9). Konvekce vlivem větru tak může hrát významnou roli v přenosu tepla FV modulu.

Elektrický model

Elektrický výkon FV modulu je dán elektrickou účinností, která je závislá především na dvou provozních veličinách: teplota FV článků t_{FV} a sluneční ozáření G . Obě závislosti jsou pro vyjádření elektrického výkonu provozní účinnosti FV modulu implementovány v modelu ve formě:

$$q_{el} = \eta_{FV,ref} \left(1 + \gamma(t_{FV} - t_{FV,ref}) \right) \left(1 + k \cdot \ln \frac{G}{G_{ref}} \right) G_T IAM_{eff}; \quad (13)$$

kde je

$\eta_{FV,ref}$ jmenovitá účinnost FV modulu za normových zkušebních podmínek [-] (referenční teplota článku $t_{FV,ref} = 25$ °C, referenční sluneční ozáření $G_{ref} = 1000$ W/m²);

γ teplotní součinitel výkonu [1/K];

IAM_{eff} efektivní modifikátor úhlu dopadu [-], integrující IAM pro přímé, difúzní a odražené sluneční záření;

Pro analýzu byl použity následující parametry polykrystalické technologie FV modulů: $\eta_{FV,ref} = 0,159$, $\gamma = -0,45$ %/K a $k = 0,03$.

Optický model

Pro zahrnutí optického chování FV modulu, byl do modelu integrován i modifikátor úhlu dopadu vyjadřující optickou charakteristiku FV modulu:

$$IAM = 1 - b_0 \left(\frac{1}{\cos\theta} - 1 \right) \quad (14)$$

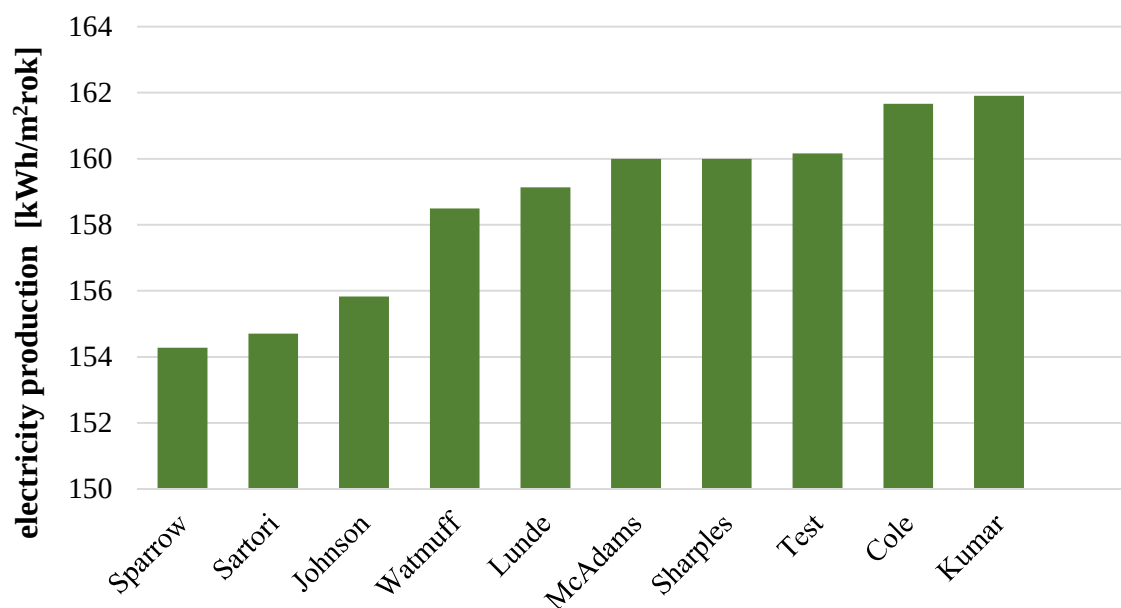
kde je

θ úhel dopadu [deg];

b_0 koeficient [-], $b_0 = 0.05$ pro polykrystalickou technologii.

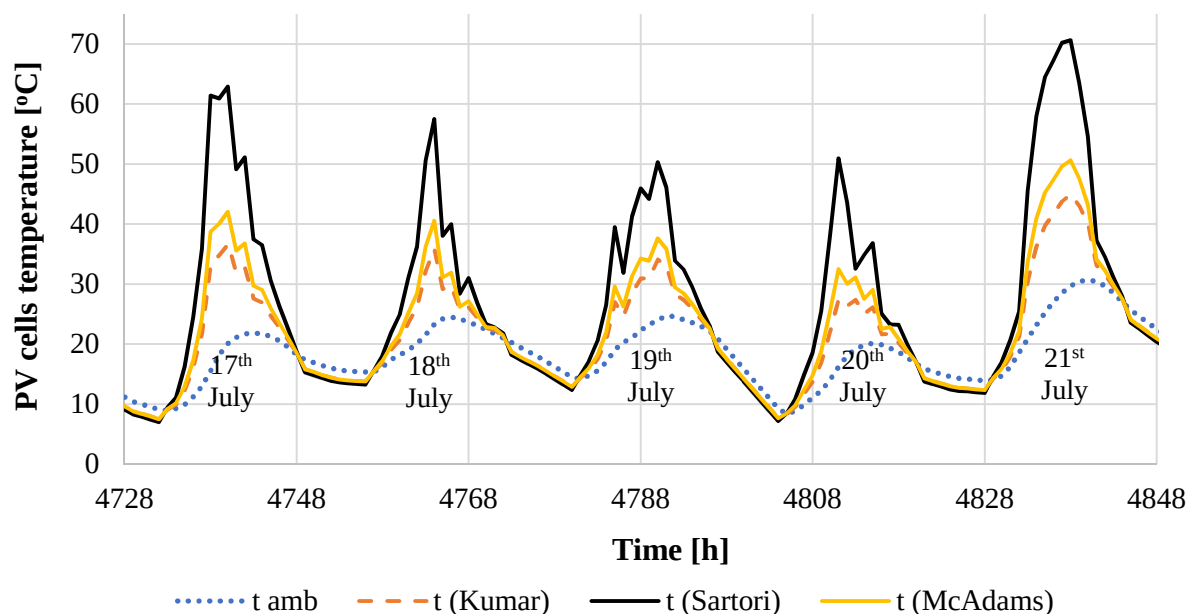
VÝSLEDKY

Výsledky ročních simulací jsou ukázány na Obr. 3. Pro simulace byly použity údaje meteorologické databáze typického roku pro Prahu [11]. Největší produkci elektrické energie vykazuje matematický model při použití korelace podle Kumara a Cola, protože tyto modely vykazují největší hodnoty součinitelů přestupu tepla konvekcí, a FV modul tak výpočtově pracuje při nejnižších teplotách a tedy nejvyšší provozní účinnosti. Rozdíl ve vypočtené produkci elektrické energie mezi jednotlivými modely je do 5 %.



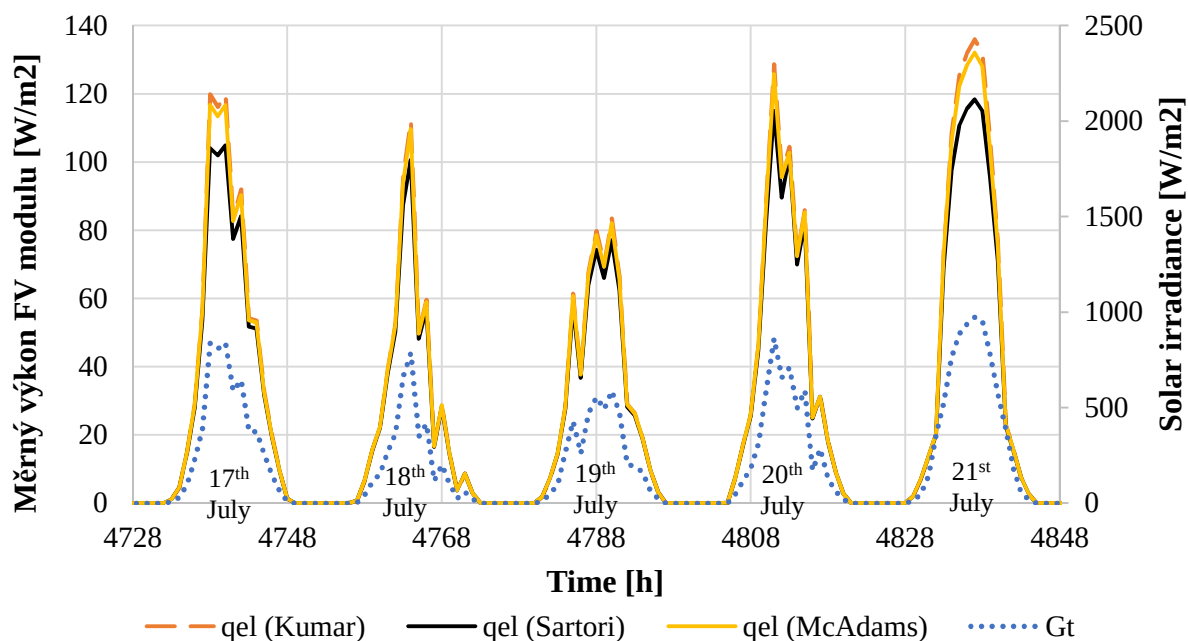
Obr. 3 Produkce elektrické energie FV modulu stanovená modelem pro různé korelace přestupu tepla konvekcí vlivem větru

Na základě Obr. 3 je možné výsledky rozdělit do tří skupin pro další analýzu: model s nejnižším, středním a nejvyšším součinitelem přestupu tepla konvekcí vlivem větru. Jako reprezentanty každé skupiny byly vybrány korelace Sartori (nejnižší), McAdams (střední), Kumar (nejvyšší).



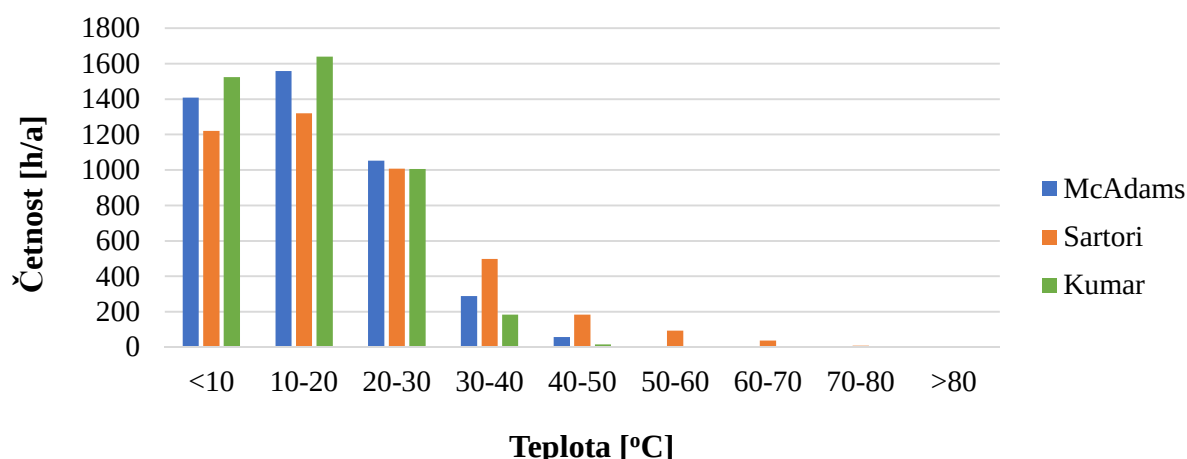
Obr. 4 Teplota FV článků při simulaci s různými modely konvekce vlivem větru

Obr. 4 ukazuje, jak se mění teplota modulu u zvolených třech skupin korelací. Rozdíl teplot mezi modely podle Kumara a Sartoriho dosahuje téměř 30 K (21th July). Takový rozdíl teplot vede k téměř 2% absolutnímu rozdílu v účinnosti FV modulu a tedy k 15% rozdílu v produkci elektrické energie (viz Obr. 5).



Obr. 5 Měrný výkon FV modulu v simulaci s různými modely konvekce vlivem větru

Obr. 6 ukazuje roční četnost teploty FV článků pro všechny tři modely konvekce vlivem větru. Nejčastější teploty jsou pod 30 °C, pouze několik hodin v roce jsou teploty nad 60 °C.



Obr. 6 Roční četnost teplot FV článků v simulaci s různými modely konvekce vlivem větru

ZÁVĚR

Byl představen model fotovoltaického modulu, na kterém byla provedena analýza vlivu volby modelu přestupu tepla konvekcí vlivem větru na vypočtený elektrický výkon. Volba modelu může hrát v detailních výpočtech relativně velkou úlohu. Simulace okamžitého elektrického výkonu se může lišit až o 15 %. Na druhé straně vliv volby modelu konvekce na roční produkci FV modulu je potlačen. Rozdíly ve vypočtené produkci elektrické energie jsou do 5 % vzhledem k relativně nízkým provozním teplotám FV modulu. Po většinu roku se teploty FV článků pohybují pod 30 °C.

LITERATURA

- [1] AKHSASSI M. et al., Experimental investigation and modeling of the thermal behavior of a solar PV module, Solar Energy Materials and Solar Cells, 2017, ISSN 0927-0248.
- [2] KING, D.L. et al., 2004. Photovoltaic Array Performance Model, SANDIA Report, SAND2004-3535. Sandia National Laboratories, New Mexico.

- [3] SKOPLAKI, J.A. PALYVOS, On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: a review of efficiency/power correlations, *Solar Energy* 83 (2009) 614–624.
- [4] BARDHI et al., Comparison of PV Cell Temperature Estimation by Different Thermal Power Exchange Calculation Methods.
- [5] SARTORI, E., 2006. Convection coefficient equations for forced air flow over flat surfaces. *Solar Energy* 80, 1063–1071.
- [6] KENDOUSH, A.A., 2009. Theoretical analysis of heat and mass transfer to fluids flowing across a flat plate. *Int. J. Therm. Sci.* 48, 188–194.
- [7] PALYVOS, J.A., 2008. A survey of wind convection coefficient correlations for building envelope energy systems' modeling. *Appl. Therm. Eng.* 28, 801–808.
- [8] KAPLANI E., KAPLANIS S., Thermal modelling and experimental assessment of the dependence of PV module temperature on wind velocity and direction, module orientation and inclination, *Solar Energy*, Volume 107, 2014, Pages 443-460, ISSN 0038-092X.
- [9] ARMSTRONG S., HURLEY W.G., A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions, *Applied Thermal Engineering*, Volume 30, Issues 11–12, 2010, Pages 1488-1495, ISSN 1359-4311.
- [10] BERDAHL P., MARTIN M., Emissivity of clear skies, *Sol. Energy* 32 (1984) 663–664.
- [11] Transient System Simulation Tool – TRNSYS 17.1, The University of Wisconsin, Madison, <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>
- [12] JOHNSON R. R., OTHIENO, H.: Estimated wind related heat transfer coefficients for flat plate solar collectors.
- [13] SPARROW, E.M., RAMSEY, J.W., MASS, E.A., 1979. Effect of finite width on heat transfer and fluid flow about an inclined rectangular plate. *Trans. ASME, J. Heat Transfer* 101, 199–204.
- [14] WATMUFF, J.H. et al., 1977. Solar and Wind Induced External Coefficients – Solar Collectors. In: *Revue Internationale d'Héliotechnique*, 2nd Quarter, pp. 56.
- [15] LUNDE, P.J., 1980. *Solar Thermal Engineering*. John Wiley and Sons, New York.
- [16] MCADAMS, W.H., 1954. *Heat Transmission*, third ed. McGraw-Hill, New York.
- [17] SHARPLES, S., CHARLESWORTH, P.S., 1998. Full-scale measurements of wind induced convective heat transfer from a roof-mounted flat plate solar collector. *Solar Energy* 62 (2), 69–77.
- [18] TEST, F. L., LESSMANN, R. C.: An experimental study of heat transfer during forced convection over a rectangular body. *Transactions of ASME – Journal of Heat Transfer*, Vol. 102, 146-151, 1980.
- [19] KUMAR, S. et al.: Wind induced heat losses from outer cover of solar collector. *Renewable Energy*, Vol. 10, No. 4, pp. 613-616, 1997.
- [20] COLE, R.J., STURROCK, N.S., 1977. The convective heat exchange at the external surface of buildings. *Buildings and Environment* 12, 207–214.
- [21] DUFFIE, J.A., BECKMAN, W.A., 1991. *Solar Engineering of Thermal Processes*, second ed. John Wiley & Sons Inc., New York.

Tento příspěvek vznikl za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. LO1605 - Univerzitní centrum energeticky efektivních budov – Fáze udržitelnosti a projektu SGS16/212/OHK2/3T/12 - Modelování, řízení a navrhování zařízení techniky prostředí.

VĚTRACÍ JEDNOTKY S TEPELNÝM ČERPADLEM

Martin Kny

UCEEB ČVUT, Trinecká 1042, 273 43 Buštěhrad
martin.kny@cvut.cz

ANOTACE

Príspevek se věnuje možnostem využití energie z odpadního vzduchu při větrání bytových staveb. V úvodu jsou představeny legislativní požadavky na bytové větrání a možné způsoby technického řešení využití odpadního tepla. V závěru je pomocí matematického modelu objektu rodinného domu provedeno vyhodnocení několika variant technického řešení využití energie z odpadního vzduchu.

ÚVOD

Na větrání bytových staveb jsou v současné době kladeny na první pohled protichůdné požadavky. Z pohledu spotřeby tepla na vytápění je větrání omezováno (výměna oken za nová těsnější, systémové neřešení konceptu větrání). Řízení větrání (otevírání oken) je často nadále ponecháno na uživatelích bytů. V důsledku tak mohou dosahovat skutečné intenzity větrání velmi malých hodnot (i pod 0.1). Tento stav má negativní vliv nejen na stavební konstrukce, ale i na kvalitu vnitřního prostředí. Na straně druhé stojí legislativní požadavky a zdravý rozum, které říkají, že dostatečné větrání je nutné. Príspevek představuje možnosti, jak protichůdné požadavky splnit a přitom zajistit dostatečné větrání při nízké spotřebě tepla.

POŽADAVKY NA VĚTRÁNÍ

Základní požadavky na větrání bytových staveb řeší vyhláška č. 268/2009 Sb. [1]. Požadavky jsou závazné a platí pro všechny nově realizované objekty. Vyhláška je v souladu s normou ČSN EN 15665/Z1 [2]. Předpisy stanovují hodnoty doporučené (intenzita větrání $n = 0.5$, případně dodávané množství čerstvého vzduchu na osobu $50 \text{ m}^3/\text{hod}$) a hodnoty minimální ($n = 0.3$, případně $25 \text{ m}^3/\text{hod}$). V době nepřítomnosti osob v objektu je možné intenzitu větrání n snížit na 0.1. Dále se předpokládá, že větrání je zajištěno jiným způsobem než ručním otevíráním oken.

ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA

V bytových stavbách je možné v současnosti použít následujících způsobů větrání využívajících ve větší či menší míře tepla z odpadního vzduchu:

1) Bez využití odpadního tepla

Větrání objektu je podtlakové s centrálním odvodem. Přívod vzduchu do místností zajišťují přívodní prvky pro čerstvý vzduch osazené v obvodové stěně jednotlivých místností. Požadavky legislativy jsou naplněny, objekt je dostatečně větrán. Investiční náklady jsou nízké, spotřeba tepla vysoká.

2) Osazení výměníku zpětného získávání tepla

Pro osazení výměníku zpětného získávání tepla je nutné zajistit společné trasování proudu přiváděného čerstvého vzduchu a odváděného odpadního vzduchu. Proud vzduchu si vzájemně předávají teplo přes teplosměnnou plochu výměníku. Toto řešení vede na použití rovnotlakého systému s přívodním a odvodním potrubím. Investiční náklady jsou oproti podtlakovému větrání vyšší, vzhledem k osazením ZZT (běžná účinnost cca 80 %) však spotřeba tepla významně klesá.

3) Osazení tepelného čerpadla na straně odpadního vzduchu

Toto řešení nahrazuje výměník ZZT za tepelné čerpadlo (dále TČ). Může být použito TČ systému vzduch - vzduch, které ohřívá přiváděný vzduch do objektu. Případně může být použito TČ vzduch - voda. Toto řešení nevyžaduje svedení přiváděného a odpadního vzduchu do jednoho místa a může tak být použito i při jednoduchém systému podtlakového větrání. Získané teplo může být dále využito při vytápění objektu, nebo přípravě TV. Vzhledem k lepším pracovním podmínkám (teplejší odváděný vzduch) oproti TČ pracujícím s venkovním vzduchem dosahují TČ obvykle vyšších sezonních topných faktorů.

4) Osazení výměníku ZZT a TČ

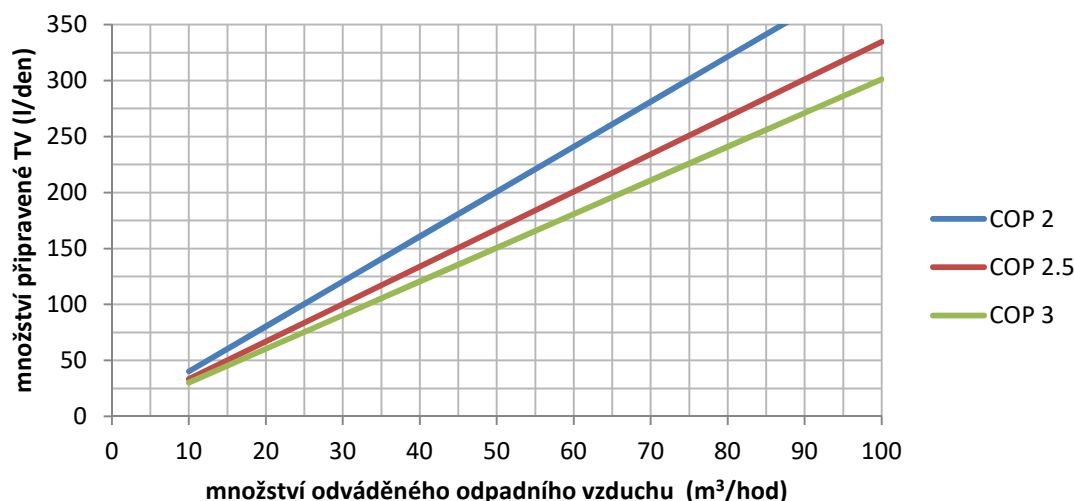
Řešení je kombinací předchozích variant. Odpadní vzduch nejdříve předá část tepelné energie ve výměníku ZZT vzduchu přiváděnému a další část je předána v TČ. Opět je vyžadováno svedení proudů vzduchu do jednoho místa. Oproti variantě popsané v bodu 3 pracuje TČ s nižší teplotou vzduchu (část energie již předána ve výměníku ZZT). Výsledná účinnost využití tepla z odpadního vzduchu je však z představených variant nejvyšší.

VĚTRACÍ JEDNOTKY S TČ DOSTUPNÉ NA TRHU

Na trhu jsou běžně dostupné jednotky s výkonem TČ od cca 0.5 kW (pro množství odváděného vzduchu od cca 100 m³/hod) až po několik desítek kW. Pro rodinné domy najdou uplatnění zejména jednotky s výkonem TČ cca 1 až 1.5 kW (200 až 300 m³/hod). Jednotky obsahují TČ vzduch – vzduch nebo vzduch – voda, případně doplněné o výměník ZZT. Prodávané jednotky jsou vybaveny kompresorovými TČ. Pro větrací jednotky je však možné využít i TČ postavené na bázi Peltierových článků. Tyto jednotky pro větrání budov jsou zatím ve fázi vývoje. TČ využívající Peltierových článků nedosahují vysokých topných faktorů (pro podmínky větrací jednotky cca 2), jsou však konstrukčně jednoduché a lze u nich očekávat dlouhou životnost. Vývoj větrací jednotky s Peltierovými články probíhá v současné době také na pracovišti autora.

VYUŽITELNÝ VÝKON VĚTRACÍ JEDNOTKY S TČ

Volba výkonu větrací jednotky s TČ závisí na objemovém průtoku vzduchu. Výkon jednotky s TČ, která je určena pro přípravu TV v závislosti na topném faktoru COP a objemovém průtoku vzduchu je na Obr. 1. Z obrázku je patrné, že při doporučeném průtoku vzduchu na osobu (50 m³/hod.) je možné s jednotkou s topným faktorem COP = 3 (A20/W55) za den připravit 150 l TV o teplotě 55 °C, případně pro minimální požadovaný průtok vzduchu (25 m³/hod.) cca 75 l TV. Jedná se tak většinou o hodnoty vyšší, než je denní spotřeba TV.



Obr. 1 Množství připravené TV ($\Delta 45\text{ K}$) v závislosti na průtoku vzduchu a COP TČ

Přebytečné teplo je v otopné sezoně možné využít pro vytápění objektu. Na Obr. 1 uvedené množství tepla odpovídá celodennímu provozu jednotky. V reálném provozu je nutno počítat s tím, že větrací systém bytové stavby může být v průběhu dne určitý čas v režimu útlumu (bez přítomnosti osob) s povolenou intenzitou větrání n pouze 0.1. Při takto malém průtoku nemůže být TČ v provozu. Využitelná energie je tak při přerušovaném provozu nižší.

MODELOVÁ ENERGETICKÁ BILANCE PRO RODINNÝ DŮM

Energetická bilance byla zpracována pro rodinný dům s variantním řešením větracího systému. Pro systém větrání byly použity 4 varianty popsané v předchozím textu. Jednalo se o následující systémy větrání:

- podtlakové větrání s centrálním odvodem vzduchu (bez využití odpadního tepla),
- rovnotlaké větrání s jednotkou osazenou výměníkem ZZT,
- podtlakové větrání s centrálním odvodem a jednotkou s TČ (vzduch – voda)
- rovnotlaké větrání s jednotkou osazenou výměníkem ZZT a TČ (vzduch – voda)

Celoroční energetická bilance byla zpracována v programu TRNSYS [3] pro dvě množství větracího vzduchu na osobu, 50 m³/hod a 25 m³/hod (hodnoty v závorkách). V modelu byly použity následující okrajové podmínky:

- tepelně-technické parametry obálky budovy dle ČSN 73 0540 (doporučené hodnoty) [4],
- vytápěná plocha 150 m², 2 NP, sedlová střecha, počet osob 4,
- nepřítomnost osob v objektu – režim útlumu větrání ($n = 0.1$), 8:00 až 14:00,
- denní spotřeba TV 45 l/os, (celoročně teplota SV 10 °C, teplota TV 55 °C)
- účinnost výměníku ZZT 77 %, obtok výměníku nad 22 °C v interiéru a nad 13 °C v exteriéru, měrný příkon ventilátorů 2000 W/(m³/s) [5],
- tepelné čerpadlo vzduch – voda, COP 2.7 (A20/W55), přednostní příprava TV, přebytky využity pro vytápění, příkon regulace a oběhových čerpadel TČ 25 W (12.5 W),
- klimatická data pro Prahu Ruzyně, výpočtový krok simulace 5 min,

V modelu byla provedena následující zjednodušení:

- systém vytápění nebyl podrobně modelován – pouze bilance okamžité potřeby tepla a dostupného tepla z TČ,
- konstantní výstupní teplota pro přípravu TV a vytápění (55 °C).

VÝSLEDKY MODELU

Vybrané výsledky jsou zobrazeny na následujících obrázcích a tabulkách. Na Obr. 2 jsou uvedeny celkové spotřeby energií pro jednotlivé řešené varianty.

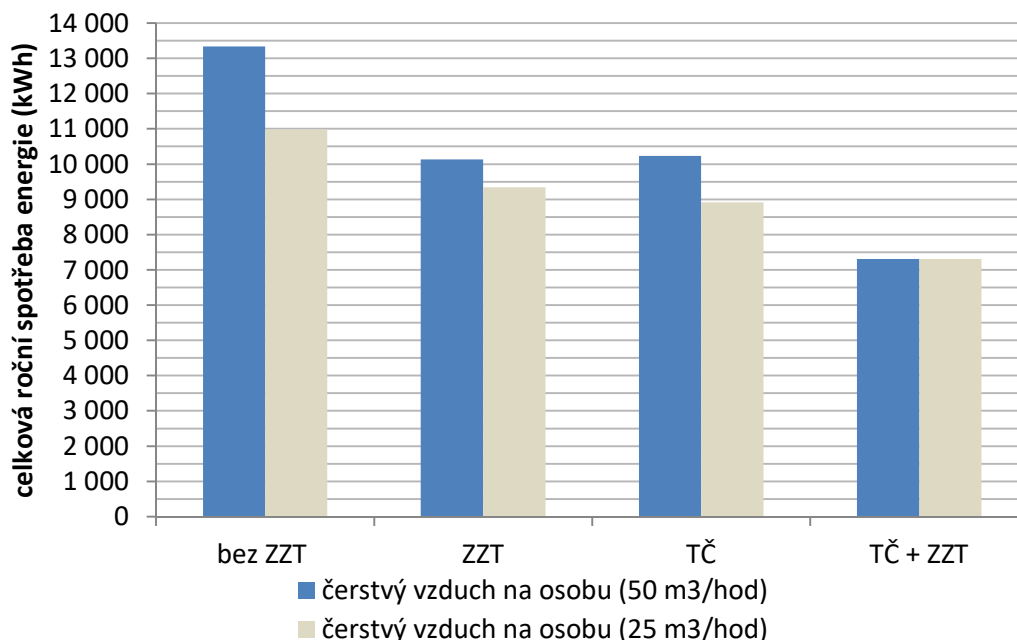
Nejvyšší spotřeby dosahuje systém bez využití odpadního tepla (13.3 MWh) a množstvím čerstvého vzduchu na osobu 50 m³/hod (viz Obr. 2 a Tab. 1). Naopak nejnižší spotřeby vykazuje varianta využívající výměníku ZZT a TČ (7.3 MWh). Spotřeby pro varianty využívající ZZT nebo TČ jsou velmi podobné (10.1 MWh a 10.2 MWh).

Vliv množství čerstvého vzduchu na osobu je největší u systému bez využití odpadního tepla. Díky snížení z 50 m³/hod na 25 m³/hod zde došlo k poklesu celkové spotřebované energie o cca 18 %. Naopak u systému vybaveného ZZT a TČ jsou spotřeby obdobné.

Z Tab. 2 je patrné, že množství nevyužité energie z TČ dosahuje u variant s průtokem vzduchu 50 m³/hod 27 % a 31 %. U variant s průtokem vzduchu 25 m³/hod klesá na cca 7 %. Lze očekávat, že množství nevyužité energie v reálném systému vybaveném zásobníkem tepla (v modelu nebyl uvažován) by dále mírně pokleslo (o jednotky procent).

Dále z výsledků vyplývá, že při průtoku vzduchu 25 m³/hod je naprostá většina tepla spotřebována na přípravu TV. Přebytky tepla do systému vytápění jsou velmi malé.

Topný faktor TČ dosahuje pro systém bez výměníku ZZT hodnot cca 2.8. U varianty se ZZT klesá vlivem nižších teplot vzduchu v zimním období na primární straně TČ na cca 2.4. Tyto hodnoty jsou poměrně nízké. Důvodem je jednak relativně nízký topný faktor použitého TČ ($COP = 2.7$ pro A20/W55) a také vysoká výstupní teplota vody použitá v modelu pro vytápění (55 °C).



Obr. 2 Celková spotřeba energie objektu pro různé varianty provedení

Tab. 1 Roční energetická bilance objektu pro jednotlivé hodnocené varianty a dva průtoky čerstvého vzduchu na osobu – 50 m³/hod a 25 m³/hod

varianta	čerstvý vzduch na osobu (m³/h)	potřeba tepla na vytápění (kWh)	tepelná ztráta větráním (kWh)	potřeba tepla na přípravu TV (kWh)	spotř. el. energie pro pohon vent. (kWh)	spotřeba el. energie pro pohon obj. čerp. TČ (kWh)	spotřeba el. energie pro pohon TČ (kWh)	celková spotřeba energie (kWh)
RD	50	9 898	4 685	3 436	0	0	0	13 334
RD ZZT	50	6 233	1 137	3 436	459	0	0	10 128
RD TČ	50	7 573	4 685	0	478	96	2 089	10 236
RD TČ ZZT	50	4 314	1 137	0	552	99	2 341	7 306
RD	25	7 553	2 296	3 436	0	0	0	10 989
RD ZZT	25	5 685	531	3 436	221	0	0	9 341
RD TČ	25	7 306	2 296	0	231	52	1 324	8 912
RD TČ ZZT	25	5 462	531	0	267	55	1 527	7 311

Tab. 2 Roční energetická bilance provozu TČ

varianta	čerstvý vzduch na osobu (m³/h)	energie z TČ využita pro vytápění (kWh)	energie z TČ využita pro TV (kWh)	energie z TČ využita celkem (kWh)	energie z TČ nevyužita (kWh)	nevyužitá energie z TČ (%)	topný faktor TČ COP (-)
RD TČ	50	2 325	3 436	5 761	2 123	26.9	2.76
RD TČ ZZT	50	1 919	3 436	5 354	2 530	32.1	2.31
RD TČ	25	248	3 436	3 683	259	6.6	2.78
RD TČ ZZT	25	223	3 436	3 658	284	7.2	2.39

ZÁVĚR

Využití tepla z odpadního vzduchu v bytových stavbách přináší snížení spotřeby tepla bez negativního vlivu na vnitřní prostředí.

V modelu rodinného domu přineslo použití TČ na odpadním vzduchu snížení spotřeby objektu o cca 24 %, tedy o obdobnou hodnotu jako při použití výměníku ZZT. Při současném použití TČ a výměníku ZZT došlo k dalšímu poklesu spotřeby o cca 21 %. Při menším množství čerstvého vzduchu na osobu ($25 \text{ m}^3/\text{hod}$ oproti $50 \text{ m}^3/\text{hod}$) jsou poklesy spotřeb o cca třetinu nižší.

Z výsledků je zřejmé, že TČ na odpadním vzduchu dokáže při reálných spotřebách TV (uvažováno $45 \text{ l}/\text{den}$) plně pokrýt potřebu tepla na přípravu TV a to i při sníženém množství čerstvého vzduchu na osobu ($25 \text{ m}^3/\text{hod}$).

Výhodou systému s TČ oproti systémům se ZZT je skutečnost, že mohou být bez velkých investičních nákladů realizovány i při rekonstrukcích stávajících objektů. Při použití TČ není nutné před výměníkem ZZT souběžné vedení příváděného a odpadního vzduchu, ale je možné použít mnohem jednoduššího systému podtlakového větrání.

LITERATURA

- [1] Vyhláška č. 268/2009 Sb., *O technických požadavcích na stavby*. Sbírka zákonů, 2009
- [2] ČSN EN 15665/Z1 *Větrání budov - Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011
- [3] Trnsys 16.01: *Transient System Simulation Tool* [online]. Madison: Thermal Energy System Specialists, b.r. [cit. 2016-01-18]. Dostupné z: <http://www.trnsys.com>
- [4] ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011,
- [5] TNI 73 0331 *Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013

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

SPECIFIKA SOLÁRNÍ SOUSTAVY S VODOU

Petr Kramoliš¹, Mojmir Vrtek²

¹Projektant solárních zařízení, Projekce OZE

²Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
kramolis.petr@seznam.cz, mojmir.vrtek@vsb.cz

ANOTACE

Příspěvek se zabývá analýzou možného celoročního provozování velkoplošných solárních soustav s vodou jako teplotonosnou kapalinou. Aby nedocházelo v dobách možného zamrzání vody k tvorbě ledu, je nutné vodu v soustavě přehřívat. Příspěvek ukazuje, jaké lze očekávat množství potřebné energie a jaké jsou faktory, které mohou mít na tuto potřebu vliv.

ÚVOD

Aby bylo možné v našich klimatických podmínkách celoročně provozovat solární soustavy s vodou jako teplotonosnou kapalinou, je nutno zabezpečit, aby ve venkovních částech primárního okruhu nedocházelo k jejímu zamrznutí. Jedním z možných řešení je použití systému Drain Back, kdy je voda vypouštěna v době stagnace soustavy z venkovních částí primárního okruhu. Tento otevřený beztlaký systém má však oproti uzavřeným tlakovým systémům určité nevýhody jako jsou styk vody s atmosférickým vzduchem, nutnost volby kolektorů a zapojení s vynikající vyprazdňovací schopností, navýšení čerpací práce při napouštění cirkulace primárního okruhu. Z těchto důvodů není u nás u velkoplošných soustav používán. Při použití tlakového uzavřeného systému a požadavku použití vody jako teplotonosné kapaliny, je nutno v době nebezpečí zamrznutí vodu přehřívat.

Tento požadavek přináší některé výhody, které má použití vody oproti nemrznoucí směsi. Mezi hlavní výhody patří [1], [2]:

- snížení nákladů na teplotonosnou kapalinu,
- snížení čerpací práce díky větší tepelné kapacitě vody a nižší viskozitě,
- nehrozí degradace teplotonosné kapaliny při vysokoteplotní stagnaci,
- není třeba výměník tepla na primárním okruhu, přičemž se snižuje střední teplota v kolektorech o 4 až 8 K,
- vzhledem k vyššímu výkonu kolektorů je možné zmenšit plochu kolektorů (zvýšení účinnosti vlivem nižší střední teploty kolektorů),
- zmenšení objemu solárního zásobníku vzhledem k možnosti využít vyšší teplotu vody z kolektorů při stejné účinnosti,
- v primárním okruhu odpadá jedno čerpadlo, oproti běžné konfiguraci „čerpadlo primárního okruhu - externí výměník – čerpadlo okruhu akumulární vody“.

Pro ekonomii provozu v období s nebezpečím tvorby ledu jsou podstatné tepelné ztráty kolektorů a tepelné ztráty potrubních rozvodů primárního okruhu nacházejícího se ve venkovním prostředí v době podnulových teplot při stagnaci soustavy. Reálná potřeba tepla může být stanovena pouze při přesnějším posouzení a hlubší analýze fyzikálních faktorů ovlivňujících tepelné ztráty. Tyto faktory jsou v podstatě stejné, jako při stanovování solárních zisků a patří sem přírodní vlivy, jako jsou venkovní teploty, rychlosti větru, ozáření, a projekční faktory, ke kterým patří volba typu kolektorů, velikostí kolektorového pole, sklonu kolektorů a nastavení regulačních teplot.

VÝCHOZÍ PŘEDPOKLADY A METODY ŘEŠENÍ

Definice referenční soustavy a provozních parametrů

Pro analýzu byla vybrána soustava s trubicovými vakuovými koncentračními (CPC) kolektory s účinnostními parametry vztaženými na aperturu $\eta_0 = 0,764$; $a_1 = 1,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $a_2 = 0,0053 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^2)$. Tyto kvalitní vakuové kolektory byly voleny s ohledem na minimalizaci tepelných ztrát. Použití plochých kolektorů, a to i ve vakuovém provedení, se při prvotních analýzách ukázalo jako prakticky nereálné [1]. Orientace kolektorů je směrem k jihu se sklonem 45° .

Jako základní srovnávací velikost soustavy byla zvolena apertura 100 m^2 . Soustava je typu Low Flow s měrným průtokem $18 \text{ dm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. Venkovní potrubní rozvody sestávají z měděných trubek dimenzí od 22/1 do 54/1,5 mm. Celková délka trubek byla u referenční soustavy 134 m. Tloušťky izolací byly zvoleny tak, aby mírně překračovaly hodnoty uváděné ve Vyhl. č. 193/2007 Sb. Jednalo se o běžná izolační pouzdra z minerální vlny.

Výchozí zeměpisnou polohou je Ostrava. Použité klimatické parametry referenčního roku byly namodelovány v SW METEONORM s četností 1 minuta. Hodnocené období je od 1.10. do 30.4. Část z tohoto období, kdy by mohlo docházet k zamrznání soustavy během stagnace, je označována dále v textu jako „kritická doba“.

Kromě klimatických podmínek jsou dalšími rozhodujícími parametry, které mají na konečnou potřebu energie během kritické doby vliv, mezní venkovní teplota, pod kterou se bude systém zabezpečení spouštět, a výstupní teplota vody vystupující z venkovní části soustavy do nezámrzných prostorů (dále jen „výstupní teplota vody“). Na základě této úvahy byly specifikovány a analyzovány provozní režimy pro různé kombinace teplot označované dále ve formátu „mezní venkovní teplota/teplota výstupní vody“. Za referenční režim byla vybrána kombinace teplot $1/3^\circ\text{C}$, tj. přehřívání bude probíhat při venkovní teplotě 1°C a nižší a množství dodávaného tepla se bude regulovat tak, aby výstupní teplota vody odtékající z venkovní části soustavy byla 3°C .

Metodika výpočtu

Potřebné množství energie pro zajištění přehřevu k dosažení nezámrzného stavu v kritické době je možné rozdělit na potřebu tepla venkovních částí soustavy a na potřebu elektřiny nutné pro pohon oběhového čerpadla primárního okruhu.

Potřeba tepla pro přehřívání venkovní části soustavy byla dále rozdělena na potřebu tepla pro kolektory a potřebu tepla pro potrubí.

Při určení tepelných ztrát kolektoru se vycházelo z rovnice pro stanovení měrného tepelného zisku kolektoru

$$q = \eta_0 \cdot G - a_1 \cdot (t_m - t_e) - a_2 \cdot (t_m - t_e)^2 \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (1)$$

kde je η_0 optická účinnost kolektoru [-]

a_1 lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$

a_2 kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^2)]$

G sluneční ozáření $[\text{W}/\text{m}^2]$

t_m střední teplota vody v kolektoru $[^\circ\text{C}]$

t_e venkovní teplota $[^\circ\text{C}]$

a jejich modifikací pro stagnační stav, tedy pro $q = 0 \text{ W/m}^2$,

$$0 = \eta_0 \cdot G - a_1 \cdot (t_m - t_e) - a_2 \cdot (t_m - t_e)^2 \quad [\text{W/m}^2] \quad (2)$$

a stav při nulovém oslunění, tedy pro $G = 0 \text{ W/m}^2$,

$$q = -a_1 \cdot (t_m - t_e) - a_2 \cdot (t_m - t_e)^2 \quad [\text{W/m}^2] \quad (3)$$

Pro výpočet tepelných ztrát potrubí byla použita běžná metodika výpočtu součinitele prostupu tepla pro složenou válcovou stěnu.

Filozofie výpočtu vycházela ze sestavení fyzikálního modelu tepelných ztrát venkovní části soustavy při uvažované konfiguraci zapojení „první polovina potrubního rozvodu – kolektorové pole – druhá polovina potrubního rozvodu“ v kritické době. Potřebná teplota vstupní vody byla zpětně iteračně vypočítávána na základě požadované výstupní teploty.

Stavy, ke kterým může docházet v kritické době, je možné popsat jako

- stav během dne, kdy jsou kolektory schopny zabezpečit požadovanou teplotu na výstupu, teplo se nemusí dodávat, ale je potřeba jen čerpací práce na cirkulaci a tedy distribuci tepla do potrubního rozvodu;
- stav během dne, kdy kolektory nejsou schopny zabezpečit požadovanou teplotu na výstupu a dodají pouze část potřebného tepla, cirkulující vodu je nutno přehřívát;
- stav během noci, kdy již není žádné sluneční záření, a potom je nutno soustavu plně ohřívát, aby bylo na výstupu dosaženo požadované teploty.

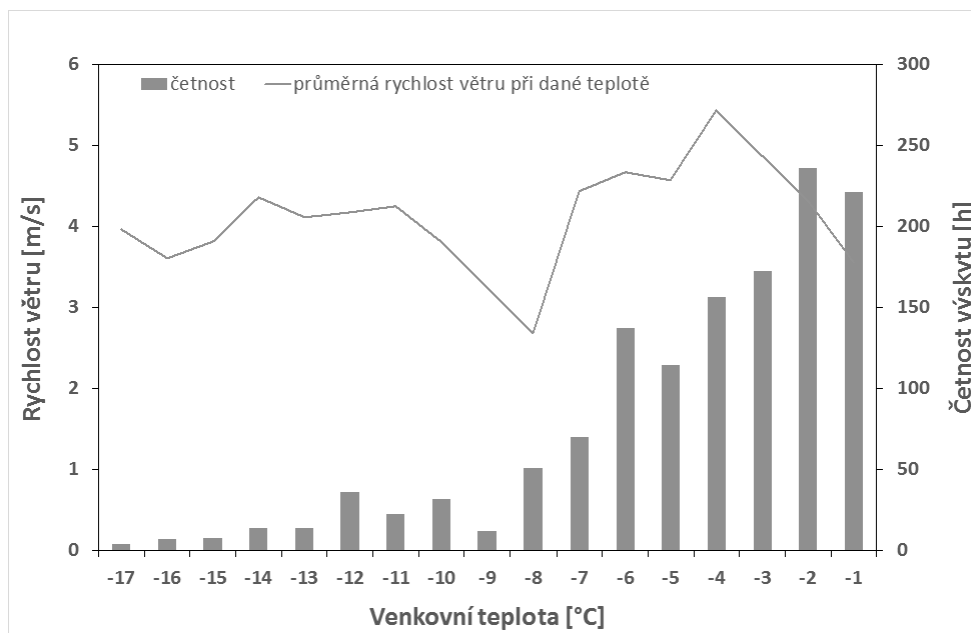
Vliv větru na tepelnou bilanci

Vzhledem k tomu, že rychlost větru má vliv na hodnotu součinitele přestupu tepla na vnějším povrchu kolektorů i trubek, byly pro hodnocené období analyzovány průměrné hodinové rychlosti větru při dané teplotě a jejich četnosti výskytu v kritické době. Průběhy jsou znázorněny na Obr. 1.

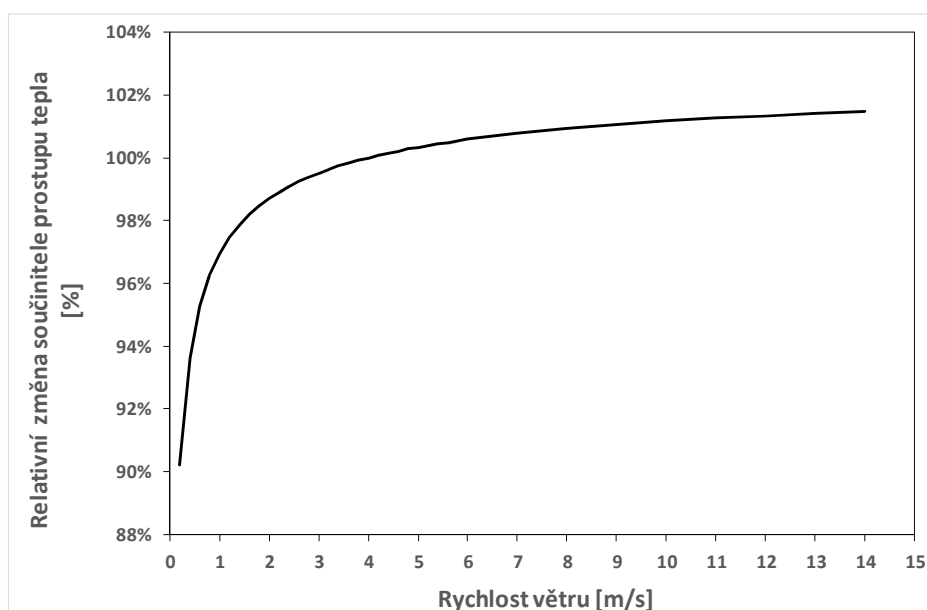
Zatímco se rychlost pohybuje v intervalu cca od 3 do 5 m/s bez výrazné závislosti na venkovní teplotě, četnost výskytu rychlostí s klesající teplotou výrazně klesá.

V analýze bylo počítáno s rychlostí větru 4 m/s. Součinitel prostupu tepla pro izolované trubky v závislosti na zvyšující se rychlosti větru sice trvale stoupá, avšak hlavní nárůst je v oblasti do cca 2 až 3 m/s, poté je již růst pozvolný viz Obr. 2. V grafu je naznačen průběh relativní změny hodnoty součinitele prostupu tepla v závislosti na rychlosti větru, přičemž za vztažnou hodnotu byla převzata hodnota součinitele pro rychlost 4 m/s.

Tato rychlost spadá do intervalu, jenž odpovídá požadavkům při měření tepelných parametrů kolektorů na zkušebně, kdy musí být rychlost proudění vzduchu $3 \text{ m/s} \pm 1 \text{ m/s}$, tedy v intervalu, za kterým se již tepelná ztráta vlivem zvyšující se rychlosti větru výrazně nemění.



Obr. 1 Hodinová průměrná rychlost větru a jeho četnost v hodinách při teplotách nižších než 0 °C



Obr. 2 Průběh relativní změny hodnoty součinitele prostupu tepla v závislosti na rychlosti větru (100 % ~ 4 m/s)

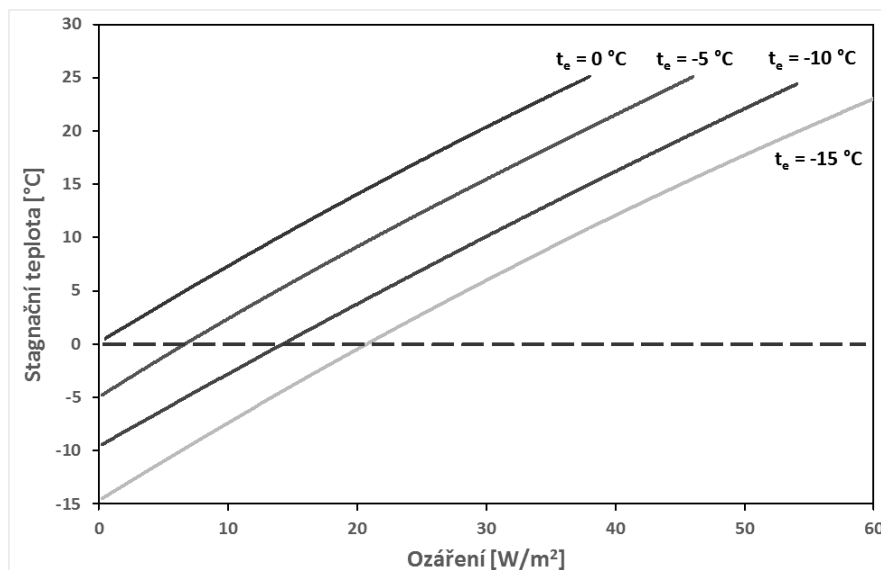
Stagnační teploty v zimním období

Během stagnačních stavů i při nízkém ozáření dochází ke zvyšování teploty kolektoru oproti venkovní teplotě. Tímto se snižuje požadavek na doplňkovou energii nutnou pro udržení nadnulových teplot v primární části soustavy v kritické době. Jelikož největší část tepelných ztrát připadá na kolektory, jsou i stagnační teploty +3 °C a mírně vyšší znatelným přínosem (dle zvoleného režimu). Jedná se o teploty, které ještě nemohou být využity pro ohřev vody či přitápění, ale nadnulová stagnační teplota udržuje soustavu mimo nebezpečí zamrznutí a nevyžaduje dodávání tepla, maximálně může spotřebovávat čerpací práci pro cirkulaci za účelem rozvedení ohřáté vody z kolektorů do potrubí ve venkovní části soustavy.

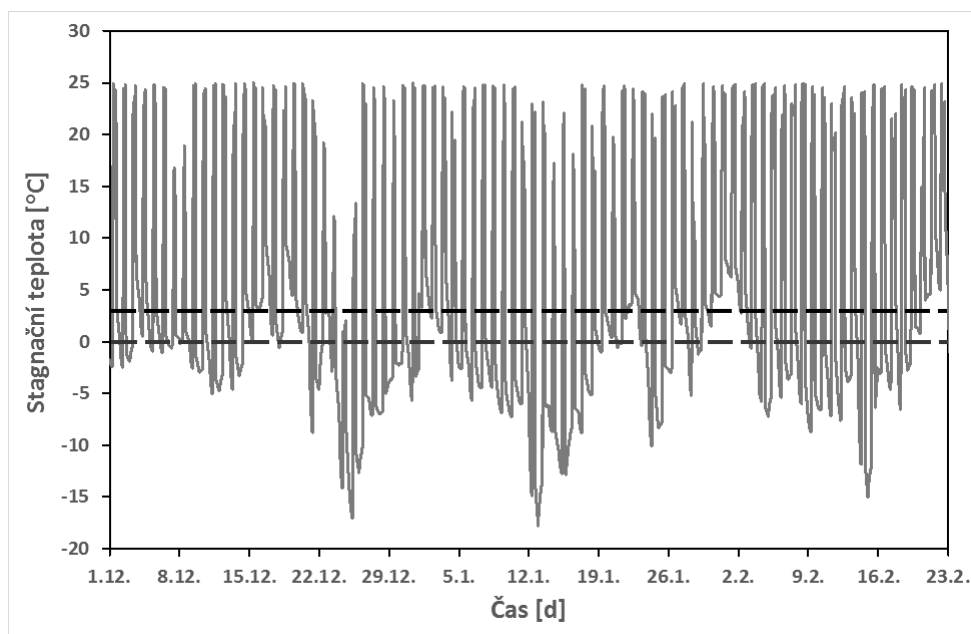
Závislost stagnačních teplot vybraného kolektoru na ozáření pro různé hodnoty venkovní teploty je patrná na Obr. 3.

Průběhy ukazují, že i velmi nízké ozáření je schopno udržovat soustavu v kritické době v nadnulových teplotách.

Ukázka průběhu stagnačních teplot nižších než 25 °C během vybrané části hodnoceného období je znázorněna na Obr. 4. Vodorovné čáry vyznačují teplotní úroveň 0 a +3 °C, pod kterou započne přehřívání při referenčním režimu 1/3 °C.



Obr. 3 Detail stagnačních teplot kolektoru v závislosti na ozáření od 0 do 60 W/m² pro různé venkovní teploty



Obr. 4 Průběh stagnačních teplot nižších než 25 °C v nejméně příznivém období

VYHODNOCENÍ A DISKUSE

Vliv volby provozního režimu

Pro referenční definovanou solární soustavu a hodnocené období byly analyzovány vybrané režimy vycházející z kombinace mezních venkovních teplot 3 °C, 1 °C a 0 °C a výstupních teplot vody v rozmezí od 0 do 7 °C. Výsledky jsou uvedeny v Tab. 1. Doba provozu představuje sumární čas, po který bude nutno soustavu ohřívat, dále jsou zde uvedeny tepelné ztráty a množství čerpací práce přepočtené na potřebu elektřiny a jejich součet. Poslední sloupec představuje poměrné srovnání celkových potřeb energie jednotlivých režimů vůči referenčnímu režimu 1/3 °C. Parametry odpovídající referenční soustavě a jejím provozním parametrům jsou v tabulkách vyznačeny tučným písmem.

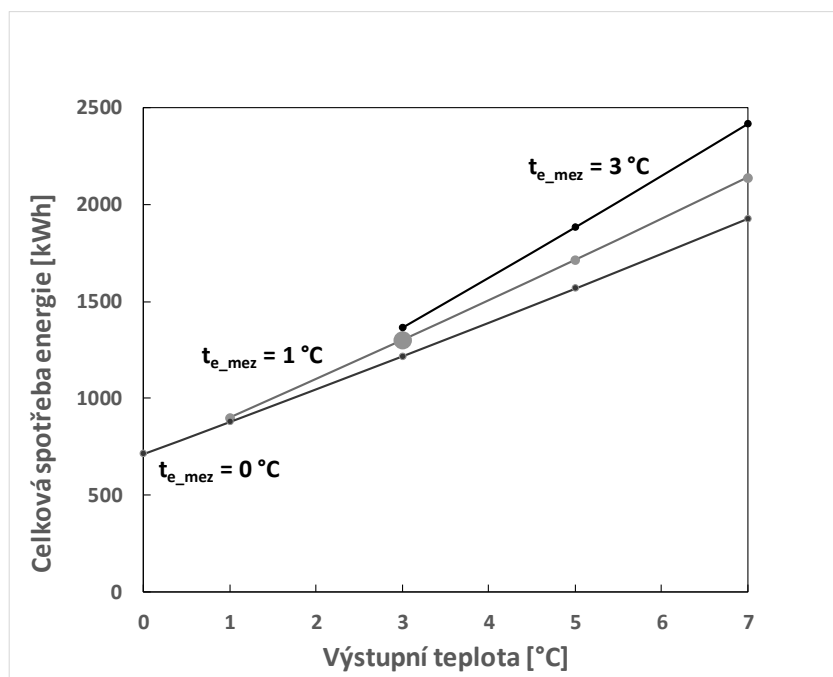
Výsledky režimů vycházejících z mezní venkovní teploty 0 °C nemají praktický význam a jsou zde uvedeny jako teoretické hraniční hodnoty s absolutním minimem pro režim 0/0 °C, což je patrné z průběhů na Obr. 5, znázorňující průběhy celkové potřeby energie pro jednotlivé mezní venkovní teploty (t_{mez}) v závislosti na výstupní teplotě.

Tab. 1 Výsledky analýzy pro různé provozní režimy

mezní venkovní teplota [°C]	výstupní teplota [°C]	doba provozu [h]	tepelné ztráty [kWh]	čerpací práce [kWh]	energie celkem [kWh]	poměrné srovnání [%]
1	7	1498	2102	37,5	2139	165
1	5	1480	1676	37,0	1713	132
1	3	1457	1263	36,4	1300	100
1	1	1429	864	35,7	900	69
0	7	1257	1895	31,4	1927	148
0	5	1243	1536	31,1	1567	121
0	3	1226	1187	30,7	1217	94
0	1	1206	848	30,2	878	68
0	0	1194	683	29,8	713	55
3	7	1902	2370	47,6	2417	186
3	5	1876	1835	46,9	1882	145
3	3	1842	1317	46,0	1363	105

Podíl tepelných ztrát potrubního vedení na celkové tepelné ztrátě byl pro všechny režimy velmi podobný a pohyboval se v rozmezí od 19,8 do 20,1 %.

Vyjde-li se z předpokladu, že se celoroční měrný zisk ze solární soustavy bude pohybovat v rozmezí 500 až 600 kWh/m² apertury, bude spotřeba celkové energie pro referenční režim 1/3 °C v rozmezí 2,60 až 2,17 % celoročního zisku.



Obr. 5 Průběhy celkové potřeby energie pro jednotlivé mezní venkovní teploty v závislosti na výstupní teplotě

Vliv sklonu kolektorů

V této části byly výsledky pro referenční režim $1/3\text{ °C}$ a referenční sklon 45° srovnány s výsledky výpočtů pro sklony 30° a 60° . Výsledné hodnoty jsou uvedeny v Tab. 2 a je možné konstatovat, že rozdíly jsou zanedbatelné. Tento výsledek lze očekávat, neboť přehřívání bude probíhat především v noci, případně při zatažené obloze, kdy lze počítat s využitím pouze difúzního resp. reflexního záření, na jejichž sumární hodnoty nemá sklon kolektorů v dané době zásadní vliv.

Tab. 2 Výsledky analýzy pro různé sklony kolektorů

sklon [°]	doba provozu [h]	tepelné ztráty [kWh]	čerpací práce [kWh]	energie celkem [kWh]	poměrné srovnání [%]
30	1458	1268	36,4	1304	100,4
45	1457	1263	36,4	1300	100,0
60	1472	1276	36,8	1312	101,0

Vliv velikosti soustavy

Pro porovnání výsledků referenční soustavy o apertuře 100 m^2 byly nadefinovány soustavy o velikosti 50, 250 a 400 m^2 , pro které byly stanoveny délky a dimenze venkovních potrubí.

Z důvodu, že množství čerpací práce pro rozdílně velké soustavy závisí na mnoha dalších faktorech (vzdálenostech, výšce budovy, zapojení, aj.) je srovnání těchto soustav provedeno pouze pro tepelné ztráty.

S rostoucí plochou apertury klesá zpravidla nejen měrná délka potrubí vztažená na tuto plochu, ale i měrná velikost teplosměnných ploch potrubního vedení. Měrné tepelné ztráty se tedy budou snižovat, což dokazují výsledky v Tab. 3.

Tab. 3 Výsledky analýzy pro soustavy různých velikostí

apertura [m ²]	doba provozu [h]	tepelné ztráty [kWh]	měrné tepelné ztráty [kWh/m ²]	poměrné srovnání měrných tepelných ztrát [%]
50	1462	683	13,7	108,2
100	1457	1263	12,6	100,0
250	1453	2929	11,7	92,8
400	1451	4548	11,4	90,0

Vliv geografické polohy a klimatických extrémů

Výchozí polohou pro referenční soustavu je Ostrava. V rámci analýz byly provedeny výpočty pro režim 1/3 °C i pro jižněji situované lokality, a to pro Kuchařovice (okres Znojmo) a Budapešť. Kuchařovice byly zvoleny z důvodu, že zdejší meteorologická stanice, stejně jako v Ostravě, je součástí Národní radiační sítě, a tak lze namodelované klimatické parametry referenčního roku ze SW METEONORM považovat za velmi věrohodné a nezatížené interpolací. Tento SW umožňuje i simulaci 10-ti letého extrémního roku (horké léto, studená zima), proto byl proveden pro porovnání výpočet i pro tento extrémní rok.

Tab. 4 Výsledky analýzy pro různé lokality a 10-ti letý extrém

lokality	doba provozu [h]	tepelné ztráty [kWh]	čerpací práce [kWh]	energie celkem [kWh]	poměrné srovnání [%]
Ostrava	1457	1263	36,4	1300	100,0
Kuchařovice	1419	1199	35,5	1234	95,0
Budapešť	1297	1066	32,4	1098	84,5
Ostrava – extrém	1471	1367	36,8	1403	108,0

ZÁVĚR

Solární soustava s vodou jako teplonosnou látkou je přínosem jak z hlediska úspor investičních nákladů, provozních nákladů tak i bezpečnosti provozu v době stagnace. Voda snáší dosažitelná přehřátí bez změny fyzikálních vlastností a bez omezení životnosti. U větších soustav jsou to výrazná pozitiva.

Na druhé straně je její spolehlivý provoz podmíněn použitím kvalitní regulace, zajištěním kvalitního hydraulického vyvážení soustavy bez slepých ramen, správnou izolací venkovních částí rozvodu a v neposlední řadě i nouzovým zabezpečením při výpadku proudu.

LITERATURA

[1] KRAMOLIŠ, P., VRTEK, M. Solární soustava bez nemrznoucí směsi. *Topenářství instalace*. 8/2014. str. 28 – 38.

[2] MEISSNER, R., ABRECHT, S. *The Key For Optimizing Large-Scale Solar-Thermal Systems is Combining Parabolic Mirrors, Evacuated Tube Collectors and H₂O*. [cit. 1. 5. 2018]. Dostupné na: < <http://www.tepm.com/Key-technology.pdf> >

VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA PRO VYTÁPĚNÍ HYPERMARKETU

Miloš Lain^{1,2}, Pavel Kopecký³

¹Fakulta strojní, ČVUT v Praze

²Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze

³CTS Engineering

Milos.lain@fs.cvut.cz, kopecky@e-cts.cz

ANOTACE

V článku je provedena analýza možností využití odpadního tepla z technologie chlazení pro vytápění prodejní haly, pomocí stávajících vzduchotechnických jednotek. Bude prezentována studie vycházející z detailní analýzy naměřených hodnot. Druhá část článku se věnuje celkové rekonstrukci systému chlazení a využití konceptu nepřímého chlazení.

ÚVOD

V rámci snahy o snížení energetické náročnosti budov nabízejí hypermarkety a nákupní centra řadu možností. Klasický koncept založený na téměř nezávislých systémech vytápění, větrání, klimatizace a technologického chlazení je značně energeticky náročný. Oproti tomu možnost využití odpadního tepla z technologického chlazení skladů a nábytku spolu s optimalizací větrání představuje značný potenciál k úsporám. Pro menší supermarkety a nákupní centra jsou k dispozici i výrobky umožňující takovéto optimalizace přímo v rámci systému. Pro větší obchody je přístup individuální, ale vychází ze stejných zásad integrace. Důležitý je i správný návrh a provozování větrání. Dalších výrazných úspor lze dosáhnout i celkovou změnou koncepce chlazení.

PŘÍPADOVÁ STUDIE

Opatření pro snížení energetické náročnosti a rekonstrukce prodejny je prezentována na konkrétním objektu hypermarketu. Areál velkoprodejny představuje velkokapacitní prodejnu sloužící pro prodej potravinářského a ostatního sortimentu. Stavebně je objekt řešen jako jednopodlažní s dvoupodlažní sociální a administrativní vestavbou. Celkový objem všech místností v budově je přibližně 136 000 m³, jejich půdorysná plocha 15 000 m². Nosná konstrukce objektu je ocelová s opláštěním ze sendvičových panelů (trapézové plechy s minerální vlnou). Tepelné ztráty haly prostupem tepla pro zimní extrém jsou přibližně 500 kW + 2000 kW v případě maximálního větrání.

V hale bylo osazeno 7 vzduchotechnických jednotek Airset Troges zajišťujících větrání a ohřev vzduchu s průtokem 28 000 m³/h každá, tj. 54 m³/s celkem. Minimální průtok čerstvého vzduchu každou jednotkou byl 6 000 m³/h tj. 12 m³/s celkem. Tomu při extrémní teplotě venkovního vzduchu -15 °C odpovídá potřebný výkon pro ohřev větracího vzduchu pro minimální průtok 466 kW a 2 177 kW pro maximální průtok vzduchu. Další čtyři vzduchotechnické jednotky sloužily pouze k teplovzdušnému vytápění bez větrání.

Dle energetického auditu byla dodaná energie v zemním plynu na vytápění 3 975 GJ v roce 2009, 3 372 GJ v roce 2010 a 2 925 GJ v roce 2011.

Při použití dennostupňové metody a za předpokladu minimálního větrání v zimě je vypočtená spotřeba tepla 8 230 GJ. Skutečná spotřeba je tedy přibližně 2,5 krát nižší. Zdroj tepla zajišťuje přípravu teplé vody, vytápění dalších prostor (dle projektu 50 kW) a ohřev vzduchu pro další jednotky mimo prodejní halu. Tyto systémy nejsou v této studii řešeny.

VĚTRÁNÍ HYPERMARKETU

Projekt větrání obvykle vychází z nuceného větrání a přívodu čerstvého vzduchu podle počtu osob plného obchodu a objemu větraného prostoru. V řešeném objektu bylo navrženo přivádět do haly 42 000 až 196 000 m³/h venkovního vzduchu, to odpovídá intenzitě větrání 0,3 až 1,4 /h. Průměrný počet návštěvníků v prodejní hale je 540 osob. To odpovídá při minimálním průtoku vzduchu 77 m³/h na osobu, ale v době špiček bude jistě návštěvnost výrazně vyšší než průměrná a dávka na osobu nižší. V reálném provozu haly dochází k značné infiltraci čerstvého vzduchu netěsnostmi pláště a střechy, to způsobuje částečné přirozené větrání haly a nižší potřebu nuceného větrání a naopak vyšší potřebou vytápění. Výrazným faktorem je i značná výška haly, kde díky značnému objemu koncentrace CO₂ v hale narůstá pozvolna a krátkodobé návštěvnické špičky jsou kompenzovány infiltrací v době mimo provoz nebo v době minimální návštěvnosti.

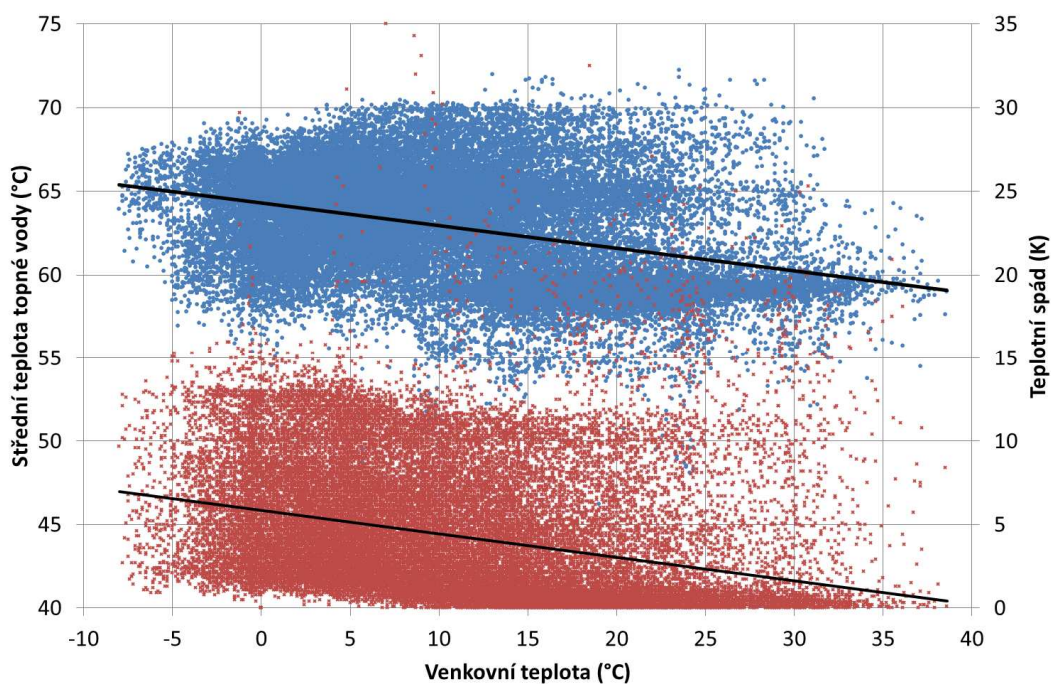
V minulých letech došlo k několika zásadním zásahům do systému větrání a teplovzdušného vytápění haly. Byl zprovozněn systém měření koncentrace CO₂ a regulace nuceného větrání dle této koncentrace. To vedlo k výraznému snížení množství nuceně přiváděného čerstvého vzduchu. Některé vzduchotechnické jednotky už nejsou provozovány a jiné nepracují s čerstvým vzduchem. V nynější době (jak vyplývá i z výsledků měření) jsou v hale provozovány pouze dvě vzduchotechnické jednotky pro větrání čerstvým vzduchem a dalších 6 jednotek pro teplovzdušné vytápění. Zbylé 3 jednotky jsou odstaveny a nadále se nepoužívají. Ve stávajícím provozu je tedy možné přivádět čerstvý vzduch minimálně 6 000 m³/h a maximální průtok čerstvého vzduchu je 56 000 m³/h. Dalších 6 jednotek slouží k vytápění haly a pracuje s cirkulačním vzduchem s průtokem 167 000 m³/h.

MONITOROVÁNÍ PROVOZU

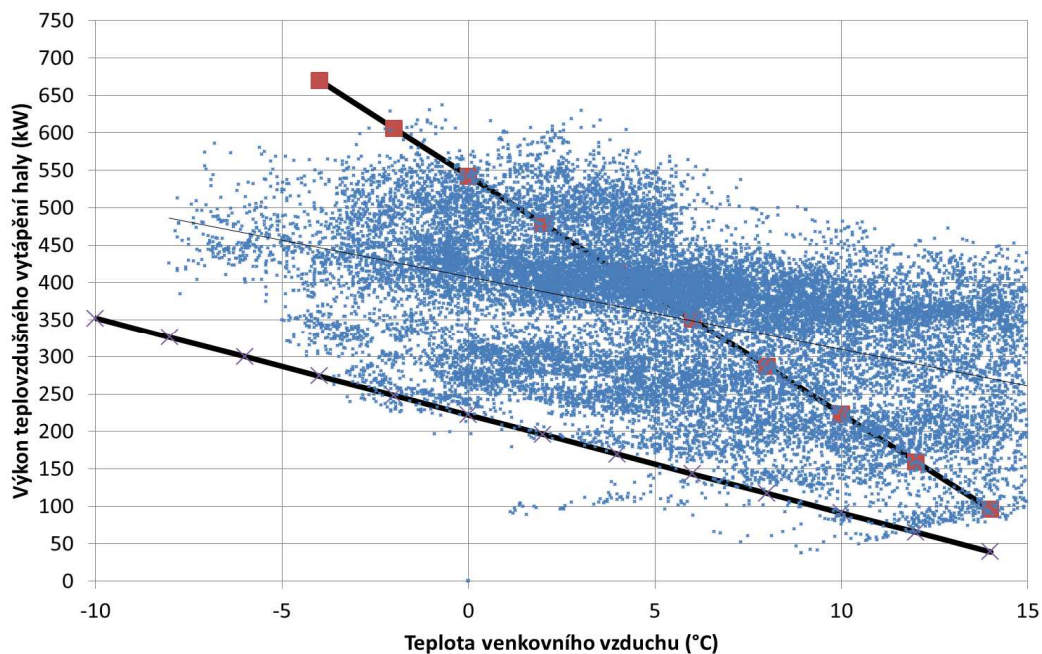
Ze systému měření a regulace haly byly získány průběhy teplot zdroje tepla a vzduchotechnických jednotek za období 27.1.2014 až 2.4.2015 s intervalem 15 minut, a dále hodnoty koncentrací CO₂ od 2.12.2014 do 2.4.2015. V období od 1.3.2015 do 2.4.2015 byly zaznamenávány detailní informace o provozu vzduchotechnických jednotek včetně nastavení směšovacích klapek čerstvého vzduchu a regulačních ventilů ohříváčů. Tato data byla analyzována.

Byly provedeny analýzy teploty otopné vody prezentované v grafu na Obr. 1. Teplota otopné vody byla ve sledovaném období mezi 70 °C a 85 °C. Teplota zpátečky mezi 65 a 75 °C. Po většinu období (62 %) byl v provozu pouze jeden kotel, 18 % dva kotle a 19 % všechny tři kotle. Obecně lze říci, že teploty otopné vody sice značně kolísají, ale obecně se pohybují v oblasti vysokoteplotního vytápění. Překvapující je i poměrně častý (19% roku) provoz všech tří kotlů, který nekoresponduje s předpokladem silně předimenzovaného zdroje tepla.

Základními sledovanými parametry pro posouzení vnitřního prostředí je teplota vzduchu a koncentrace CO₂. Z teplot přiváděného vzduchu byl vyhodnocen topný výkon vzduchotechniky, který byl porovnán s teoretickými hodnotami. V grafu na Obr. 2 je černou čarou s křížky znázorněn průběh tepelné ztráty prostupem vycházející z údajů PENB. Z grafu je patrné, že ztráta prostupem téměř odpovídá spodní hraně topných výkonů. Černou čarou s červenými čtverci je pak znázorněna teoretická ztráta prostupem a větráním dohromady při průtoku vzduchu 56 000 m³/h. V zimním extrému jsou tyto hodnoty podobné max. tepelným výkonům, ale pro vyšší teploty vzduchu jsou topné výkony většinou vyšší než teoreticky spočítané. To ukazuje, podobně jako v předchozích případech, že na potřebný výkon mají významný vliv ještě další faktory kromě venkovní teploty. Důležitým závěrem této analýzy jsou maximální výkony potřebné po vytápění haly, ty se pohybují kolem **600 kW**.

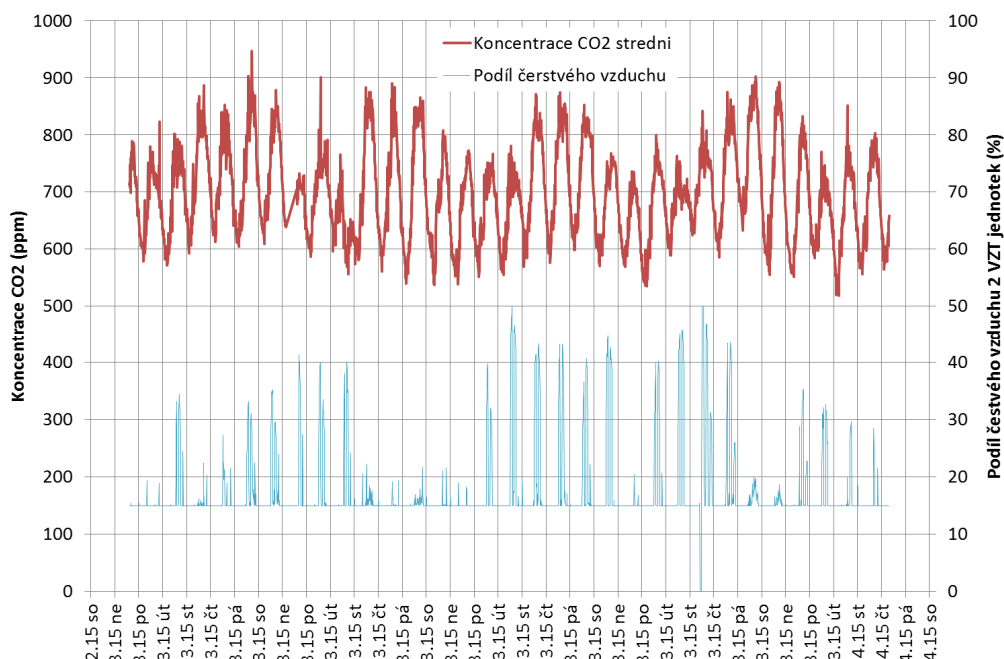


Obr. 1 Závislost střední teploty otopné vody a teplotního spádu na teplotě venkovního vzduchu.



Obr. 2 Závislost potřebného výkonu na teplotě venkovního vzduchu (modré body).

Byla vyhodnocena i koncentrace CO_2 která ukazuje, že při sníženém přívodu čerstvého vzduchu po rekonstrukci jsou udržovány kvalitní podmínky v prostoru haly. Z grafu na Obr. 3 je patrné, že ve sledovaném období roku 2015 jsou koncentrace CO_2 většinou pod 900 ppm i v odpoledních špičkách.

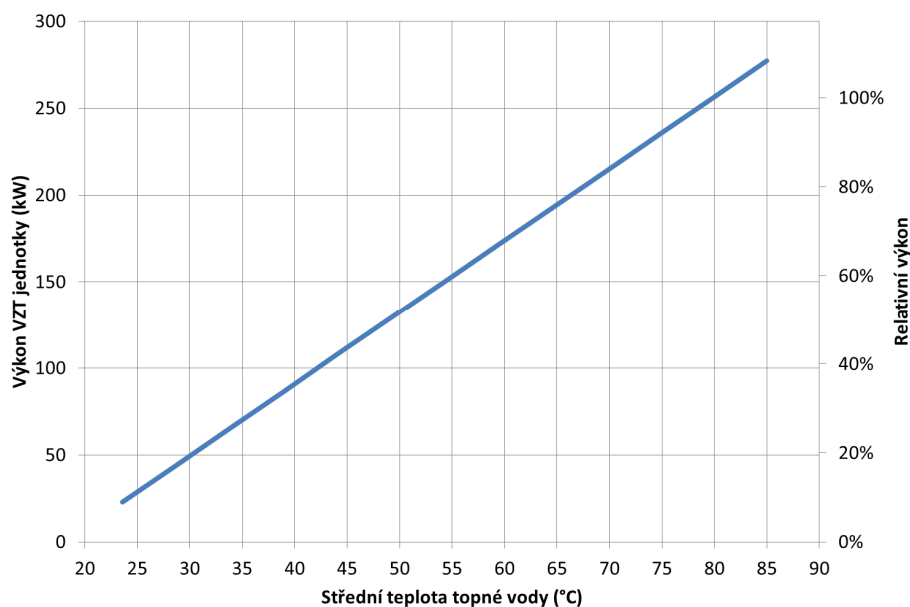


Obr. 3 Průběh koncentrace CO₂ a podílu čerstvého vzduchu přiváděného jednotkami.

TEORETICKÝ VÝKON OHŘÍVAČE VE VZDUCHOTECHNICKÉ JEDNOTCE

Od výrobce vzduchotechnických jednotek se nepodařilo získat podrobnější informace k jednotkám dodaným do provozovny, tak bylo řešení na základě základních štitkových hodnot teoretickým přepočtem výkonu výměníku.

Průtok vzduchu 28 000 m³/h s jmenovitým výkonem 406 kW. Jako jmenovitá podmínka je uvažován ohřev vzduchu z -18 °C na 25 °C při teplotním spádu otopné vody 90/70 °C. Z těchto teplot byl vypočítán střední logaritmický teplotní spád s uvažováním křížového proudu (jakostní součinitel výměníku $A = 0,87$) a byla stanovena výkonová konstanta výměníku 5,39 kW/K (výkonová konstanta je výkon výměníku podělený středním logaritmickým teplotním spádem a zahrnuje teplosměnnou plochu i součinitel prostupu tepla).



Obr. 4 Závislost topného výkonu VZT jednotek na teplotě otopné vody.

Tato konstanta byla použita pro další výpočty výkonu výměníku při různých teplotách vody a vzduchu. Klíčová je závislost výkonu výměníku na střední teplotě otopné vody. Při vytápění haly je vstupní teplota vzduchu do jednotky kolem 18 °C. Pro tyto podmínky je závislost výkonu znázorněná v grafu na Obr. 4.

Jak vyplývá z předchozích analýz, maximální potřebné výkony pro vytápění prodejní haly byly **600 kW**. Instalovaných 8 vzduchotechnických jednotek je schopných tento výkon zajistit při střední teplotě topné vody **39 °C**. To však platí pro provoz bez nuceného větrání.

Při uvažování 15 % čerstvého vzduchu (8 400 m³/h) ve dvou větracích jednotkách, jak odpovídá stávajícímu provozu při nízkých venkovních teplotách, je systém schopen zajistit ohřev větracího vzduchu i vytápění (zbylých 6 cirkulačních jednotek) při střední teplotě otopné vody **38 °C**. V tomto režimu zajistí větrací jednotky ohřev vzduchu na teplotu 24,6 °C a tím se částečně podílejí i na vytápění haly.

Tab. 1 Výkony jednotek.

Teploty vzduchu		Teploty vody		Střední log.	Výkon jedné jednotky	Počet jednotek	Výkon jednotek	Topný výkon
tl1	tl2	tw1	tw2	Dtm	Qsou		Qcelk	Qcelk
°C	°C	°C	°C	K	kW		kW	kW
-15	18.1	66	54.8	57.9	311.8	2	624	1054
18	36.6	66	54.8	32.6	175.7	6	1054	
0	18.0	44	37.9	31.4	169.3	2	339	600
18	28.6	44	40.4	18.6	100.1	6	600	
13	23.8	39.5	35.8	18.9	102.0	2	204	606
18	26.8	39.5	36.5	15.4	82.7	6	496	

ZÁVĚR ANALÝZY VYTÁPĚNÍ A VĚTRÁNÍ SUPERMARKETU

Tepelná ztráta haly prostupem a infiltrací je při stávajícím provozu pro zimní extrémy přibližně 600 kW, tomu by měl odpovídat výkon teplovzdušného vytápění haly. Potřebný výkon značně kolísá a nelze najít jeho jednoznačnou závislost na venkovní teplotě. Dalších přibližně 100 kW je potřeba na minimální nucené větrání haly v zimních extrémech. Takže celkový výkon vytápění potřebný pro halu je **700 kW**.

Stávající režim nuceného větrání haly dvěma jednotkami a průtokem čerstvého vzduchu 8 400 m³/h až 28 000 m³/h lze zhodnotit jako vhodný, jak z pohledu kvality vnitřního vzduchu (koncentrace CO₂ 500 až 1000 ppm), tak vzhledem k minimálnímu potřebnému výkonu ohřívače a spotřebě tepla.

Z analýzy provozu vzduchotechnické jednotky vyplývá, že by v případě správné funkce těchto jednotek a při stávajícím provozu mělo být zajištěno větrání a vytápění haly již při střední teplotě otopné vody 38 °C.

NEPŘÍMÉ CHLAZENÍ V HYPERMARKETU

Rekonstrukce potravinářského chlazení na velkých formátech hypermarketů (nad 10 000 m²) s sebou v současnosti nese nutnost řešit několik protichůdných požadavků. Požadavky vycházejí z tlaku na energetickou účinnost celé chladicí technologie, dlouhodobou udržitelnost a životnost chladicí technologie ve vazbě na problematiku použitých chladiv a současnou legislativu, dále zajištění perfektní prezentace a kvality distribuovaného a

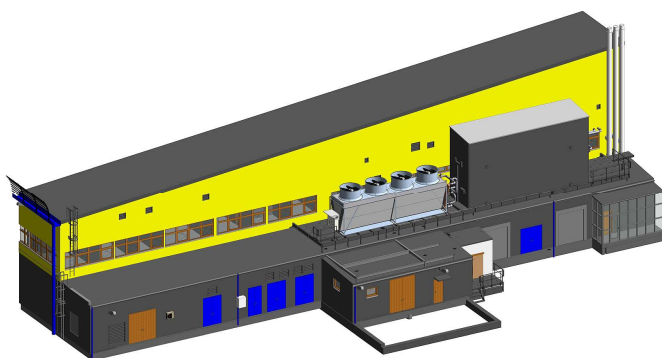
prodávaneho zboží, minimalizace času potřebného pro provedení rekonstrukce (remodelingu) a minimalizace servisních nákladů v rámci životnosti chladicího zařízení.

V průběhu roků 2014 a 2016 vznikl a byl realizován projekt (rekonstrukce) kompletní rekonstrukce strojního chlazení na hypermarketu. S ohledem na zpracování a realizaci projektu byl vytvořen pracovní tým, který podrobně analyzoval požadavky investora, připravil a ověřil optimální technické řešení a podílel se na realizaci celé technologie.

KLÍČOVÉ POŽADAVKY INVESTORA

Stanovení klíčových požadavků zadání vzniklo při společných jednáních s investorem. Níže jsou uvedeny hlavní požadavky, celkový seznam je rozsáhlejší.

- Vysoká provozní účinnost celé chladicí technologie, snížení energetické náročnosti minimálně o 40 % proti původní chladicí technologii.
- Plné využití odpadního tepla pro výhrev hypermarketu (při zachování stávající otopné soustavy) včetně přípravy TV.
- Provozní životnost minimálně 15 let, predikovaná životnost cca 20 let (tedy technologie chlazení musí splňovat legislativní požadavky (GWP pod 150), zejména s ohledem na problematiku chladiv i po roce 2030).
- Zajištění maximální provozní bezpečnosti chladicí technologie.
- Zvýšení kvality a zlepšení prezentace prodávaných produktů, zvýšení komfortu prodeje pro zákazníka.
- Provedení rekonstrukce nesmí ovlivnit prodej a omezit zákazníka.
- Využití dotační podpory ze strany EU, zajištění přesného harmonogramu realizace a garance termínu kolaudace a nepřekročení rozpočtu stavby.
- Výsledná dokumentace bude v provedení BIM.



Obr. 5 Umístění chladicích jednotek.

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

Příprava zahrnovala jednak nutnost precizně analyzovat stávající provoz hypermarketu, optimalizovat a navrhnout chladicí technologii tak, aby přesně naplňovala požadavky investora, ale také zajistit přesný harmonogram a jeho udržení v rámci realizace.

Koncepce chladicího stroje

Ve vazbě na poměrně velký chladicí výkon nutný pro provoz celého hypermarketu (chladicí zdroj zabezpečuje chladicí výkon pro potřebu chlazení připojeného distribučního nábytku, chladicích a mrazicích boxů, ale i přípraven, chodeb a chlazených částí přímého prodeje), nutnost řešení problematiky F-plynů (a to i v období po roce 2030), požadavek vysoké provozní účinnosti, plného využití odpadního tepla, dlouhé životnosti a minimálních nákladů na servisní činnost, bylo přistoupeno k použití inovativní technologie nepřímého chlazení.

Jedná se o využití spolehlivé, jednoduché a robustní koncepce nepřímého chlazení s využitím nových, moderních a vysoce účinných technologií.

Jako zdroj chladu pro chladicí (MT) a klimatizační (HT) část byly použity dvě samostatné chladicí jednotky (SINOP a.s.) pracující s chladivem HFO (R1234ze), využívající turbokompresory (Danfoss Turbocor). Pro odvod kondenzačního tepla je využit hybridní chladič Jaegy (Guentner, umožňuje pracovat v suchém, mokrému nebo kombinovaném režimu). Jako teplotonosná látka zajišťující vlastní chlazení distribučního nábytku bylo použito NGL (Freezium) o koncentraci 30 %, které je dopravováno pomocí frekvenčně modulovaných čerpadel. Jako zdroj chladu pro mrazicí (LT) část je použita jedna dvouokruhá kaskádní jednotka pracující s chladivem (DX) R744.

Tab. 2 Chladicí výkony

	HT chlazené místnosti, přípravy, zásobovací rampy	MT distribuční mrazicí nábytek, chladírny	LT distribuční mrazicí nábytek, mrazírny
Chladicí výkon*	440 kW	533 kW	135 kW
Elektrický příkon	96 kW	146 kW	34,5 kW
COP (kompresory)	4,58	3,65	4,02

**Chladicí výkon pro extrémní podmínky při přímé produkci, což výrazně zlepšuje skutečné provozní COP.*

Nové chladicí zařízení bylo umístěno v nové kontejnerové strojovně (strojovna uzpůsobena pro provoz s chladivem R1234ze, které patří do kategorie A2L, v době realizace dle původní klasifikace ČSN EN 378 se jednalo o chladivo A2), která byla umístěna v zadní části objektu na snížené střeše. Vytvoření nové strojovny bylo nezbytné s ohledem na nutnost souběžného provozu stávajícího a nového chlazení v době rekonstrukce a požadavkem investora na rozšíření skladovací plochy (nový chladicí box) v místě původní strojovny chlazení.

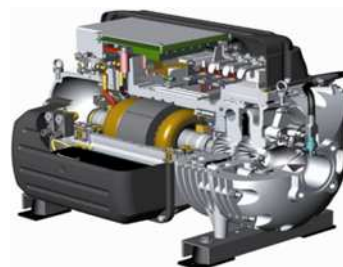
Hybridní chladič Jaegy umožňuje odvod 1200 kW kondenzačního tepla z chladicího stroje, při zajištění teplotního spádu chladicího ETG na hodnotě 32 °C/36 °C a teplotě okolí 36 °C. Při plném vytížení je chladič do teploty okolí 16,3 °C provozován v suchém režimu, při běžném vytížení je suchý režim možný až do teploty okolí 22,5 °C. Od této teploty okolí se aparát provozuje v mokrému (nebo kombinovaném) režimu. Technologii je možné provozovat v suchém režimu i při vyšších okolních teplotách, ale za cenu ztráty provozní účinnosti, tedy využití mokrého režimu je (i se započítáním nákladů na chladicí vodu a její úpravu) výrazně provozně výhodnější.

INOVATIVNÍ TECHNICKÁ ŘEŠENÍ

V rámci technické realizace chlazení bylo nutné vyřešit některé, ne úplně běžné požadavky na chlazení produktů.

Chladicí stropy

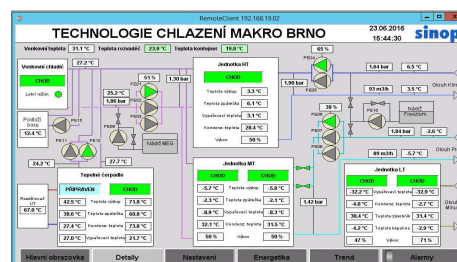
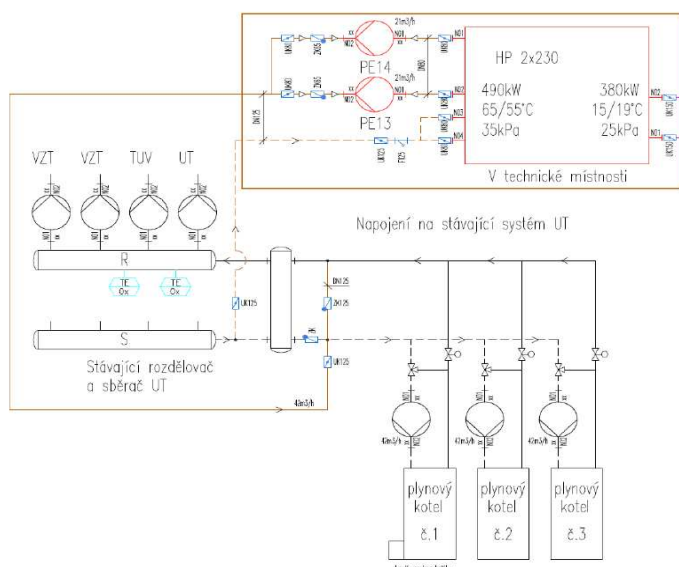
Zajišťují chlazení prostoru pro paletový prodej chlazených produktů s teplotou cca 10 až 12°C. Technologie chlazení vytváří vzduchovou clonu kolem chlazených produktů. Technologie zajišťuje precizní regulaci teploty a obíhajícího množství vzduchu v rámci vzduchové clony. Toto řešení bylo použito pro prodej mléčných produktů, ovoce a zeleniny.



Obr. 6 Chladicí stropy a použité kompresory.

Optimalizace chlazení prodeje masa, ryb

Prodej masa je realizován v zákaznický přístupném chladicím boxu. Cílem řešení bylo zajistit stabilní prostorovou teplotu v rozsahu 0 °C až +1,5 °C s minimálním prouděním vzduchu (tak aby byl zajištěn rozumný nákupní komfort pro zákazníka, který se v chlazeném prostoru pohybuje). Řešením byla optimalizace způsobu proudění vzduchu v komoře tak, aby studený vzduch spadal do spodní části. Podobně jako v komoře pro chlazení masa bylo řešeno bezprůvanové chlazení prodeje čerstvých ryb.



Obr. 7 Schéma zapojení tepelného čerpadla a výstup měření a regulace.

Rekuperace tepla

Pro zajištění ohřevu prostoru hypermarketu bylo použito dvoustupňové tepelné čerpadlo. Toto tepelné čerpadlo pro svůj provoz využívá kompletní energii odpadního tepla z potravinářského chlazení. V této odpadní nízkoenergetické energii (teplotní spád cca 15 °C/10 °C) je zvednut potenciál pomocí tepelného čerpadla, na hodnotu +58 °C/65 °C (požadavek investora na zachování stávající otopné soustavy). Celkový tepelný výkon tepelného čerpadla je 490 kW při topném faktoru 4,1. Tepelné čerpadlo je zintegrováno do stávající otopné soustavy tak, že slouží vždy jako prioritní tepelný zdroj. V případě nedostatečného tepelného výkonu čerpadla, nebo jeho výpadku, je otopná soustava zásobována teplem pomocí stávajících plynových kotlů.

MONITOROVÁNÍ DAT

Technologie je vybavena kompletním monitorovacím systémem přístupným přes VPN a to lokálně nebo vzdáleně pomocí IT sítě. Systém vyhodnocuje veškeré provozní a poruchová data, kompletní hodnoty všech elektrických odběrů a skutečná (kalorimetricky měřená) data COP chladicí technologie. Pro potřeby zákazníka jsou automatizovaně zpracovávány a odesílány reporty teploty protokolu HACCP.

Rekonstrukce proběhla podle predikce v definovaném harmonogramu a byl dodržen termín kolaudace. Vlastní výměna cca 122 dílů distribučního nábytku byla provedena pouze v nočních hodinách, trvala (s ohledem na výhody nepřímého chlazení) pouze 14 dní a neovlivnila potřeby zákazníka. Povedlo se vytvořit nové a moderní prostředí.

BENEFITY A VÝSLEDKY REALIZACE

Remodeling přinesl výrazné zvýšení komfortu prodeje a zabezpečil vyšší kvalitu skladování chlazených a mražených produktů. Povedlo se ve stávajících prostorách navýšit prodejní a skladovací plochu o 8 % pro mražené produkty (LT), o 56 % pro chlazené produkty a o 38 % pro klimatizované části. Pomocí tepelného čerpadla je vráceno 100% využitelné energie zpět pro potřeby hypermarketu při současném zvýšení provozní účinnosti vlastního chlazení.

Roční elektrické odběry se snížily o cca 46 % (tak, jak bylo predikováno a navrženo v rámci výpočtu energetických bilancí a energetického auditu). Podařilo se zajistit stabilní teploty v jednotlivých chlazených zařízeních s výrazným zvýšením kvality dle HACCP při současném výrazném zvýšení provozní spolehlivosti a zajištěním dlouhé životnosti chladicí technologie.

Celá projektová část (dokumentace stavby, potravinářského chlazení a části tepelného čerpadla) byla vytvořena pomocí technologie BIM (Autodesk REVIT).

LITERATURA

- [1] CHYSKÝ, J., HEMZAL, *Technický průvodce Větrání a Klimatizace*, Praha 1993, kap. 1.2.7.

ZIMNÍ STADION VYUŽÍVAJÍCÍ ODPADNÍ TEPLA Z KONDENZACE CHLADIVA A Z KOGENERACE

Vladimíra Linhartová¹

¹České vysoké učení technické v Praze
vladimira.linhartova@fsv.cvut.cz

ANOTACE

Řešený zimní stadion využívá odpadní teplo z chladicího oběhu. V první řadě teplo přehřátých par chladiva a pro využití nízkoteplotního kondenzačního tepla chladiva je vybaven třemi tepelnými čerpadly voda-voda. Teplo přehřátých par je využito k přípravě TV, otopná voda na výstupu z tepelných čerpadel pro potřeby rolby, k vytápění a k tání ledu ve sněžné jámě. V areálu je provozována také kogenerační jednotka, která byla navržena na potřebu elektrické energie. Elektrická energie je využita k pohonu chladicích jednotek a TČ, teplá voda hlavně k teplovodnímu vytápění. Současná dodávka odpadního tepla od KJ a z chladicího oběhu přispívá k přebytkům odpadního tepla v letním a přechodném období. Závěrem článku je návrh na změnu zapojení a distribuce tepla v ZS a rozšíření dodávky do sousedních objektů.

ÚVOD

Provoz zimního stadionu je finančně náročný a proto se hledají možnosti úspor ve všech oblastech spotřeb. Využití odpadního tepla z chladicího systému je oblíbeným prostředkem, jak zredukovat spotřebu energie na ohřev vody (pitné i technologické). Rozsah a způsoby zapojení odpadního tepla jsou rozdílné v každém objektu. V tomto případě byla postupně doplňována zařízení pro využití odpadního tepla z chladicího oběhu a následně byla doplněna kogenerační jednotka. V závěru článku je posouzení způsobu zapojení a dodávky odpadního tepla na různých teplotních úrovních v popsaném objektu.

POPIS OBJEKTU A TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ

Zimní stadion byl otevřen v roce 1959, obestavěný vytápěný prostor je 3040 m³, celkový obestavěný prostor má objem 11 260 m³. Kapacita je 5000 osob, z toho 840 míst je k sezení a 4160 míst ke stání. Hrací plocha má rozměry 59,2 x 28,1 m. V technologii chlazení je použit systém přímého odparu čpavku pod ledovou plochou, délka ocelového potrubí je 22 km. V zázemí je k dispozici 24 sprch. Aktivní sezóna s ledovou plochou je od začátku srpna do konce března.

Zdroj chladu

Zdrojem chladu pro chlazení ledové plochy jsou dvě jednotky o výkonu 310 a 255 kW (při teplotách -12/35 °C), příkon motorů kompresorů je 110 a 90 kW. Chladicí stroje jsou v provozu 2010 a 1690 motohodin za sezónu. V průběhu roku je více využívána menší jednotka, obě dvě běží současně jen při vytváření nové ledové vrstvy v srpnu. Pro chlazení kondenzátoru je na střeše administrativní budovy odpařovací kondenzátor.

Vypočtové množství tepla v přehřátých parách je 256 MWh.rok⁻¹ a v kondenzaci 1097 MWh.rok⁻¹.

Vytápění a větrání

Zdrojem tepla jsou dva plynové kotle o výkonu 2 x 290 kW. Vytápěná plocha v ZS je 1015 m² a výpočtová tepelná ztráta je 230 kW. Kotle byly po osazení TČ zachovány zejména jako záložní zdroje. Hala není vytápěna, v šatnách a kancelářích jsou otopná tělesa. Venkovní

výpočtová teplota v oblasti je $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. V hale je větrání zajištěno otvory v obvodových stěnách.

Tepelná čerpadla k využití odpadního tepla z kondenzace chladiva

Pro využití kondenzačního tepla byla do stávajícího systému doplněna tepelná čerpadla (dále TČ) v roce 2011. Teplo dostupné z kondenzace chladiva je akumulováno v zásobníku tepla o objemu 6300 litrů (teploty 20 až $25\text{ }^{\circ}\text{C}$). Na využitelnou teplotu je ohříváno třemi TČ voda-voda o celkovém výkonu 159 kW. Voda o teplotě $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ je akumulována v zásobníku tepla o objemu 8000 litrů. Otopná voda je využívána k potřebám rolby, k tání ve sněžné jámě a je distribuována do rozdělovače/ sběrače odkud je dále využívána k vytápění a alternativně k ohřevu TV. Schéma zapojení zařízení je na Obr. 1.

Každé TČ má výkon 53 kW a příkon 18,3 kW při teplotách W10/W35. Současné jsou v provozu max. 2 TČ, třetí je záložní. Zařízení jsou spouštěna tak, aby hodiny provozu na každém stroji byly rovnoměrné. V oběhu je bezfreonové chladivo R410A. Celoroční COP tepelných čerpadel v kaskádě je 3,77. Tepelné čerpadlo může modulovat výkon na 25, 50, 75 nebo 100 % jmenovité hodnoty. Podle informací provozovatele ZS bylo v sezóně 2013/2014 každé zařízení v provozu 2000 motohodin za sezónu. [4]

Hodnocení a modelování tepelných čerpadel

Zjištěné provozní charakteristiky TČ byly vyhodnoceny intervalovou metodou a dále využity k bilanci energií [1]. Výpočtová dodaná energie do systému je 490 MWh.rok^{-1} a spotřeba elektrické energie pro pohon 130 MWh.rok^{-1} (včetně oběhových čerpadel).

Sestava akumulačních zásobníků a TČ byla modelována v programu Trnsys [3]. Cílem modelu bylo stanovit intervaly spínání TČ. V modelu byly využity komponenty vyjmenované v Tab. 1, počty osob a rozvrh od provozovatele ZS. Maximální průtok oběhového čerpadla na přívodu do TČ je $39\text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ při dopravní výšce 16 m.v.s., čerpadlo na výstupu z TČ má maximální průtok $28\text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ při dopravní výšce 7 m.v.s. Výpočet byl proveden pro všechny měsíce v sezóně, krok výpočtu 15 minut. Výsledky z modelu byly využity v kapitole Balance energií.

Tab. 1 Seznam komponent použitých v programu Trnsys.

Komponenta	Trnsys model	Popis
TČ voda-voda	Type 668	Výkon a příkon TČ dle podkladů výrobce vložen externí referencí
Akumulace	Type 60	Akumulační zásobníky
Průtok vody	Type 14b	Časově závislá funkce – průtok vody
Data reader	Type 9a	Teplota vody na vstupu do nízkoteplotního akumulačního zásobníku dle kondenzační teploty chladicího stroje
Oběhové čerpadlo	Type 3b	Oběhová čerpadla s proměnným průtokem

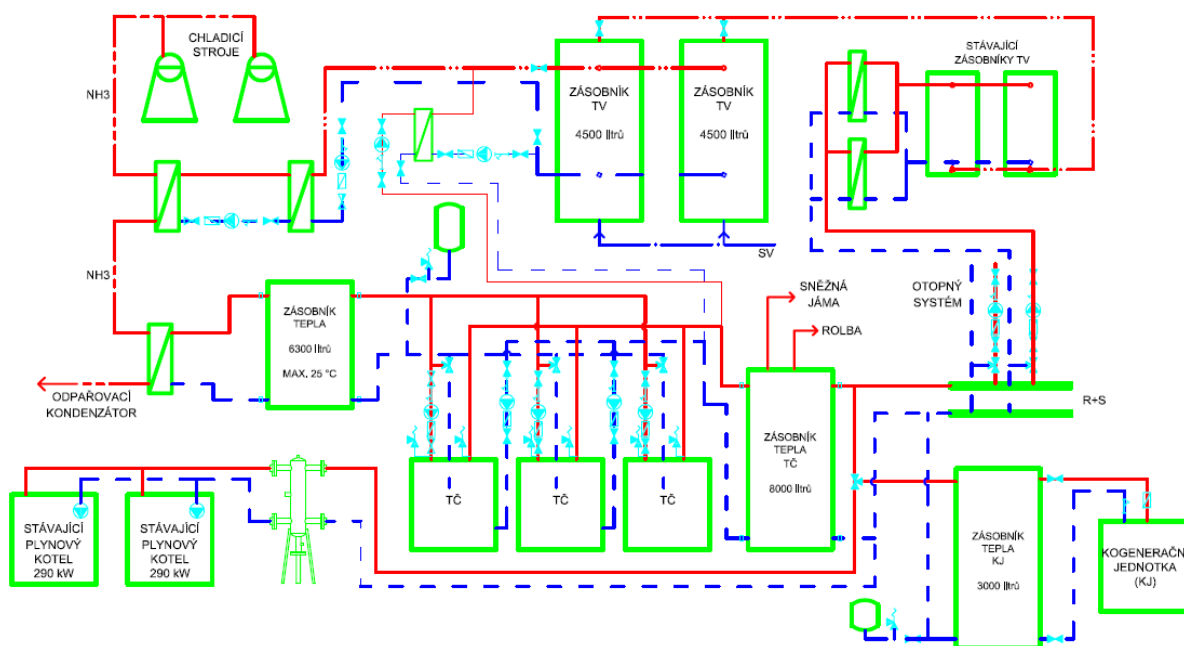
STÁVAJÍCÍ SYSTÉM VYUŽITÍ TEPLA Z CHLAZENÍ

Teplo přehřátých par je využíváno k přípravě TV ve dvou zásobnících tepla o celkovém objemu 9000 litrů. V systému jsou celkem čtyři zásobníky TV, dva nové, které slouží zároveň jako akumulace tepla z přehřátých par a dva stávající, které jsou pozůstatkem předchozího systému (TV byla ohřívána plynovými kotli).

Teplo přehřátých par chladiva není možné využívat pro další spotřeby na ZS.

Distribuce tepla do otopného systému má prioritu ze zásobníku tepla KJ. V případě nedostatku tepla v tomto zásobníku je odebíráno teplo ze zásobníku tepla TČ. Jako poslední jsou spuštěny původní plynové kotle. Zásobník tepla TČ má prioritní odběr tepla pro rolbu, sněžnou jámu a poté do otopného systému.

Ve schématu zapojení na Obr. 1 je tenkými čarami propojení, které má sloužit k ohřevu zásobníků TV tepelnými čerpadly nebo ke zvýšení teploty TV. Propojení mělo sloužit při nedostatku tepla přehřátých par a zamezit využití plynových kotlů pro přípravu TV, ke kterému během provozu téměř nedochází.



Obr. 1 Schéma zapojení na zimním stadionu.

KOGENERAČNÍ JEDNOTKA

Na zimním stadionu byla instalována kogenerační jednotka (dále KJ) v roce 2012. Jednotka je vybavena pístovým spalovacím motorem na zemní plyn, generátorem na výrobu elektrické energie, tepelnými moduly a elektrickým rozvaděčem. Vysokopotenciální tepelná energie slouží k vykonání práce a poté se využije chladicí voda motoru a horké spaliny. Teplo je získáváno ze sériově napojených výměníků, chladiče oleje, chladiče primárního okruhu bloku motoru a z odcházejících spalin.

Otopná voda dodávaná do akumulačního zásobníku má teplotu až 90 °C. Teplotní spád přívodu a zpátečky kogenerační jednotky by měl být 20 °C. Vstupní teplota do sekundárního okruhu je minimálně 30 a maximálně 70 °C, pro dlouhodobý provoz je doporučeno, aby teplota zpátečky byla vyšší než 50 °C.

Návrh kogenerační jednotky byl proveden podle potřeby elektrické energie. Jednotku lze provozovat na 100, 75 nebo 50 % výkonu. Kogenerační jednotka má při jmenovitých podmínkách elektrický výkon 105 kW a tepelný výkon 138 kW (400V/ 50 Hz; 90/70 °C). Jmenovitý příkon v palivu je 282 kW a spotřeba zemního plynu 29,9 m³.h⁻¹. Při jmenovitých podmínkách je elektrická účinnost 37,2 % a tepelná účinnost 51,8 %. [5]

Kogenerační jednotka je kombinovaným zdrojem elektřiny a tepla a její ekonomický přínos je podmíněn efektivním využitím obou forem vyráběné energie. Využití tepla je velmi důležité,

protože přebytky elektřiny lze dodávat do sítě, přebytky tepla na tomto ZS nelze. Vyrobená elektrická energie je využita pro provoz chladicích strojů a TČ, přebytky jsou distribuovány do sítě. Teplo je akumulováno v zásobníku tepla o objemu 3000 litrů a využito v ZS. V případě, že ze zásobníku tepla není odběr do soustavy, je KJ vybavena externím chladičem a obtokem spalinového výměníku.

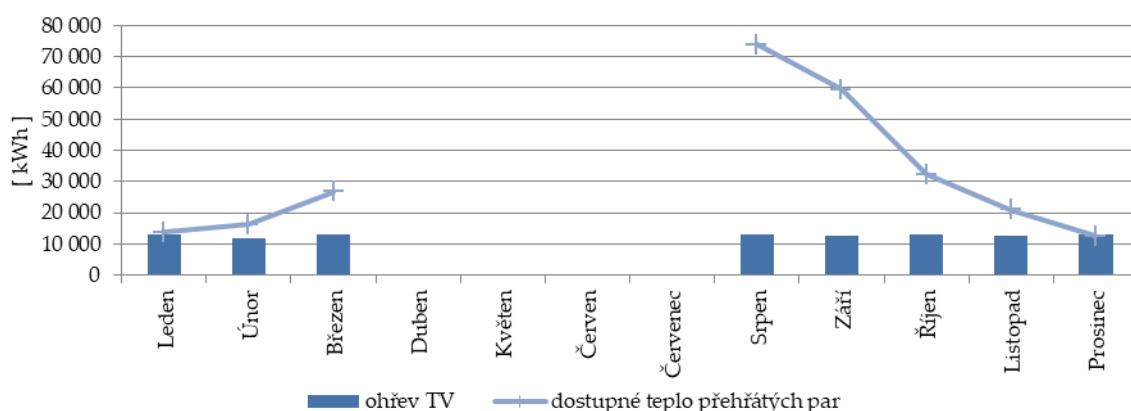
Kogenerační jednotka je řízena podle spotřeby elektřiny a tomu je podmíněna výroba tepla. Poměr mezi vyrobenou tepelnou a elektrickou energií nelze měnit. Jmenovitý poměr je udáván výrobcem, ale jeho hodnota závisí na provozních parametrech, na zatížení jednotky a teplotním režimu sekundárního okruhu pro dodávku tepla. S růstem teploty v sekundárním okruhu a snížením zatížení KJ se poměr dodávky tepla zvyšuje. Celková účinnost zařízení zůstává téměř stejná, ale z dodaného plynu je větší část převedena na teplo.

BILANCE ENERGIÍ

Z dostupného odpadního tepla za zimním stadionu je využíváno teplo:

- z přehřátých par chladiva o teplotě max. 55 °C,
- z kondenzace chladiva, které je povýšeno TČ na 60 °C,
- z kogenerační jednotky max. 90 °C.

Teplo přehřátých par je využíváno pouze k přípravě TV. Potřeba tepla je pokryta ve všech měsících v sezóně. Tímto způsobem zapojení je využito jen 39 % z dostupného tepla. Zbylých 61 % je odváděno pomocí odpařovacího kondenzátoru do venkovního prostředí. Ačkoliv jsou využity objemné zásobníky TV, množství dostupného tepla převyšuje spotřebu. Způsob zapojení neumožňuje teplo využít pro jiné účely.



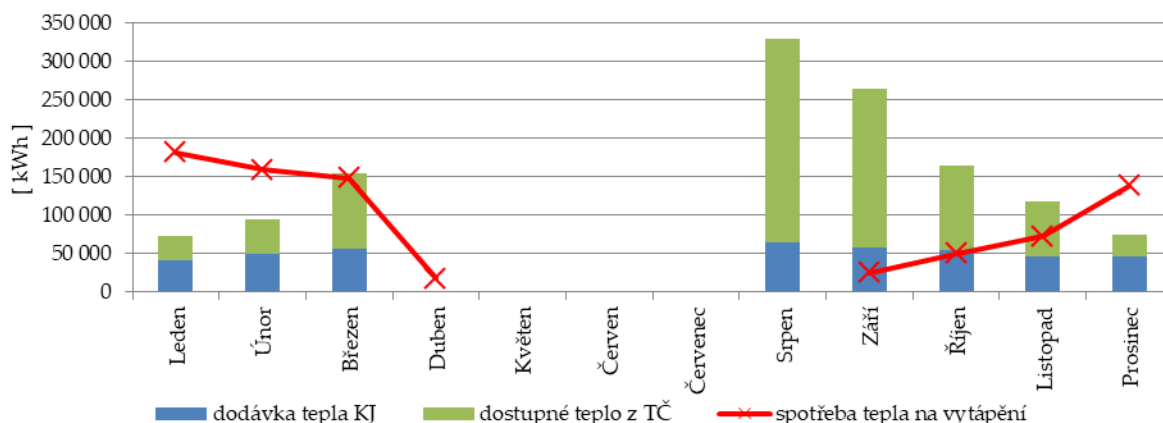
Obr. 2 Bilance tepla přehřátých par chladiva.

Z teplovodního zásobníku TČ je voda využita k tání ledu ve sněžné jámě, k ohřevu vody pro rolbu a také pro teplovodní vytápění šaten a administrativních prostor. Z celkového dostupného kondenzačního tepla je podle výpočtu využito 42 %.

Kogenerační jednotka je v provozu od srpna do konce března, tzn. 5832 motohodin za sezónu a vyrobí 227,8 MWh_e, 1500 GJ tepla a spotřebuje 80 750 m³ zemního plynu. Elektrická energie je využita pro pohon chladicího stroje, pro pohon TČ a přebytky jsou prodávány do veřejné sítě. Hodnocení KJ předpokládá výkon a příkon při jmenovitých podmínkách.

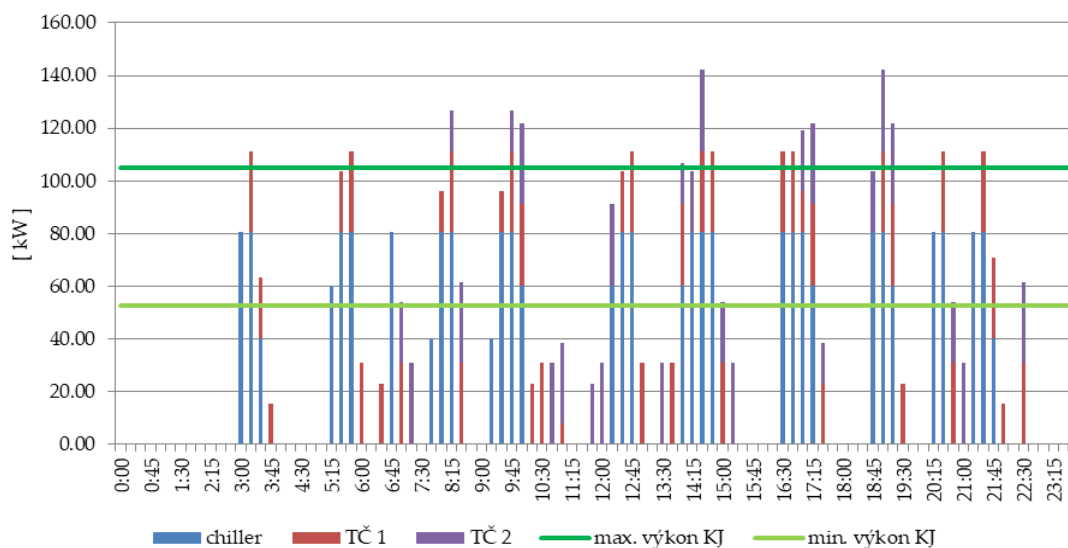
Teplo vyrobené kogenerační jednotkou je distribuováno do okruhu teplovodního vytápění. Zapojení umožňuje také využití tepla pro přípravu TV, ale z bilance energií vyplývá, že pro zajištění potřeby tepla pro přípravu TV dostačuje teplo z přehřátých par chladiva.

V grafu na Obr. 3 je sloupcovými diagramy znázorněna dodávka tepla KJ a maximální dostupné teplo na výstupu z TČ, kde před vytápěním má přednost dodávka tepla do sněžné jámy a rolby. KJ zajistí dodávku tepla pro 48 % z celkové potřeby tepla na vytápění. Kombinace TČ pro využití tepla kondenzace chladiva a odpadního tepla z výroby elektrické energie přispívá ke zvýšení přebytku odpadního tepla ve čtyřech měsících sezóny (polovina sezóny).



Obr. 3 Balance dodávky tepla z KJ, TČ a potřeba tepla na vytápění.

V grafu na Obr. 4 jsou čtvrt hodinová maxima příkonu chladicí jednotky a dvou TČ pro víkendový provoz v říjnu. Vstupními údaji do grafu byl harmonogram provozu ZS, spínání zařízení z interního monitoringu MaR a simulace v programu Trnsys.



Obr. 4 Čtvrt hodinová maxima el. příkonu TČ a chladicí jednotky, rozsah výkonu KJ.

Kogenerační jednotka byla dimenzována podle potřeby elektrické energie a její max. výkon odpovídá spotřebě jedné chladicí jednotky. Současný chod chladicí jednotky a dvou TČ na plný výkon poháněných elektrinou z KJ není možný. Úkolem MaR je zajistit postupné spínání chilleru a TČ tak, aby byly poháněny elektrinou z KJ v maximální míře. Podle výsledků bilance instalovaná KJ zajistí max. 60 % potřeby elektrické energie chillerů a TČ za sezónu.

EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

V samostatných zdrojích je elektrická energie získávána s nižší celkovou účinností než v KJ, která vyrábí i tepelnou energii, která je využita. Ekonomická návratnost KJ je závislá na tom, jak je zhodnocena vyrobená elektrická a tepelná energie. Výpočet prosté návratnosti bere v úvahu předpoklad, že KJ je využita jako náhrada plynového kotle s účinností 70 % a vyrobená elektrická energie nahradí odběr z veřejné sítě pro pohon chladicích jednotek a TČ v rozsahu popsaném v kapitole Bilance energií.

Cena za odběr zemního plynu je 1540 Kč.MWh^{-1} a za elektrickou energii 1910 Kč.MWh^{-1} [7]. Investiční náklady na KJ, akumulární zásobník a související instalace byly 3 mil. Kč. Náklady na údržbu jsou uvažovány 15 000 Kč za sezonu. Do výpočtu prosté návratnosti vstupují měrné náklady na údržbu a měrné investiční náklady. Provozní doba KJ je 5832 hodin za sezonu. Tepelný výkon, elektrický výkon a příkon je dosazen dle údajů výrobce KJ [5]. Výpočet prosté návratnosti je proveden podle vzorců [6] a vychází na 8 let, což je doba kratší než životnost zařízení.

VÝSLEDKY

Po instalaci TČ voda-voda využívajících jako nízkopotenciální zdroj kondenzační teplo chladiva z chladicího oběhu se snížila spotřeba plynu na vytápění, tání ve sněžné jámě a ohřevu vody pro rolbu o $56\,070 \text{ m}^3.\text{rok}^{-1}$ v porovnání s původními plynovými kotli. Z celkového množství tepla kondenzace bylo možné využít max. 54 %.

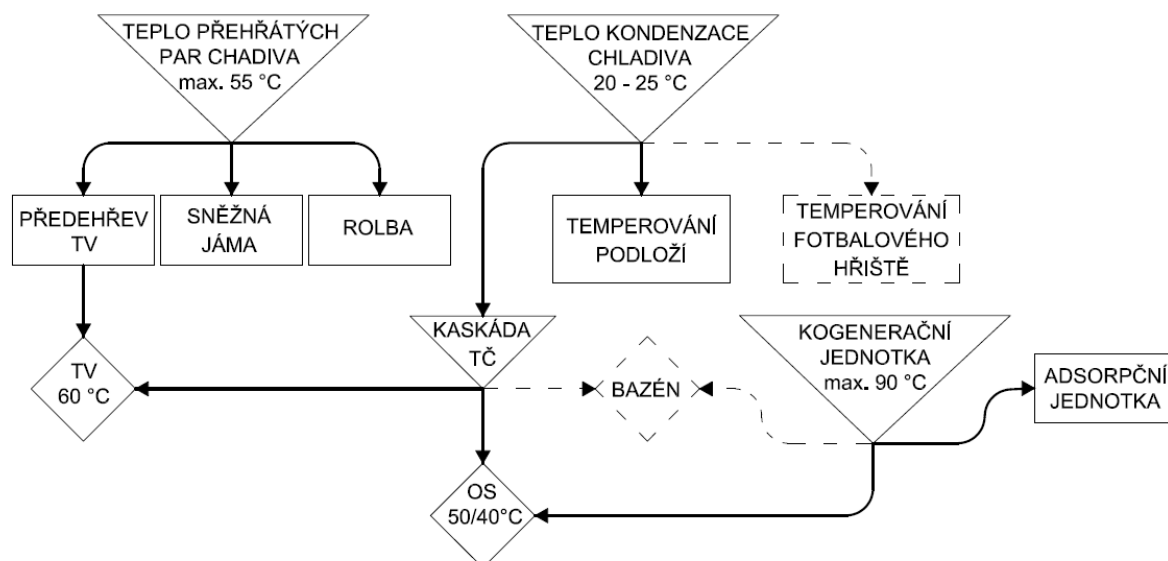
Po instalaci KJ se snížil potenciál využití TČ, resp. odpadního tepla z kondenzace, k teplovodnímu vytápění o 12 %. Z dostupného množství tepla kondenzace chladiva lze při daném zapojení a nastavených prioritách využít max. 45 %. Odpadním teplem z KJ je zajištěno 34 % z roční potřeby tepla na vytápění.

Hlavní nevýhodou způsobu zapojení na Obr. 1 je nízký potenciál využití tepla přehřátých par chladiva. Více než polovina, 61 % z dostupného tepla o teplotě k přímému využití bez dohřevu, je bez užitku mařena ve venkovním prostředí.

NÁVRH NA ÚPRAVU ZAPOJENÍ

Pro zvýšení podílu využití odpadního tepla na tomto ZS by bylo nutné změnit uspořádání distribuce tepla v ZS a rozšířit ji do sousedních objektů sportovního areálu. Příklad distribuce odpadního tepla ze všech zdrojů je na Obr. 5. Diagram vychází z jiných ZS, např. v Boskovicích se teplo z KJ odvádí do sousedního koupaliště ke zvýšení teploty vody v brouzdališti pro děti na 30°C a v rekreačním plaveckém bazénu na 26°C .

Diagram na Obr. 5 je připraven pro otopnou sezonu. Do ZS je doplněna adsorpční odvlhčovací jednotka, která zabrání vzniku mlhy nad ledem a ostatním negativním vlivům plynoucím z přirozeného větrání venkovním vzduchem. Pro regeneraci rotoru odvlhčovací jednotky je nutno ohřívat vzduch na velmi vysoké teploty, zajištěno dodávkou tepla z KJ. Ve schématu jsou návrhy na zvýšení podílu využití kondenzačního tepla bez dohřevu, pro temperování podloží pod ledovou plochou a temperování fotbalového hřiště. Přebytky tepla na výstupu z TČ a také z KJ jsou dodávány do bazénu a plaveckého areálu (ohřev bazénové vody, teplovodní vytápění, příprava teplé vody).



Obr. 5 Diagram distribuce odpadního tepla v ZS a do sousedních objektů sportovního areálu.

ZÁVĚR

Na ZS byla v první etapě modernizace instalována tři TČ k využití nízko-teplotního skupenského tepla kondenzace čpavku chladicího systému. Otopná voda byla využívána k vytápění, tání ledové tříště ve sněžné jámě a ohřevu vody pro rolbování. V druhé etapě byla doplněna KJ, která dodává elektřinu pro pohon zařízení na ZS a teplo využívané převážně k vytápění. Tím se snížil podíl využití TČ k teplovodnímu vytápění na ZS, množství mařeného tepla odpařovacími kondenzátory se zvýšil o 100 MWh za sezónu.

Při postupné instalaci různých systémů, které mají účelně využívat druhotné teplo, které vzniká jako vedlejší produkt hlavní výroby, v tomto případě chlazení a výroby elektrické energie, je nutné brát v úvahu vliv časové nerovnoměrnosti dodávky a odběru tepla. K nerovnoměrnosti dodávky a odběru tepla dochází v průběhu dne i v průběhu roku.

Navrhovaným řešením je změna způsobu zapojení a priorit distribuce odpadního tepla a rozšíření dodávky do sousedních objektů sportovních areálů. Tímto by byla zkrácena ekonomická doba návratnosti TČ i KJ.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 15 316-4-2 Tepelné soustavy v budovách – Výpočtová metoda pro stanovení energetické potřeby a účinností soustavy - Část 4-2: Výroba tepla pro vytápění, tepelná čerpadla. 2011.
- [2] Software CoolPack. Department of Energy Engineering. Technical University of Denmark.
- [3] Software Trnsys. Transient System Simulation Tool.
- [4] Zpráva f. Nukleon. Využití zbytkového tepla při chlazení ledové plochy na Zimním stadionu.
- [5] Firemní podklady Gentec [online]. Dostupné z: <http://www.gentec.cz/cz/uvod/kogeneracni-jednotky-gentec>
- [6] DLOUHÝ, T. *Kotelny a kogenerační jednotky*. ČVUT Praha, Fakulta strojní
- [7] Ceny energií [online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energi>

Tento článek vznikl za podpory studentského grantu SGS ČVUT.

PŘÍSPĚVEK K DISKUZI O REÁLNÉ PROVOZNÍ ÚČINNOSTI TEPLOVODNÍCH KOTLŮ NA BIOMASU

Zdeněk Lyčka

LING Krnov s.r.o.
zdenek.lycka@razdva.cz

ANOTACE

Problematika stanovení reálné provozní účinnosti teplovodních kotlů na pevná paliva je stále více diskutovaná. Díky neustále se zvyšující ceně energií je kladen vyšší důraz na přesné vyčíslení ekonomiky provozu tepelných zdrojů již v projektových dokumentacích a různých provozních analýzách. U teplovodních kotlů je také stále více zřejmé, že pro podobné studie nelze brát v potaz účinnosti deklarované výrobcem v průvodní technické dokumentaci, protože ta se často může významně lišit od reálné sezónní energetické účinnosti. Zvláště v období s menšími požadavky na množství vyrobeného tepla, kdy dochází často k cyklickému (přerušovanému) provozu zdroje, se může jeho reálná účinnost lišit od účinnosti deklarované. V tomto příspěvku jako příklad uvedu provoz malého peletového kotle.

ÚVOD

Výrobcem deklarovaná účinnost teplovodního kotle na biomasu definuje jeho potenciál, tedy maximum dosažitelného. Většina výrobců se k této účinnosti dopracovala často až po několikerém zkoušení a testování. Při certifikaci je kotel prakticky v laboratorních podmínkách umístěn na zkušební stanoviště, napojen na odtah spalín, na kterém je nastaven výrobcem přesně stanovený tah (ani malý ani velký), kotel se několik hodin roztápí na požadovaný ustálený výkon. Vyzdívka kotle je dokonale nahřátá a na roštu hořáku je stálá základní vrstva paliva. Profesionální obsluha kotel dokonale seřídila podle zjištěné koncentrace spalín na analyzátoru (popřípadě upravila tah podle naměřených parametrů) a také je použito palivo nejvyšší kvality a přesné velikosti. Po dosažení ustáleného provozního stavu je nastaven konstantní průtok vody a ideální tepelný spád (rozdíl teploty vody na vstupu a výstupu z kotlového tělesa). Pokud vše odpovídá, začne se zkouška. Po celou dobu hoření pracuje kotel na ustálený výkon s minimální změnou provozních parametrů.

V reálném provozu účinnosti deklarované výrobcem dlouhodobě prakticky nelze dosáhnout. Lze se jí přiblížit tím, že zapojením a provozováním kotle se přiblížíme podmínkám, za kterých byl certifikován. Tedy napojením na kvalitní komín s regulovaným tahem, zapojením kotle do otopné soustavy s akumulací nádrží, používáním garančního paliva, dostatečnou údržbou a kvalitní obsluhou. Čím více se budeme těmto podmínkám vzdalovat, tím více budeme ztrácet na účinnosti. U automatických kotlů může být účinnost nižší v řádu jednotek procent, u obyčejných kotlů až v řádu desítek procent. Ostatně to (částečně) zohlednilo i Nařízení komise (EU) 2015/1189 [1], podle kterého se stanovuje tzv. sezónní energetická účinnost vytápění u kotlů na pevná paliva. Jedná se o vážený průměr účinnosti zdroje deklarované výrobcem při jmenovitém (15 %) a minimálním (85 %) výkonu, snížený o ztráty vzniklé v důsledku regulace teploty otopné vody (pevná ztráta 3 %) a o ztráty vzniklé započtením použité pomocné elektrické energie.

Ale to se stále bavíme o účinnosti, které lze dosáhnout při ustáleném provozním stavu kotle. Nicméně zvláště v přechodném období s nižším odběrem tepla, popřípadě v létě, kdy často kotel „startuje“ jen pro ohřev vody v zásobníku, se mohou reálné provozní účinnosti významně snížit. A to v důsledku přerušovaného provozu, kdy se časy náběhu kotle na

optimální provozní teplotu a vychládání po odstavení z provozu začínají blížít (nebo i překračují) samotnou dobu, po kterou kotel odevzdává teplo otopné soustavě.

VLIV ŽÁRUVZDORNÉ VYZDÍVKY KOTLE

Od roku 2012 se začaly u teplovodních kotlů na pevná paliva radikálně měnit podmínky pro jejich uvádění na trh. Novela „kotlářské“ normy ČSN EN 303-5:2013 [2] zavedla nově třídy kotlů 4 a 5 s nesrovnatelně vyššími nároky na kvalitu spalování (produkované emise). Novela zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší [3] zapříčinila, že od roku 2018 lze na trh uvádět pouze kotle třídy 4 a díky nařízení o ekodesignu [1] bude možné od roku 2020 uvádět na trh pouze kotle emisně přibližně odpovídající třídě 5. To vše je spojeno s radikálními požadavky na snížení produkovaných emisí CO, prachu i OGC (uhlovodíků). Reálně lze takto vysokým požadavkům vyhovět především úpravou spalovacího prostoru kotle. Zajištění vysoké teploty prostředí (důležité pro ideální vyhoření uhlíku) a dlouhých spalinových cest (snížení úletů prachu) lze instalací podstatně robustnější a komplikovanější žárovzdorné vyzdívky do prostoru, ve kterém dochází k vyhořívání prchavé hořlaviny. Několik kilogramů jednoduchých šamotových cihliček kotlů tříd 1, 2 i 3 tak nahrazují desítky kilogramů speciálního žárobetonu ve formě různě složitých spalovacích komor. Naopak se snižují požadavky na jmenovitý výkon zdrojů, takže se zpravidla s menší velikostí kotlů snižuje i objem topné vody v nich. Důsledkem toho je fakt, že se významně změnily (prodloužily) také fáze „náběhu“ kotle na provozní teplotu a jeho vychládání. Jak si ukážeme dále, žárobeton je schopen naakumulovat v počáteční fázi obrovské množství energie. Jeho nahřátí na optimální provozní teplotu 900 – 1350 °C (podle účelu použití) může trvat i několik hodin, stejně tak poté jeho vychládání po odstavení kotle. Pochopení tohoto problému při projektování otopné soustavy může tedy významně přispět ke snížení provozních ztrát.

PŘÍKLAD PELETOVÉHO KOTLE

Uveďme si příklad peletového kotle moderní konstrukce o jmenovitém výkonu 18 kW. V opravdu kvalitním kotli by mělo být minimálně 40 kg žárobetonu, objem vody přibližně 60 litrů a ocelové kotlové těleso o váze okolo 120 kg. Při náběhu do optimální provozní teploty uvažujeme nahřátí žárobetonu v průměru o $\Delta t = 1000$ K (některé části jsou více tepelně namáhány, některé méně), měrnou tepelnou kapacitu c_p žárobetonu lze s velkou přesností odhadnout na $900 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (dle kvality). V přechodném období je kotel natopen z původní teploty otopné vody 20 °C na „provozní“ teplotu 60 °C. Velice zjednodušeně můžeme tedy počítat s tím, že také ocelové kotlové těleso (c_p oceli uvažujeme $450 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$) se v průměru „nahřeje“ z 20 °C na 60 °C, tedy podobně jako otopná voda o $\Delta t = 40$ K (většina tělesa je chlazená otopnou vodou). Pro srovnání předpokládejme, že kotel je zprovozněn v létě jednorázově pouze pro nahřátí 160 litrů vody v bojleru (c_p vody $4190 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$) z teploty 10 °C na 60 °C ($\Delta t = 50$ K). V Tab. 1 je uvedeno množství energie, které je nutné „dodat“ do jednotlivých částí kotle pro nahřátí na provozní teplotu a pro srovnání množství energie nutné pro ohřátí vody v zásobníku teplé vody. U otopné vody je počítáno s objemem 80 litrů (voda v kotli a mezi bojlerem a kotlem).

Tab. 1 Množství energie dodané do jednotlivých částí kotle a do bojleru

Žárobeton [MJ]	Otopná voda [MJ]	Ocel [MJ]	Zásobník TV [MJ]
36	13,4	2,2	33,5
Kotel celkem 51,6 MJ			

ZÁVĚR

Z tabulky je zřejmé, že energie dodaná pro nahřátí žárobetonu na provozní teplotu je zcela zásadní (téměř 3x vyšší než energie „uložená“ v otopné vodě) a je dokonce vyšší, než energie potřebná pro nahřátí zásobníku TV. Je to daň až přehnané snaze omezit produkované emise na hranici dosažitelného. Ještě v nedávné době, kdy v automatických kotlích na rozhraní tříd 3 až 4 bylo použito běžné vyzdívky do 10 kg, byla energie „vložená“ při náběhu do této vyzdívky nižší jak energie uložená v kotlové vodě (do 9 MJ). Nicméně, pokud jsme na tuto skutečnost připraveni již při projektové přípravě, lze popisované ztráty vhodným navržením regulace otopné soustavy značně eliminovat.

LITERATURA

- [1] Nařízení Komise (EU) 2015/1189 ze dne 28. dubna 2015, kterým se provádí směrnice Evropského parlamentu a Rady 2009/125/ES, pokud jde o požadavky ne ekodesign kotlů na pevná paliva
- [2] ČSN EN 303-5:2013 Kotle pro ústřední vytápění-Část 5: Kotle pro ústřední vytápění na pevná paliva, s ruční nebo samočinnou dodávkou, o jmenovitém tepelném výkonu nejvýše 500 kW-Terminologie, požadavky, zkoušení a značení, ČNI, Praha, 2013.
- [3] Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší.

ZÍSKÁVÁNÍ VODY ZE VZDUCHU S VYUŽITÍM SLUNEČNÍ ENERGIE V PROSTŘEDÍ POUŠTĚ

Tomáš Matuška¹, Vladimír Zmrhal²

¹Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze

²Fakulta strojní, ČVUT v Praze

tomas.matuska@fs.cvut.cz

ANOTACE

Získávání vody ze vzduchu v poušti bez potřeby konvenční energie zní trochu jako sci-fi. V příspěvku jsou představeny základní podmínky a principy, na základě kterých je v současné době vyvíjeno zařízení pro využití v pouštích Arabského poloostrova. Cílovou lokalitou je jednak Rijád (Saudská Arábie) jako místo s velice nízkou vlhkostí vzduchu, ale také Dubaj (Spojené arabské emiráty), neboť zařízení bude součástí české expozice na světové výstavě EXPO 2020 v Dubaji.

ÚVOD

Téměř třetina světové populace, tedy 2,1 miliardy lidí, nemá podle studie OSN [1] spolehlivě pitnou vodu. Mnoho z nich sice přístup k pitné vodě má, ale někdy pro ni musí chodit do velice vzdálených míst. Mnoho dalších pije nefiltrovanou vodu přímo z potoků nebo jezer. Zhruba 844 milionů lidí nemá k dispozici ani takovéto často nejisté zdroje pitné vody. Jednou z oblastí postižených nedostatkem pitné vody je i Arabský poloostrov. Na pobřeží se pitná voda získává energeticky náročným odsolováním. Problémem není však jen pitná voda, ale voda vůbec. Významnější část spotřeby vody se totiž celosvětově využívá v zemědělství.

V souvislosti s připravovanou světovou výstavou EXPO 2020 v Dubaji vznikl pro český pavilón koncept autonomního získávání vody ze vzduchu v extrémních pouštních podmínkách pro účely kultivace pouštního písku na úrodnou půdu. Systém kombinuje řadu technologií, od vlastního získávání vody ze vzduchu v suchých oblastech, kde prakticky nelze použít prostou kondenzaci, přes využití obnovitelných zdrojů tepla, chladu a elektrické energie pro zajištění autonomního provozu, až po biologickou část využívající produkci živin na bázi mikrořas s využitím slunečního záření a účinné podpovrchové zálivky v kombinaci s oživením pouštního reliéfu půdními symbiotickými mykorhizními a endofytními houbami fungujícími v kořenovém systému pěstovaných rostlin.

Následující příspěvek rámcově představuje principy technologie samotného získávání vody ze vzduchu, která je v současnosti ve vývoji.

KLIMATICKÉ PODMÍNKY

Z dostupných klimatických databází (Meteonorm) byly vybrány lokality ve Spojených arabských emirátech (SAE), které byly porovnány s klimatickými údaji pro Dubaj dodanými organizátory světové výstavy EXPO. Charakteristické klimatické údaje (teplota venkovního vzduchu t_a , měrná vlhkost venkovního vzduchu x_a , úhrn sluneční energie na vodorovnou rovinu H) pro vybrané lokality (viz mapa na Obr. 1) jsou uvedeny v Tab. 1. Lokalita Rijád v Saudské Arábii (SA) je uvedena pro porovnání, neboť její klimatické údaje slouží jako návrhové pro podmínky pouště.



Obr. 1 Poloha analyzovaných lokalit.

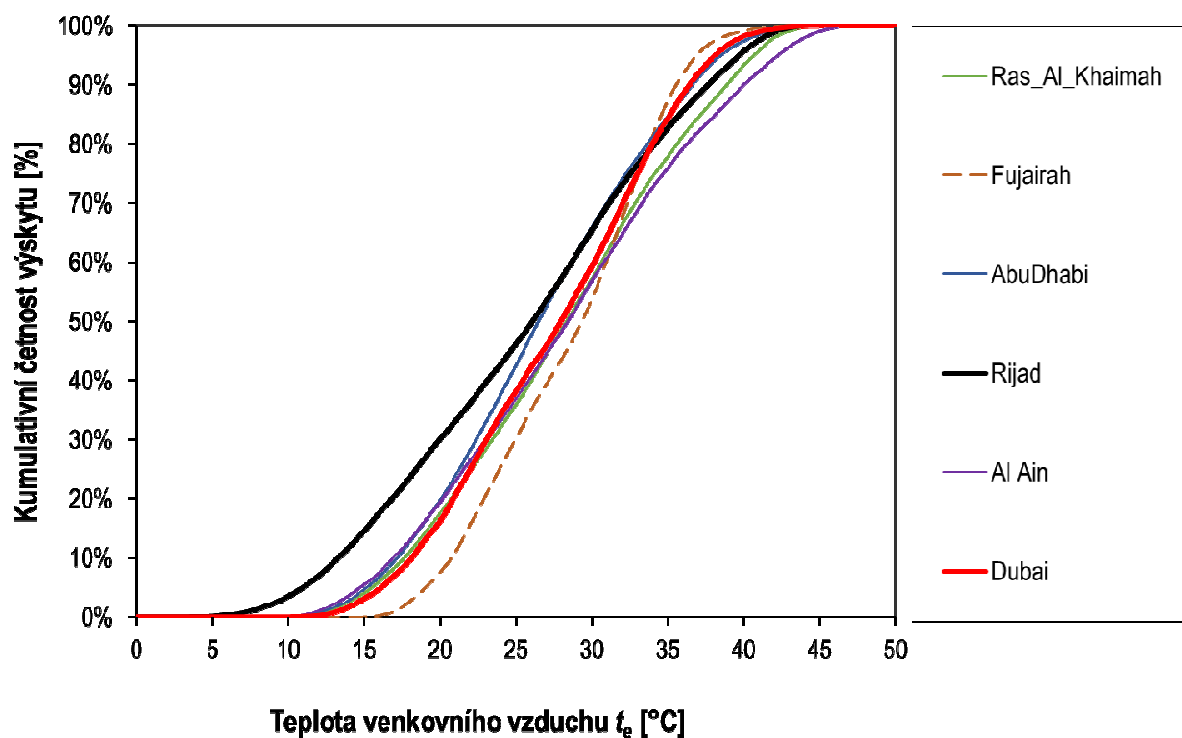
Z Tab. 1 je patrné, že města ležící na břehu moře mají průměrné měrné vlhkosti na úrovni 13 až 15 g/kg suchého vzduchu. Oblast Al-Ain ve vnitrozemí má průměrnou měrnou vlhkost nižší. Extrémní lokalitou z hlediska vlhkostních podmínek je pak Rijád (SA).

Teplotně jsou lokality vyrovnané s průměrnou roční teplotou venkovního vzduchu 27 až 29 °C. Výjimkou je opět prostředí Rijádu, u kterého je průměrná teplota mírně nižší. Na rozdíl od průměrných hodnot, které mohou dát pouze povrchní náhled na lokalitu, jsou významnějším zdrojem informací četnostní křivky. V grafu na Obr. 2 je uvedena kumulativní křivka četnosti výskytu teplot a na Obr. 3 křivka četnosti výskytu měrné vlhkosti v uvedených lokalitách.

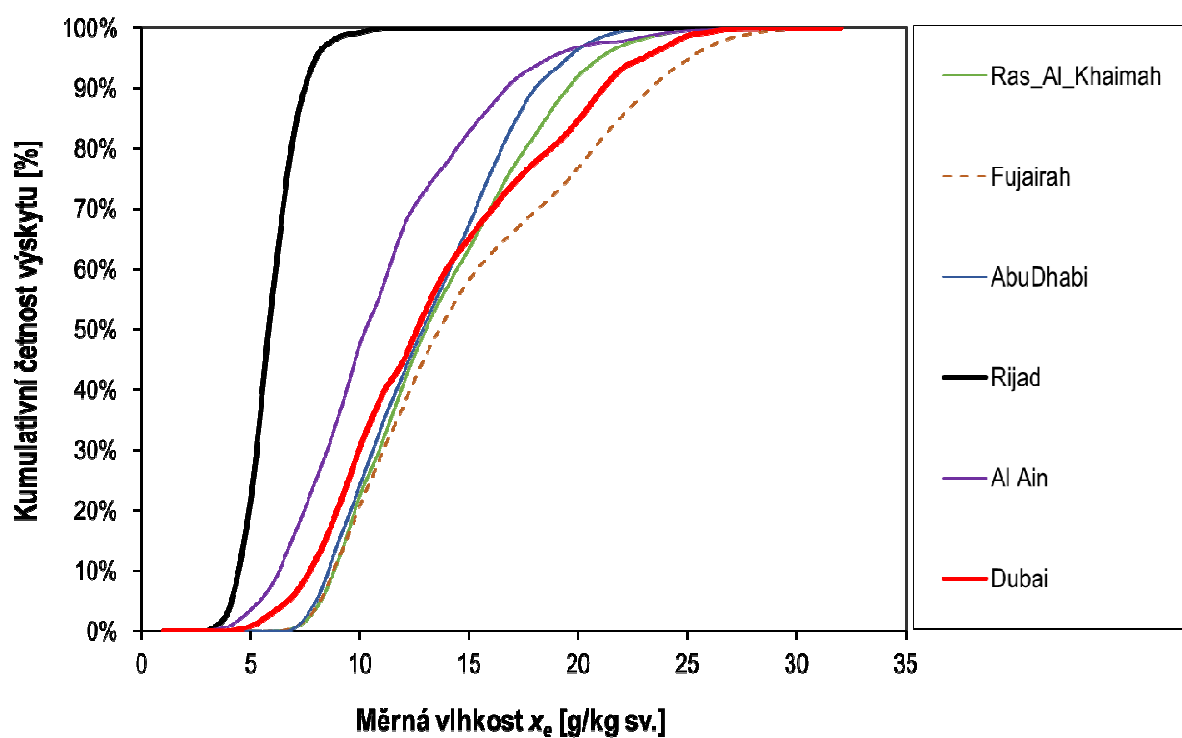
Z kumulativní křivky četnosti teploty venkovního vzduchu je patrná odlišnost Rijádu, kde teploty venkovního vzduchu mohou klesat až k hodnotám okolo 5 °C. Podobně je z Obr. 3 jasně vidět extrémně suché podnebí Rijádu, kterému se velmi vzdáleně přibližují podmínky Al-Ainu (SAE).

Tab. 1 Klimatické údaje pro vybrané lokality

Lokalita	t_a [°C]	x_a [g/kg]	x_{min} [g/kg]	x_{max} [g/kg]	H [kWh/m ²]
Ras Al Khaima (SAE)	28,2	13,7	6,4	27,0	1975
Fujairah (SAE)	28,6	15,1	5,7	30,9	1966
Abu Dhabi (SAE)	26,7	13,1	6,5	22,9	1957
Al Ain (SAE)	28,7	11,0	2,2	28,2	2274
Dubaj (SAE)	27,8	14,0	2,5	28,3	2128
Rijád (SA)	25,6	5,9	3,0	11,0	2217



Obr. 2 Kumulativní křivka četnosti teploty venkovního vzduchu



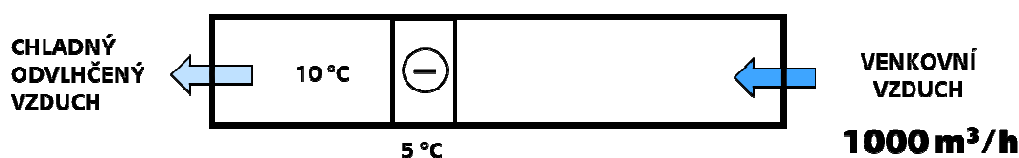
Obr. 3 Kumulativní křivka četnosti měrné vlhkosti venkovního vzduchu

TECHNOLOGIE

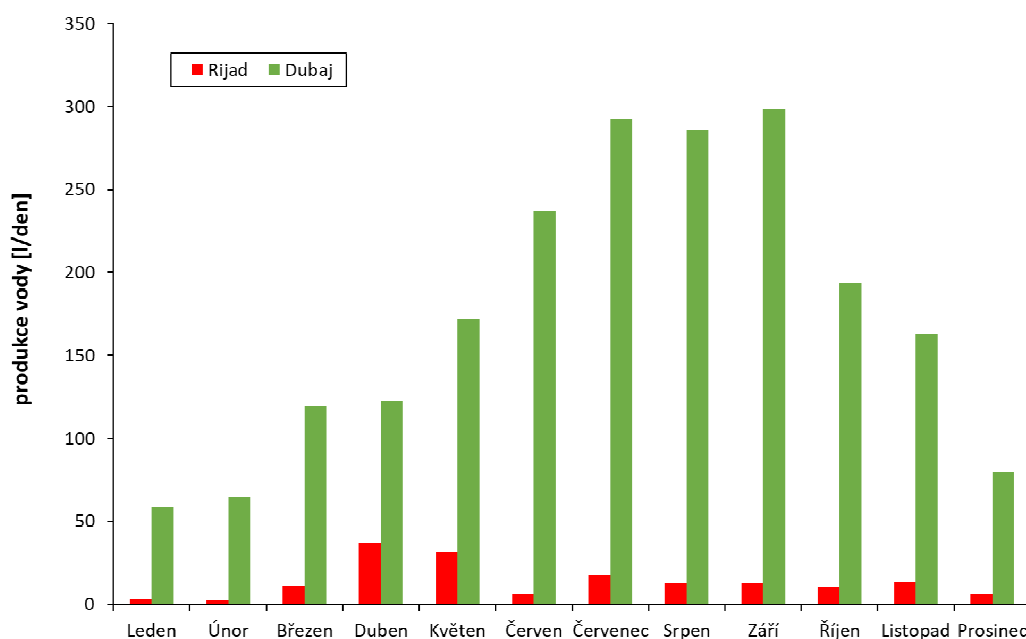
V oblasti získávání vody ze vzduchu existuje celá řada komerčně dostupných zařízení, které pracují na principu kondenzace vzdušné vlhkosti na chladiči, více či méně efektivně pracujícím. Taková zařízení lze bez problémů použít v oblastech s celoročně nebo sezónně vysokou měrnou vlhkostí vzduchu. Nicméně v případě extrémních podmínek suchých pouští nejsou kondenzační zařízení schopná získat významné množství vody, jak ukazuje následující analýza. I proto se základem vyvíjeného zařízení stal adsorpční regenerační systém.

Kondenzační zařízení

Pro ukázání (ne)funkčnosti jednoduchého kondenzačního zařízení, které využívá chladiče o povrchové teplotě 5 °C (viz Obr. 4), byly provedeny celoroční simulace s využitím hodinových klimatických údajů pro Rijád a pro Dubaj. Výpočty byly provedeny pro průtok venkovního vzduchu 1000 m³/h. V pouštním prostředí Rijádu je průměrná denní produkce kondenzačního zařízení okolo 14 l/den. Pokud by bylo stejné zařízení provozováno v Dubaji, pak by průměrná denní produkce byla 174 l/den a to díky výrazně vlhčímu klimatu. Na Obr. 5 je znázorněna roční balance produkce vody po jednotlivých měsících. Zatímco v Dubaji dosahuje produkce maxima v letním období (červenec až září) díky vysokého odparu vody z hladiny moře a tím vysoké vlhkosti vzduchu, v Rijádu nastává maximum produkce vody na jaře (duben-květen). Každopádně je z uvedených výsledků jasné, že v pouštních podmínkách je produkce vody při použití čistě kondenzačního principu velmi nízká a podobné zařízení zde ztrácí význam.



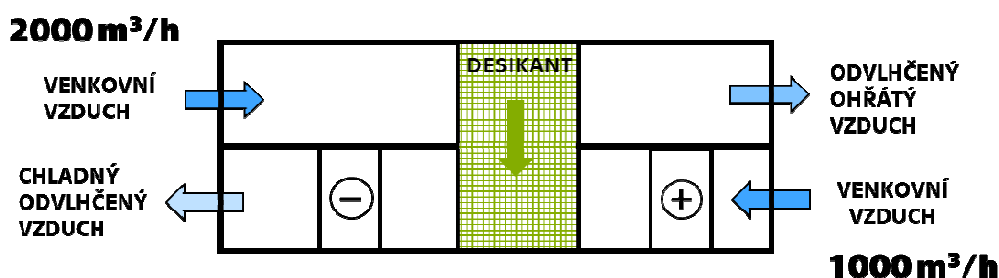
Obr. 4 Kondenzační zařízení pro získávání vody ze vzduchu



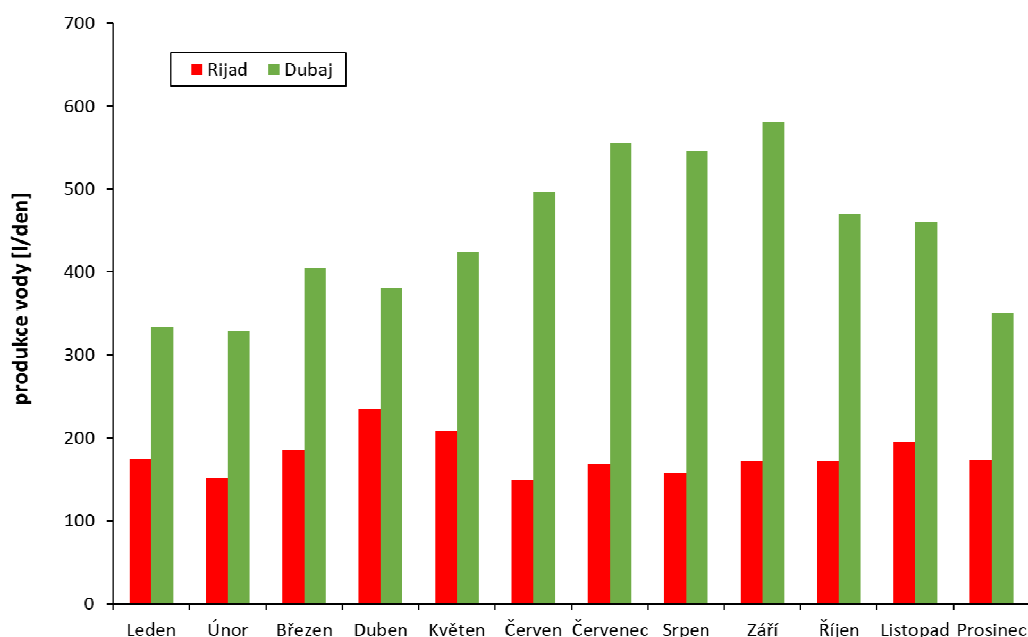
Obr. 5 Průměrná denní produkce vody během roku (kondenzační zařízení)

Adsorpční zařízení

Navrhované zařízení bude pracovat na bázi adsorpce molekul vody na povrchu desikantu naneseném na rotačním výměníku (viz Obr. 6). Desikant váže na svém povrchu molekuly vody z proudícího pouštního suchého vzduchu a vysušený (a mírně zahřátý) vzduch odchází zpět do okolního prostředí. Pro regeneraci desikačního výměníku je použit rovněž venkovní vzduch, avšak o významně menším průtoku (např. polovičním). Před vstupem do desikačního výměníku musí být tento vzduch ohříván na vysokou teplotu (cca 65 až 80 °C). Díky vysoké teplotě dochází k odparu vody a voda ve formě vodní páry přestupuje z povrchu desikantu do regeneračního vzduchu. Tím se regenerační vzduch navlhčí a ochladí (adiabatický proces), neboť se obohatí o vlhkost přenesenou rotačním výměníkem. Vlhký vzduch následně vstupuje do chladiče s nízkou povrchovou teplotou (např. 5 °C), kde vodní pára obsažená ve vzduchu již snadno zkondenzuje.



Obr. 6 Adsorpční zařízení pro získávání vody ze vzduchu



Obr. 7 Průměrná denní produkce vody během roku (adsorpční zařízení)

Podobně jako u předchozího čistě kondenzačního zařízení byly i pro adsorpční zařízení provedeny celoroční simulace s využitím hodinových klimatických údajů pro Rijád a pro Dubaj. Výpočty byly provedeny pro průtok regeneračního vzduchu 1000 m³/h a procesního vzduchu 2000 m³/h (viz Obr. 6). V pouštním prostředí Rijádu je průměrná denní produkce

adsorpčního zařízení okolo 179 l/den. Pokud by bylo stejné zařízení celoročně provozováno v Dubaji, pak by průměrná denní produkce byla 449 l/den. Na Obr. 7 je potom znázorněna bilance produkce vody po jednotlivých měsících.

Je vidět, že adsorpční zařízení má daleko vyšší potenciál získat z venkovního vzduchu vodu během celého roku. Stejně tak je jisté, že podobné zařízení vyžaduje pro svůj provoz dostatek energie. Jak ukázaly detailní modely (zde nepublikovány), zařízení lze dále upravit a optimalizovat jeho provoz pro další zvýšení produkce.

AUTONOMNÍ PROVOZ

V rámci následující analýzy bylo uvažováno s adsorpčním zařízením pracujícím s průtoky procesního / regeneračního vzduchu v poměru 2700 / 900 m³/h. Provozní parametry zařízení pro obě zkoumané lokality jsou uvedeny v Tab. 1. Pokud by uvedené adsorpční zařízení pracovalo v klimatických podmínkách Dubaje celoročně s dostatkem chladicího a topného výkonu, potom by produkovalo v průměru 505 litrů vody za den, v případě Rijádu denně pouze 271 litrů vody. Tab. 1 pak ukazuje výkonové a energetické nároky adsorpčního zařízení na teplo a chlad.

Chladicí kompresorové zařízení, které na jedné straně výparníkem chladí a odvlhčuje regenerační vzduch a kondenzačním teplem o vysoké teplotě regenerační vzduch přehřívá, by pracovalo s relativně nízkým chladicím faktorem okolo 1,7. Roční spotřeba elektrické energie takového zařízení je uvedena také v Tab. 1.

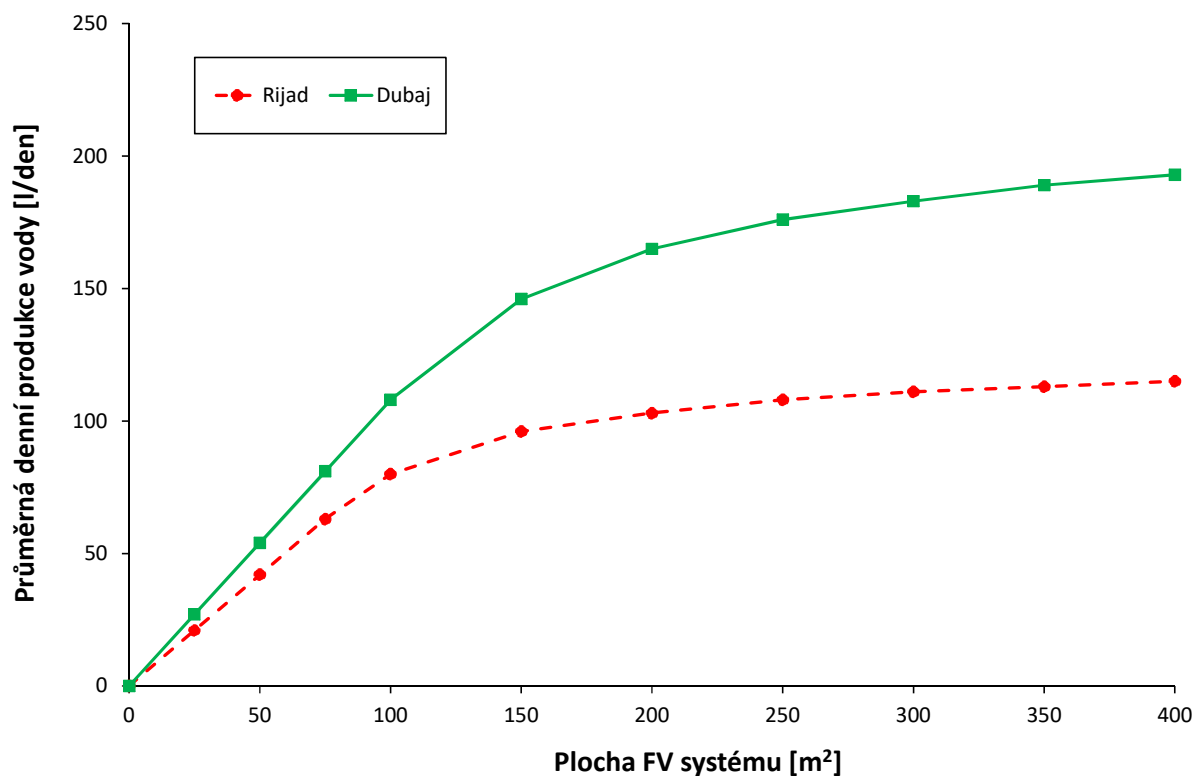
Tab. 1 Provozní parametry adsorpčního zařízení

Parametr	Rijád	Dubaj
Produkce vody [l/den]	271	505
Chladicí výkon [kW]	24	34
Potřeba chladu [MWh/rok]	180	220
Topný výkon [kW]	23	23
Potřeba tepla [MWh/rok]	140	140
Potřeba elektrické energie [MWh/rok]	100	120
Produkce vody autonomního systému [l/den]	115	190
Produkce vody autonomního systému s baterií [l/den]	122	230

Hlavním cílem vyvíjeného zařízení je provoz bez potřeby neobnovitelné energie, která v prostředí pouště není k dispozici. Snaha o autonomní provoz vede proto k využití sluneční energie, spojené s akumulací. Při uvažování roční dopadlé energie v klimatických podmínkách Dubaje okolo 2000 kWh/m².rok a v Rijádu okolo 2200 kWh/m².rok by pro zajištění autonomního provozu mohlo teoreticky postačovat okolo 400 m² fotovoltaického systému o provozní systémové účinnosti 15 %. Problémem však zůstává nestabilita příkonu slunečního záření během celého dne. V noci, kdy jsou pro získávání energie výhodnější podmínky, zařízení nepracuje. I během doby slunečního svitu pracuje zařízení s proměnným výkonem. Při provozu pouze s využitím daného fotovoltaického systému je potom průměrná denní produkce vody v obou lokalitách méně než poloviční. Určitou pomocí může být nasazení bateriového úložiště, které akumuluje přes den celou produkci FV systému a provoz

zařízení přesune do noční doby. Průměrná denní produkce vody se zvýší především v Dubaji, v oblasti Rijádu není přínos akumulace vysoký.

Další optimalizační analýza ukázala, že pro obě lokality lze výrazně snížit plochu FV systému. Graf na Obr. 8 ukazuje, že od určité velikosti FV systému již nenarůstá adekvátně průměrná denní produkce vody. U adsorpčního zařízení v Dubaji je to zhruba od plochy 200 m², u zařízení pracujícího v podmínkách Rijádu je hraniční plochou 150 m².



Obr. 8 Vliv instalované plochy FV systému na roční produkci vody autonomního sorpčního zařízení

V současné době probíhá optimalizační analýza spojená s výzkumem dalších prvků, které umožní snížit nárok zařízení na elektrickou energii a tedy snížit i velikost FV systému a zároveň zvýšit denní produkci vody.

ZÁVĚR

Získávání vody ze vzduchu v prostředí pouště není principiálně složité, jedná se pouze o využití známých principů v netradiční aplikaci. Nicméně řada prvků, které výrazně pomáhají snížit energetickou náročnost a tedy umožnit autonomní provoz, není v příspěvku prezentována s ohledem na probíhající práce na patentové přihlášce. Na konci roku 2018 bude postavené zařízení převezeno k testům do pouště za Dubají, kde bude v následujícím roce provozováno a monitorováno.

LITERATURA

- [1] The Joint Monitoring Programme (JMP) report, Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and Sustainable Development Goal baselines. WHO and UNICEF report, 2017.

NOVODOBÉ SYSTÉMY VYUŽÍVANIA ENERGIE Z OBNOVITELNÝCH ZDROJOV ZA ÚČELOM ZVYŠOVANIA ENERGETICKEJ NEZÁVISLOSTI –ENERBANK SYSTÉM

Jozef Matušov¹, Vladimír Lukáč², Peter Hrabovský¹, Zuzana Kolková¹

¹Výskumné centrum Žilinskej univerzity v Žiline

²ETOP ALTERNATIVE ENERGY, s r.o.

jozef.matusov@rc.uniza.sk, lukac@etop.sk, peter.hrabovsky@rc.uniza.sk,
zuzana.kolkova@rc.uniza.sk

ANOTÁCIA

Neustále nároky na zvyšovania komfortu v oblasti tepelnej pohody človeka, predstavuje motiváciu k vývoju nových efektívnych zariadení na transformáciu energie, ktoré v maximálnej miere splnia požiadavky kladené človekom. Na základe tejto skutočnosti vznikla spolupráca Výskumného centra Žilinskej univerzity v Žiline a spoločnosťou ETOP ALTERNATIVE ENERGY, s.r.o., ktorej zameranie je orientované na výskumno-vývojové aktivity, v ktorých cieľom je dosiahnuť čo najefektívnejšie zabezpečenie tepelnej pohody s maximálnym využitím energie z obnoviteľných zdrojov. Pre dosiahnutie tohto stavu bol v rámci spolupráce vyvinutý systém ENERbank, ktorý je kľúčovým systémom k dosiahnutiu energetickej nezávislosti od konvenčných zdrojov energie. ENERbank systém pozostáva z jednotlivých technologických prvkov, ktoré sú priemyselne chránené - Zemný akumulátor tepla, Zemný výmenník tepla a ENERbank a ďalšie systémy sú skúmané a realizované v podobe kogenerácie.

ÚVOD

Zvyšovanie podielu využívania obnoviteľných zdrojov energie je jeden z najdôležitejších cieľov krajín Európskej Únie, prostredníctvom ktorých je možné dosiahnuť energetickú nezávislosť. V prvom rade ide o orientáciu na obnoviteľné zdroje (slnečná energia, veterná energia, geotermálna energia, energia vody, biomasa), ktoré sú pre dané oblasti/krajiny v najväčšej miere dostupné. Za najdostupnejší zdroj je možné považovať Slnko a jeho energiu, ktorú je momentálne možné transformovať viacerými zariadeniami (kolektormi – ploché, koncentrické), v závislosti od intenzity slnečného žiarenia a doby využiteľnosti počas dňa.

Na Slovensku, ale aj v iných podobných európskych krajinách je v závislosti od ročných období nevyhnutné zabezpečiť transformáciu energie na teplo (zima, jar, jeseň), ale aj počas leta, kedy je potrebné objekty chladiť. Medzi typické spôsoby dosiahnutia ochladenia objektov je použitie klimatizačných zariadení. Na základe realizovaných štúdií je možné považovať tieto zariadenia jednak za energeticky náročné a pri nesprávnom nastavení a realizovaní údržby za zdraviu škodlivé. Z pohľadu eliminácie nákladov na prevádzku a škodlivosti klimatizačných systémov bude v článku predstavený systém ENERBank, ktorý predstavuje komplexné riešenie pre objekty z pohľadu zabezpečenia tepelnej pohody s efektívnym využitím OZE počas celého roka.

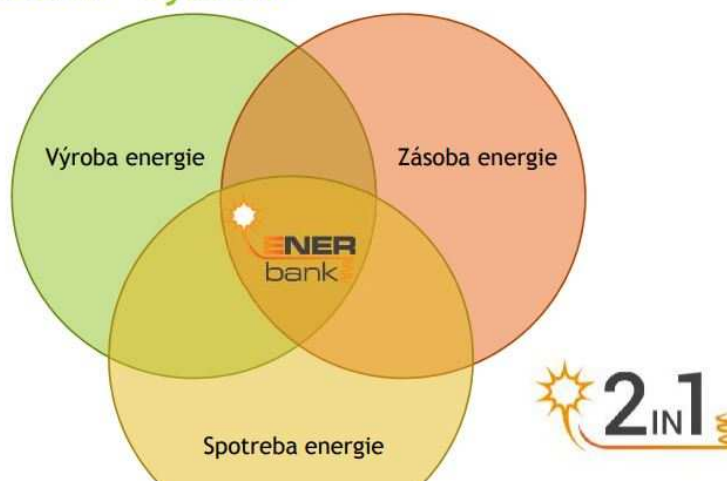
ENERBANK SYSTÉM

ENERbank systém je spojenie kogenerácie energetických zdrojov (termika, fotovoltika, tepelné čerpadlá, biomasa, energia vetra) so systémom vykurovania, výroby teplej úžitkovej vody, chladenia, vetrania, výroby elektrickej energie, zálohovania elektrickej a tepelnej energie a využitie odpadového tepla v objektoch, budovách, skleníkoch, rodinných domoch,

bytových domoch, teplárnach, firemných objektoch a poľnohospodárskych objektoch za spolupráce slnečného žiarenia s technologickými zariadeniami do podlažia v okolí objektov. Tento energetický systém bol vyvinutý za účelom energetického zabezpečenia, výlučne prostredníctvom využívania obnoviteľných zdrojov (OZE). ENERbank systém (viz Obr.1) sa skladá z:

- oblastí efektívnej výroby(transformácie) energie,
- zásoby energie pre budúce využitie,
- ekonomickej spotreby energie [1-3]

ENERbank® systém



Obr. 1 ENERbank systém.

Hlavnou motiváciou pri vývoji tohto systému bolo čo najefektívnejšie využívať inštalované systémy z oblasti OZE za účelom zamedziť vzniku ich stagnačných stavov. Otázne bolo, ako naložiť s prebytočnou energiou a ako získanú energiu uložiť na potrebné obdobie do času spotreby. Preto vznikla myšlienka využiť energetický potenciál geologického podlažia, ktorý z hľadiska dostupnosti a kapacity uloženia energie, za určitých podmienok má širokú škálu možností.



Obr. 2 Schéma fungovania ENERbank systému v letnom a zimnom režime.

Na základe tejto požiadavky boli zrealizované výskumno-vývojové aktivity v oblasti skúmania potenciálu uloženia prebytočnej tepelnej energie do geologického podložia. Na transport energie do a z geologického podložia sa využíva špeciálne zariadenie energetickej ihly. Systém transportu tepelnej energie prostredníctvom energetických ihlíc počas zimného a letného obdobia je zobrazený na Obr. 2.

Celkovo ENERbank pozostáva zo snímačov energie, výmenníkov energie, zásobníkov energie a energetických ihlíc (slúžia ako výmenník tepla v podloží) využíva niekoľko všeobecne známych zariadení spolu s priemyselne chránenými prvkami. Uloženú energiu v ENERbanku je možné distribuovať do objektu prostredníctvom podlahových, stenových a stropných systémov za spolupráce minitepelných čerpadiel a bio krbov a v budúcnosti ďalších zariadení, ktoré sú momentálne vo fáze vývoja [4, 5].

REALIZÁCIA VÝSKUMNO-VÝVOJOVÝCH AKTIVÍT

Výskumno-vývojové aktivity boli rozdelené do niekoľkých oblastí. V rámci prvotných úvah, bolo riešené, akým spôsobom bude zabezpečený transport tepelnej energie. Z pohľadu ekonomickosti bolo vyvinutý tvar energetickej ihly, ktorej inštalácia do geologického podložia bola realizovaná na základe vytvorenia skrutkovice po obvode energetickej ihly [6]. Týmto spôsobom boli dosiahnuté dva významné aspekty. Prvý umožnil ľahkú inštaláciu – umiestnenie v podobe zaskrutkovania a druhý bol v podobe zväčšenia teplo výmennej plochy. Princíp zaskrutkovania taktiež prispieva k zhutňovaniu podložia okolo energetickej ihly, čo má za dôsledok zvýšenie celkového koeficientu prestupu tepla. Po vývoji energetickej ihly boli realizované laboratórne merania (Obr.3), kde bol skúmaný proces celkového transportu tepelnej energie do zeminy s určením jej termofyzikálnych vlastností.



Obr. 3 Testovanie transportu tepelnej energie do geologického podložia v laboratórnych podmienkach prostredníctvom energetických ihlíc.

V rôznych úrovniach experimentálneho zariadenia boli zaznamenávané teploty a vlhkosti zeminy, z ktorých bolo možné určiť, akým spôsobom prebiehajú procesy šírenia tepelnej energie. Celkový proces prestupov a šírenia tepelných tokov boli prostredníctvom výpočtovej techniky a softwarovej podpory realizované rôzne simulácie, kde sa analyzovali prípady vlastností geologického podložia v závislosti od zvyšovania a znižovania percenta vlhkosti.

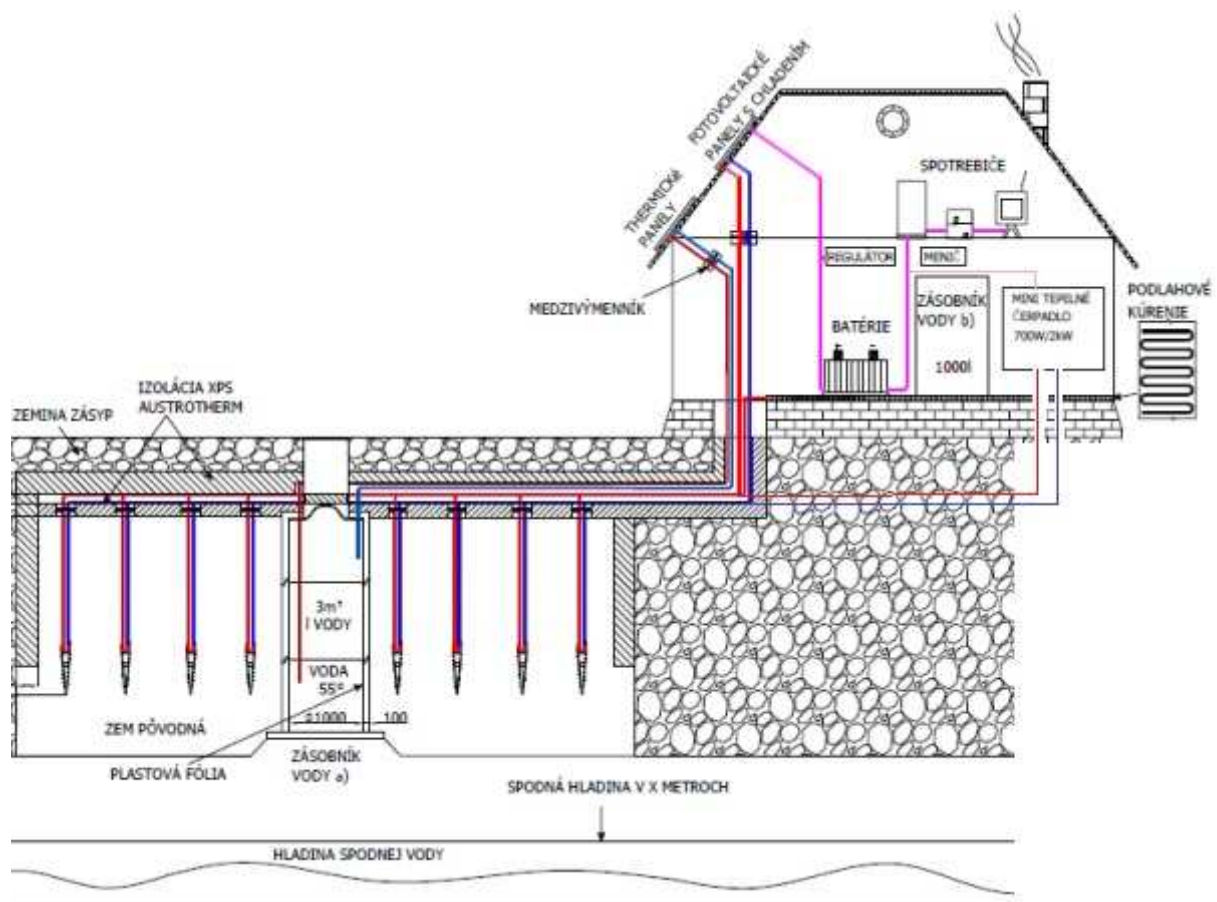
ZEMNÝ ZÁSOBNÍK TEPLA

Zemný zásobník tepla (viz Obr. 4) je zariadenie, ktorého úlohou je akumulovať energiu pre budúce použitie, to znamená preniesť „uložiť energiu z leta a efektívne ju využívať v zime“. Pri realizácii zemného zásobníka sa vychádza z nasledujúcich údajov:

- termofyzikálnych vlastností geologického podložia (zloženie podložia – štrky, piesky, íl, skaly, atď.),
- úroveň spodnej vody,
- požadovaného množstva uloženia tepelnej energie.

Veľkosť a kapacita zemného zásobníka je závislá vždy od energetických nárokov na dosiahnutie tepelnej pohody objektov. V prípade poľnohospodárstva je možné energiu zo zemného zásobníka využívať na predĺženie doby produkcie plodín.

Nevyhnutnou súčasťou zemného zásobníka sú energetické ihly, ktorých úlohou je transport tepelnej energie do a zo zemného zásobníka. Energetické ihly sú prepojené so zdrojmi energie (slnečné termické kolektory, fotovoltické panely – pohon minitepelných čerpadliel). Pri využívaní termických kolektorov je tepelná energia priamo distribuovaná prostredníctvom teplonosného média a za pomoci obehového čerpadla do energetických ihliel. V prípade použitia fotovoltických panelov je získaná elektrická energia využívaná na chod minitepelného čerpadla, ktoré odoberá počas leta nízkopotenciálnu energiu zo vzduchu (buď v objekte – chladenie, alebo aj priamo z okolia) a energia s vyšším potenciálom je ukladaná do geologického podložia. V rámci využívania uloženej energie v zemnom zásobníku, sa vychádza z faktu, že ak je teplota podložia v zemnom zásobníku viac ako 30 °C, tak je táto energia priamo dodávaná do podlahového systému. V prípade, že teplota v priestore zemného zásobníka je pod 30 °C, tak sa využíva minitepelné čerpadlo, ktoré prostredníctvom dodania elektrickej energie, zvyšuje teplotu na vyšší potenciál a tá je následne dodávaná do podlahového systému.



Obr. 4 Schematické znázornenie zemného zásobníka s pripojením na zdroje a spotrebiče.

Taktiež je možné zemný zásobník využívať aj pre účel chladenia. Energetické ihly nie sú napojené na zdroje energie (termické panely, tepelné čerpadlo, ...), ale sú prepojené so stropným panelmi, umiestnené v objektoch, ktoré zabezpečujú sálavé chladenie. V tomto prípade sa využíva fakt, že geologické podložie má nižšiu teplotu, ako je teplota okolia. Výhodou tohto systému chladenia je, že nemá hlučný chod a je výrazne energetickejšie menej náročný v porovnaní s klimatizačným zariadením. V rámci vplyvu na zdravie daných systém nevytvára priestor na množenie baktérií a taktiež nevytvára nútené prúdenie vzduchu v interiéri, čo má za následok zníženie náchylnosti na nachladnutie.

ZÁVER

Cieľom ENERbanku je dosiahnuť v maximálnej možnej miere energetickú nezávislosť od sietí so zabezpečením dostatočnej akumulácie elektrickej a tepelnej energie. Momentálne sa výsledky výskumu a vývoja implementujú do objektov – inštalácia systémov v rámci ENERbanku s celkovým systémom kontroly ETOPkontrol. Prostredníctvom spomínaných systémov a prvkov architektúry – dizajnu (Sokratové a Hypokaustové princípy) je možné dosiahnuť energetický aktívny a pozitívny objekt. To znamená, že využitím rôznych geometrických tvarov sa navrhne objekt tak, aby počas leta nedochádzalo k prehrievaniu objektu (minimalizácia nákladov na chod klimatizačných zariadení). V zimnom období umožňujú geometrické tvary objektu a geológie využívať na transformáciu tepla a elektrickej energie slnečné lúče priamo, to znamená bez strát. Zavedením týchto princípov sa dosiahne objekt, ktorý vyprodukuje viac tepelnej, chladovej a elektrickej energie počas svojej existencie, ako bude potrebovať na postavenie a prevádzku, ale aj konečnú demoláciu a recykláciu.

LITERATÚRA

- [1] <http://etopalternativeenergy.sk/enerbank-system/>
- [2] Zemný akumulátor tepla – PUV 50071-2015
- [3] Zemný výmenník tepla – PUV 50035-2015
- [4] Enerbank – POZ 800-2015
- [5] Zemný akumulátor tepla – EP 16179515.8
- [6] Zemný výmenník tepla – EP 16166027.9

Tento výskum je podporený Európskymi štrukturálnymi fontami – ITMS: 26220220121 a ITMS: 26220220048.

KONTROLY PŘEKOMPENZACÍ PROVOZNÍ PODPORY OZE

Filip Nečas

Frank Bold advokáti, s.r.o.
filip.necas@fbadvokati.cz

ANOTACE

Z rozhodnutí Komise o slučitelnosti provozní podpory OZE s vnitřním trhem dovedli státní orgány povinnost kontrolovat po deseti letech od uvedení výroben do provozu, zda u těchto výroben nedochází k tzv. překompenzaci. Situaci od poloviny loňského roku intenzivně řeší MPO, záměr kontrol schválila také minulá vláda a současná vláda stanovila realizaci těchto kontrol jako jednu z priorit jejích aktivit v oblasti energetiky. V lednu 2018 zahájilo MPO první dotazníkové šetření za účelem zjištění situace v jednotlivých sektorech OZE. V dubnu 2018 pak měly snahy MPO vyvrcholit návrhem novely zákona o podporovaných zdrojích, která umožní SEI provádět individuální kontroly překompenzací, a to nejméně u provozů, u nichž docházelo k souběhu investiční a provozní podpory. Je zřejmé, že tyto kontroly zasáhnou celý sektor. Jejich právní zakotvení je však v současné době nulové a v budoucnu patrně bude vyvolávat také mnoho otázek.

ÚVOD

Návrh novely zákona č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „zákon o podporovaných zdrojích energie“), která by měla mechanismus kontrol překompenzací upravovat, měl být připraven dle Plánu legislativních prací vlády pro rok 2018 již v průběhu dubna 2018 [1], avšak do okamžiku sepsu tohoto příspěvku nebyl vládě ze strany Ministerstva průmyslu a obchodu předložen. Dle vyjádření ředitele odboru elektroenergetiky, pana Ladislava Havla z května 2018, by měl být návrh novely zákona o podporovaných zdrojích energie předložen do konce září 2018.

V současné době tak lze vycházet toliko ze zveřejněného materiálu Závazky na zavedení mechanismu kontroly přiměřenosti podpory elektřiny z podporovaných zdrojů energie, který dne 4. 9. 2017 byl schválen Vládou ČR [2], a dále z jednotlivých sdělení a informací osob zapojených do projednávání a sepsu novely.

Účelem tohoto příspěvku je přiblížit mechanismus kontrol překompenzace a případně nastínit některé právní otázky, které by měla novela vyřešit.

PŘEDMĚT ZKOUMÁNÍ KONTROL PŘEKOMPENZACE

Potřeba provádění kontrol toho, zda při čerpání provozní podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie nedochází k překompenzaci, vyplývá z rozhodnutí Komise SA.40171 (2015/NN) a SA.35177 (2014/NN), která se věnovala schémům provozní podpory pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie ve výrobních uvedených do provozu v období od 1. 1. 2006 do 31. 12. 2015, a to z hlediska jejich souladu s vnitřním trhem. Tím je zároveň vymezen základní okruh výroben, u nichž se má překompenzace zkoumat.

Z toho okruhu výroben se pak kontroly překompenzace nebudou týkat výroben (zdrojů), které výši pobírané provozní podpory nepřesáhnou limity de minimis, tj. částku 200 000 EUR za kterékoliv tři po sobě jdoucí účetní období.[3] Ačkoliv ve zveřejněných dokumentech se hovoří o tom, že budou vyloučeny výroby, které pobírají takovou podporu ve výši

de minimis, z povahy soutěžního práva Evropské unie se limity podpory de minimis váží vždy na celý podnik, kterým není pouze výrobce, ale také další propojené osoby, například všechny osoby, které s ním tvoří koncern.[4] Navíc se do uvedené hodnoty de minimis započítávají i jiné veřejné podpory, které daný podnik v režimu de minimis pobírá. Jeví se jako nekoncepční, aby se limit pro provozní podporu výroby elektřiny do výše limitu de minimis z hlediska české práva vztahovala na výrobní, avšak z hlediska práva Evropské unie na výrobce či ještě širší okruh osob.

Předmětem zkoumání bude existence možné překompenzace v příslušném sektoru, popřípadě u příslušného projektu výrobní. Překompenzace představuje „nabytí výnosů v takové celkové výši která by vyústila v návratnost investic překračující přípustnou výši hodnoty vnitřního výnosového procenta investic.“[2] Indikace překompenzace provozní podpory bude provázána na výši projektového vnitřního výnosového procenta, které činí pro nepalivové zdroje 8,4 % a pro zdroje palivové 10,6 %. Pokud tedy tyto hodnoty vnitřního výnosového procenta nebudou překročeny, bude se mít za to, že překompenzace v daném sektoru či u dané výrobní nevzniká.[2] Přesný výpočet projektového vnitřního výnosového procenta bude, dle sdělení ředitele odboru elektroenergetiky z ledna 2018, upravovat nová prováděcí vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu, popřípadě novelizovaná vykazovací vyhláška.

Překompenzace může vzniknout v rámci několika režimů pobírání provozní podpory:

- a) kumulací provozní podpory výroby elektřiny a investiční podpory na výstavbu výrobní,
- b) kumulací provozních podpor (zejména podpory pro decentralizovanou výrobu),
- c) samotným pobíráním provozní podpory.

V případě kumulace provozní a investiční podpory, kde je riziko překompenzace největší, neprobíhá u těchto výroben sektorové šetření a bude přímo přistoupeno k individuální kontrole překompenzace. V ostatních případech bude probíhat nejprve sektorové šetření a teprve v případě, že v rámci daného sektoru bude shledáno riziko překompenzace a zároveň výrobce nepřistoupí na dobrovolné přijetí opatření proti překompenzace, proběhne i u něj individuální kontrola překompenzace.[2]

SEKTOROVÉ ŠETŘENÍ MINISTERSTVA

Sektorové šetření spočívá v monitoringu výroben určitého vymezeného sektoru. Sektory budou vymezeny v prováděcí vyhlášce, avšak mělo by se jednat vždy o okruh výroben využívajících též druh energie a uvedených do provozu ve stejném roce. Monitoring může probíhat u náhodně vybraných výroben nebo u všech výroben daného sektoru a zpravidla se realizuje formou dotazníku, který se rozešle jednotlivým provozovatelům dotčených výroben k vyplnění. Jelikož je i takový monitoring výkonem vrchnostenské veřejné správy, měla by se na tento postup subsidiárně aplikovat úprava dle části čtvrté zákona č. 500/2004 Sb., správní řád, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „správní řád“), nebude-li v novele zákona o podporovaných zdrojích energie výslovně uvedeno jinak.

Z hlediska právního základu, na kterém může sektorové šetření fungovat, je třeba zmínit ustanovení § 15a zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů (dále jen „energetický zákon“), které umožňuje Ministerstvu průmyslu a obchodu požadovat po držitelích licence na výrobu elektřiny informace a doklady nezbytné pro výkon jeho působnosti dle energetického zákona. Působnost Ministerstva průmyslu a obchodu je vymezena především v § 16 energetického zákona a spadá pod ní například také

povinnost zabezpečit plnění závazků, které České republice vyplývají z mezinárodních smluv a členství v mezinárodních organizacích včetně Evropské unie. Pod tyto závazky by spadaly patrně také závazky České republiky plynoucí z rozhodnutí Komise o posouzení schémat provozní podpory z hlediska jejich souladu s vnitřním trhem.

Nicméně, Ministerstvo průmyslu a obchodu na začátku tohoto roku prohlásilo, že tohoto ustanovení nevyužije. Bylo tomu tak i v případě pilotního dobrovolného dotazníkového šetření, které proběhlo na začátku tohoto roku pro výroby uvedené do provozu v letech 2006 až 2008.[5]

Na místo toho by se měl v návrhu novely zákona o podporovaných zdrojích energie zavést nový institut sektorového šetření, které má provádět Státní energetická inspekce ve spolupráci s Ministerstvem průmyslu a obchodu vždy po deseti letech od uvedení výroby do provozu,[2] jehož účelem bude prověření výše vnitřního výnosového procenta investice výrobce. Faktická podoba sektorového šetření bude patrně stejně jako u výroben uvedených do provozu v letech 2006 až 2008 spočívat v rozeslání dotazníkové tabulky, do které výrobce doplní údaje o svém provozu a tyto zašle zpět ve stanovené lhůtě Ministerstvu průmyslu a obchodu. Ministerstvo vyplněné tabulky předá Státní energetické inspekci, která takto získaná data vyhodnotí a v rámci každého sektoru sestaví zprávu.

Je třeba uvést, že pokud je stanovena v této fázi pouze povinnost výrobce poskytnout ministerstvu úplné a pravdivé informace, není nezbytné tyto informace dokládat příslušnou dokumentací. Státní energetická inspekce bude vycházet pouze z těchto informací poskytnutých výrobcem, které má pravomoc vyhodnocovat, avšak nikoliv ověřovat u jednotlivých výrobců a vyžadovat si od nich součinnost. Pokud by měla mít Státní energetická inspekce v této fázi vůči výrobcům jakékoliv pravomoci (např. oprávnění vyzývat je k součinnosti či k doložení jimi uvedených informací), musel by tak zákon výslovně stanovit. Takové ustanovení by však šlo proti smyslu provádění samotného sektorového šetření, neboť by de facto nahrazovalo jinou fázi kontrol překompenzace – individuální kontroly výrobců.

K zajištění plnění povinnosti výrobce předložit ministerstvu informace úplné a pravdivé budou nepochybně sloužit sankční ustanovení v rámci standardního přestupkového řízení výrobce. V takovém případě by však měli být výrobci o možnosti uložení sankce informováni obdobně jako je tomu v případě obdobných postupů podle § 15a energetického zákona.

Výsledky sektorového šetření budou prostřednictvím Ministerstva průmyslu a obchodu předány Vládě České republiky ke schválení. Lze jen doporučit, aby novela zákona stanovovala jasná pravidla pro případy, kdy výsledky sektorového šetření vládou schváleny budou a pro případy, kdy by vláda z jakýchkoliv důvodů výsledky sektorového šetření neschválila. Dokud nejsou výsledky sektorového šetření schváleny vládou, nelze totiž pro daný sektor dospět k závěru, že by v něm existovala rizika překompenzace, a nelze tak ani zahájit individuální kontrolu překompenzací a další případné kroky.

Otázkou, která není výslovně dosud řešena, je mlčenlivost orgánů veřejné moci ohledně údajů o ekonomice provozu jednotlivých výroben. S ohledem na možnou následnou individuální kontrolu překompenzace, která by měla probíhat analogicky dle zákona č. 255/2012 Sb., o kontrole (kontrolní řád), ve znění pozdějších předpisů (dále jen „kontrolní řád“), však lze mít za to, že celé sektorové šetření spadá bez ohledu na závěry uvedené v jednotlivých sektorových zprávách pod tzv. úkony předcházející kontrole ve smyslu § 3 kontrolního řádu a o těchto úkonech by tedy měl být mimo jiné pořizován záznam ze strany Státní energetické inspekce. Na úkony předcházející kontrole se pak váže zákonná povinnost mlčenlivosti ve smyslu § 20 kontrolního řádu.

DOBROVOLNÉ PŘIJETÍ OPATŘENÍ PROTI PŘEKOMPENZACI

Poté, co Vláda České republiky schválí zprávu Státní energetické inspekce o existenci rizik překompenzace v příslušném sektoru, měli by každý výrobce daného sektoru dostat možnost předejít individuální kontrole překompenzace tím, že dobrovolně přijme opatření proti překompenzace. K tomu mu musí být poskytnuta přiměřená lhůta, jejíž počátek bude spadat k okamžiku, kdy se o výsledku sektorového šetření a jeho schválení Vládou České republiky dozví. Lze doporučit v tomto ohledu výsledek sektorového šetření každému výrobcí příslušného sektoru oznámit stejným způsobem, jakým mu byla zaslána výzva k součinnosti při sektorovém šetření. Výrobci elektřiny, kteří pobírali vedle provozní podpory i investiční podporu a u kterých tudíž bude provedena individuální kontrola překompenzace bez ohledu na výsledek sektorového šetření, by měli být v souladu s § 4 správního řádu na tuto okolnost zároveň upozorněni, jelikož ti mohou požádat o dobrovolné přijetí opatření proti překompenzaci i v případě, že jejich sektor jako takový nebude shledán z hlediska překompenzací za rizikový.

Dobrovolné opatření pak může spočívat ve zkrácení doby trvání podpory nebo zkrácení výše poskytované podpory, v případě výrobců, kteří pobírali investiční podporu, se pak může jednat také o vrácení investiční podpory nebo její části. Lze mít za to, že by dobrovolné opatření mělo být přijímáno na základě výslovné žádosti výrobce a o této žádosti by mělo být rozhodnuto ze strany orgánů veřejné moci. Předejde se tak případným nedorozuměním, kdy by například výrobce nezamýšlel dobrovolné opatření přijmout, avšak jeho podání by tak bylo ze strany orgánů veřejné moci interpretováno. Pokud by k přijetí dobrovolného opatření postačoval pouze záznam v systému operátora trhu, neměl by výrobce opravný prostředek proti záznamu, který by byl proveden v rozporu s jeho vůlí, a byl by odkázán na zdlouhavé sporné řízení před Energetickým regulačním úřadem.

O výrobcích, kteří k dobrovolnému opatření proti překompenzace přistoupí, by měla být informována Státní energetická inspekce tak, aby u nich nezahajovala další kroky individuální kontroly překompenzací. Jeví se jako vhodné, aby informace o těchto výrobcích předával Státní energetické inspekci operátor trhu, který musí případná rozhodnutí o přijetí těchto opatření následně zohlednit v systému operátora trhu při aktualizaci údajů o čerpané podpoře. Operátor trhu pak bude o opatření nepochybně informovat také povinně vykupujícího pro případy, že výrobce pobíral provozní podporu formou výkupních cen.

INDIVIDUÁLNÍ KONTROLA PŘEKOMPENZACE

V případě projektů (výroben), u nichž došlo k souběhu investiční a provozní podpory výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, jakož i v případě těch, které spadají do sektoru, který byl v rámci sektorového šetření shledán rizikovým z hlediska možné překompenzace provozní podpory a provozovatelé takových výroben nepřistoupili k dobrovolnému opatření proti překompenzaci, by měla Státní energetická inspekce provádět individuální kontrolu překompenzace. U jiných výrobců, respektive jiných výroben nelze individuální kontrolu překompenzace zahájit a pokud by se tak stalo, bylo by možné proti tomuto postupu brojit žalobou na nezákonný zásah dle soudního řádu správního (srov. rozsudek Nejvyššího soudu ze dne 19. 9. 2007, č. j. 9 Aps 1/2007 – 68).

Režim individuálních kontrol

Jednou ze základních právních otázek v tomto smyslu je režim, v jakém taková kontrola bude probíhat. Ačkoliv se nabízí možnost zahrnovat tuto kontrolu pod kontrolní řád, je třeba se nejprve vypořádat se skutečností, že podle § 2 kontrolního řádu kontrolní orgán při kontrole zjišťuje pouze to, jak kontrolovaná osoba plní své právní povinnosti. Výrobce však nemá a ani v době investice neměl žádnou povinnost sledovat, zda státem stanovená veřejná

podpora nevybočuje z mantinelů přiměřenosti. Kontrolní řád tedy není možností provádění individuální kontroly překompenzace přizpůsoben.

Pro účely provádění individuálních kontrol překompenzací se však jeví kontrolní řád jako vhodná platforma, co do právního postavení kontrolované i kontrolující osoby. Uvedenou situaci by se mělo v takovém případě podařit vyřešit vložení ustanovení o analogické aplikaci ustanovení kontrolního řádu. Jelikož nelze na kontroly překompenzací využít veškerá pravidla obsažená v kontrolním řádu, bude vhodné, aby se kontrolní řád na tyto kontroly použil toliko „přiměřeně“.[6] Pokud působnost kontrolního řádu nebude výslovně v novele zákona o podporovaných zdrojích energie uvedena, aplikuje se podpůrně správní řád, a to v rozsahu jeho části čtvrté.

Předmět a výstup individuálních kontrol

Předmětem individuální kontroly bude ověření a výpočet projektového vnitřního výnosového procenta, a to na základě dokladů, které kontrolovaná osoba Státní energetické inspekci poskytne. Státní energetická inspekce oproti tomu může po kontrolované osobě požadovat pouze podklady a informace, které se vztahují k předmětu kontroly ve smyslu § 8 písm. c) kontrolního řádu. To je podstatné především pro výrobce, kteří vedle výroby elektřiny provozují také jinou činnost – příjmy a výdaje s takové jiné činnosti výrobce se k předmětu kontroly nevztahují a není tak povinností výrobce coby kontrolované osoby předávat o nich Státní energetické inspekci jakékoliv informace. Může se jednat třeba o příjmy z nájmu, které by mohly při jejich zahrnutí do výpočtu nedůvodně navyšovat úroveň vnitřního výnosového procenta.

Je možné, že některé podklady nebudou mít výrobci u sebe, nebo budou zadržovány předchozími vlastníky výrobce nebo výrobní. V takovém případě lze doporučit kontrolující osobě takové osoby označit, neboť kontrolující osoba má ve smyslu § 8 písm. c) a § 10 odst. 3 kontrolního řádu požadovat tyto doklady i od jiných osob včetně obchodních partnerů či bývalých společníků a funkcionářů výrobce.

Výstupem individuální kontroly překompenzace bude zpracovaný protokol, který bude obsahovat kontrolní zjištění o tom, zda u kontrolované výrobní dochází k překompenzaci či nikoliv. Proti tomuto protokolu lze brojit námitkami ve lhůtě 15 dnů od doručení protokolu kontrolované osobě. Teprve doručením rozhodnutí o vyřízení námitek lze kontrolu podle § 18 písm. b) kontrolního řádu ukončit. Nicméně lze očekávat, že Státní energetická inspekce využije možnosti, kterou jí poskytuje § 14 odst. 3 kontrolního řádu v návaznosti na § 18 písm. c) kontrolního řádu a kontrolu ukončí předáním námitek k vyřízení správnímu orgánu, který provede navazující řízení o uložení opatření proti překompenzaci, kterým bude shodou okolností opět Státní energetická inspekce.

Postup navazující na provedenou individuální kontrolu

Protokol o provedené individuální kontrole překompenzace může být podkladem pro navazující řízení o uložení opatření proti překompenzaci. Toto navazující řízení by mělo probíhat také před Státní energetickou inspekcí a v režimu správního řádu. Rozhodnutí vydaná v těchto navazujících řízeních tak budou soudně přezkoumatelná.

Státní energetická inspekce může v těchto navazujících řízeních přistoupit hned k několika opatřením se závažnými dopady na další hospodaření výrobců. Může se jednat především o zkrácení doby nároku na provozní podporu nebo snížení výše nároku na provozní podporu. V krajním případě a patrně pouze tehdy, pokud již v době konání individuální kontroly dosáhl výrobce návratnosti své investice a IRR projektu jeho výrobní přesáhlo stanovenou hodnotu, mohla by Státní energetická inspekce přistoupit k uložení povinnosti vrátit část podpory.

UKONČENÍ PROCESU A OBNOVA ŘÍZENÍ

Přestože ze strany zástupců orgánů veřejné moci je proklamováno, že celý mechanismus kontrol překompenzace by měl proběhnout v rámci každého sektoru, popřípadě výrobce pouze jednou a s konečnou platností, realita bude patrně působit tlak na to, aby pro výrobce existovala možnost proces obnovit.

Může se tak například stát, že výrobce bude vyhodnocen jako součást sektoru, u něhož probíhají individuální kontroly překompenzace a výrobce se rozhodne nepřijmout dobrovolné opatření proti překompenzaci. Po provedení individuální kontroly překompenzace u jeho výrobní jednotky bude výrobcovi uloženo opatření, kterým se zkrátí doba, po kterou může pobírat provozní podporu. Následně proběhne u výrobce kontrola plnění věcných podmínek cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu, při níž bude zjištěno, že výrobce nemá nárok na provozní podporu v cenách pro výrobní jednotky uvedené do provozu v roce 2010, nýbrž toliko v cenách pro výrobní jednotky uvedené do provozu v roce 2011. Výrobce se tak ocitne v situaci, kdy nadále do budoucna pobírat podstatně nižší provozní podporu, avšak v důsledku uloženého opatření po kratší dobu. Výrobcovi tak bude postižen opatřením proti překompenzaci, avšak návratnosti jeho investice se v důsledku uložené opatření zkrácení doby trvání nároku na podporu nemusí nikdy dočkat.

V tomto ohledu se diskutovala varianta, že by při individuálních kontrolách překompenzace byla zároveň prováděna kontrola toho, zda výrobce má nárok na provozní podporu a v jaké výši. Problematické je však rozdělení pravomocí. Kontrolu plnění věcných podmínek cenových rozhodnutí, mezi které spadá také kontrola výše uplatňovaného nároku na podporu, provádí Energetický regulační úřad. Kontroly překompenzace však má provádět Státní energetická inspekce. V minulosti se již opakovaně ukázalo, že názory Státní energetické inspekce a Energetického regulačního úřadu na určení okamžiku uvedení výrobní jednotky do provozu, který je rozhodný pro stanovení výše nároku na podporu, jsou značně rozdílné. Výše nastíněný problém by se tak tímto opatřením nevyřešil, neboť provedená kontrola ze strany Státní energetické inspekce by nevykloučila, že v budoucnu proběhne u stejné výrobní jednotky kontrola ze strany Energetického regulačního úřadu s jinými závěry.

Jeví se tedy vhodnější variantou umožnit výrobcovi v takových případech obnovit řízení o uložení opatření proti překompenzaci obdobným postupem, jaký umožňuje správní řád, a to po celou dobu trvání jeho nároku na podporu. Alternativně lze tuto situaci řešit tzv. opravou zjištěných nesprávností a došetřením věci v režimu § 21 kontrolního řádu. Řešení dle kontrolního řádu však neposkytuje dostatečnou právní ochranu výrobcům, neboť na opravu zjištěných nesprávností neexistuje právní nárok a s ohledem na dosavadní postoje Státní energetické inspekce k výrobcům elektřiny z obnovitelných zdrojů energie nelze očekávat vstřícný postoj k řešení takto vzniklé situace.

ZÁVĚR

Ačkoliv je oproti plánu legislativních prací schvalování novely zákona o podporovaných zdrojích energie obsahující postup při kontrolách překompenzace v prodlení, lze usuzovat, že v roce 2019 by přesto tyto kontroly mohly započít, přičemž se dotknou převážné části výroben elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Do doby, než novela vstoupí v účinnost je však třeba pečlivě ošetřit všechny možné scénáře, které v průběhu kontrol překompenzace mohou nastat, a především zvolit takový rámec kontrol, který zachová možnost výrobcům se bránit proti případným nesprávnostem či protiprávnostem při kontrolách. Dosud se přitom v této souvislosti nehovořilo o tom, v jakém režimu se na kontroly uplatní správní řád, jaký postup nastane při nečinnosti vlády, zda se v případě individuálních kontrol bude moci postupovat podle kontrolního řádu a jak předejít nespravedlivým důsledkům opatření proti

překompenzaci, které nastanou třeba i několik let po ukončení kontroly. Výrobci lze doporučit situaci pečlivě sledovat a na kontroly se již průběžně připravovat.

LITERATURA

- [1] Vláda ČR. Plán legislativních prací vlády rok 2018 a výhled na léta 2019 – 2021 [online]. 14. 2. 2018. [citováno 30. 5. 2018].
Dostupné: <https://www.vlada.cz/cz/media-centrum/dulezite-dokumenty/plan-legislativnich-praci-vlady-rok-2018-a-vyhled-na-leta-2019-2021-163361/>
- [2] Ministerstvo průmyslu a obchodu. Závazky na zavedení mechanismu kontroly přiměřenosti podpory elektřiny z podporovaných zdrojů energie [.docx]. [citováno 30. 5. 2018].
Dostupné: <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/ministerstvo/aplikace-zakona-c-106-1999-sb/informace-zverejnovane-podle-paragrafu-5-odstavec-3-zakona/zavazky-na-zavedeni-mechanismu-kontroly-primerenosti-podpory-elektriny-z-podporovanych-zdroju-energie-232337/>
- [3] Frank Bold advokáti, s.r.o. Aktuální informace o chystané podobě kontrol překompenzace [online]. tzb-info.cz. 26. 1. 2018. [citováno 30. 5. 2018].
Dostupné: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/16858-aktualni-informace-o-chystane-podobe-kontrol-prekompenzace>
- [4] Úřad pro ochranu hospodářské soutěže. Metodická příručka k aplikaci pojmu „jeden podnik“ dle pravidel de minimis. [.pdf]. 12. 6. 2017. [citováno 30. 5. 2018].
Dostupné: http://www.uohs.cz/download/Sekce_VP/VP_update/Prirucka-k-pojmu-jeden-podnik_rev-12.6.2017.pdf
- [5] Ministerstvo průmyslu a obchodu. Sektorové šetření přiměřenosti podpory [online]. 30. 1. 2018. [citováno 30. 5. 2018].
Dostupné: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/sektorove-setreni-primerenosti-podpory--234842/>
- [6] Vedral, Josef a kol. Metodická pomůcka pro přípravu návrhu právních předpisů (III. část)[pdf]. [citováno 30. 5. 2018].
Dostupné: https://www.vlada.cz/assets/ppov/lrv/dokumenty/Metodicka_pomuckaIII.pdf

VLIV ODBĚROVÉHO PROFILU ELEKTRICKÉ ENERGIE NA BILANCI FV SYSTÉMU

Jiří Novotný¹, Tomáš Matuška²

¹Fakulta strojní, ČVUT v Praze

²Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze
jiri.novotny@fs.cvut.cz

ANOTACE

Příspěvek seznamuje čtenáře s analýzou hodnocení pokrytí potřeby elektrické energie FV systémem při použití různého typu odběrového profilu elektrické energie a různého časového kroku výpočtu. Zatímco z použitých odběrových profilů je evidentní nevhodnost volby nereálného trvalého konstantního odběru, u časového kroku lze doporučit hodnocení v hodinovém kroku a kratším.

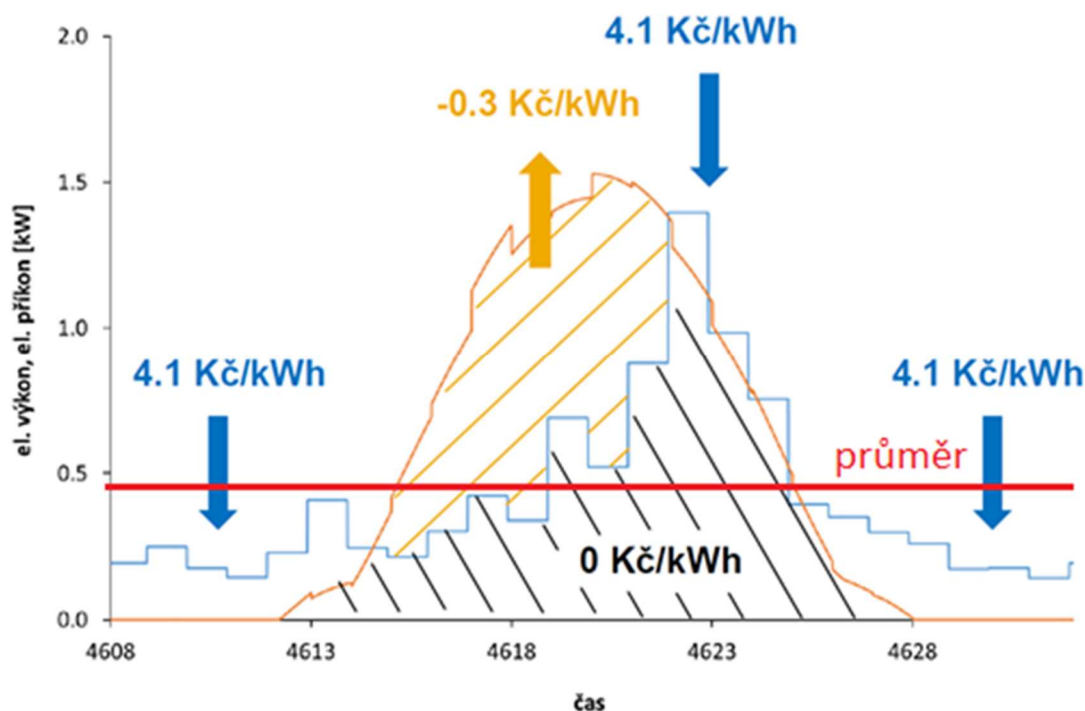
ÚVOD

Zvyšující se požadavek na implementaci obnovitelných zdrojů energie do budov s sebou nese také potřebu dostatečně přesného způsobu hodnocení využitelnosti získané energie. Produkci elektrické energie z fotovoltaických panelů lze s použitím kvalitních klimatických dat a funkčních počítačových modelů relativně spolehlivě vypočítat. Při rekonstrukci objektu za cílem implementace OZE v podobě fotovoltaických panelů je často k dispozici stávající spotřeba elektrické energie objektu, na kterou se systém navrhuje. Využitelnost FV systému je pak dána porovnáním spotřeby a produkce. V případě novostaveb či větších rekonstrukcí není spotřeba elektrické energie k dispozici a vychází se tedy z teoretických výpočtů spotřeby elektrické energie. V obou případech záleží na relevanci získaných výsledků vzhledem k použitému časovému kroku jak produkce FV systému, tak spotřeby elektrické energie. Dynamické simulační programy nabízí volbu časového kroku, a tak produkce FV systému může být vypočtena v tomto ohledu téměř libovolně s respektováním klimatických dat, které jsou k dispozici. Při hodnocení FV systému v domácnosti vstupuje do reálné bilance tzv. uživatelská elektrická energie, kterou vzhledem k rozdílnému uživatelskému chování nelze jednoznačně paušalizovat, zvláště profil jejího odběru. Uživatelská elektrická energie může v domácnosti tvořit značnou část celkové spotřeby elektrické energie, a tak detailní hodnocení FV systému by pak mělo vycházet z pravděpodobného odběrového profilu elektrické energie. Pro umělé vytvoření pravděpodobného profilu odběru uživatelské elektrické energie v domácnostech byla vypracována aplikace v prostředí Microsoft Excel. Původními autory výpočtového jádra jsou britští autoři I. Richardson a M. Thomson [1]. Původní nástroj byl s dovolením autorů modifikován a použit pro následující analýzu.

VÝPOČETNÍ POSTUPY

Výsledek hodnocení FV systémů z pohledu pokrytí spotřeby a využitelnosti produkce je závislý na volbě časového kroku výpočtu. V běžném hodnocení energetické náročnosti budov (ENB) se pro hodnocení FV systému používá měsíční krok výpočtu. Vliv odběrového profilu uživatelské energie není součástí úředního hodnocení při hodnocení ENB. V současné době nejpožívanější softwarové nástroje pro ENB již nabízejí detailnější hodinový výpočet, avšak pro výpočet ENB není použití detailnějšího kroku podmínkou. Při použití měsíčního výpočtového kroku při hodnocení ENB pro určité technické systémy, jako například chlazení či právě FV systémy, dochází ke značným odchylkám od reality, a to právě díky hrubému výpočtovému kroku. Na Obr. 1 je znázorněn příklad hodinové bilance spotřeby a produkce

elektrické energie. Je patrné, že uvažování různého odběrového profilu vede k různým výsledkům pokrytí spotřeby elektrické energie FV systémem a tedy i k různým výsledným nákladům, neboť pro energii přímo uspořenou FV systémem platí diametrálně odlišná cena než pro energii přebytečnou a dodávanou do sítě. Při bilancování FV systémů v měsíčním či dokonce ročním časovém kroku se může zdát, že FV systém pokryje celou potřebu EE, což ve skutečnosti není pravda. Jak velký vliv má výpočetní krok na hodnocení FV systému je znázorněno v následujícím textu.



Obr. 1 Hodinová bilance FV systému [2]

ODBĚROVÝ PROFIL

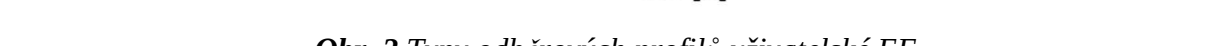
Hodnocení využitelnosti FV systému vychází ze spotřeby elektrické energie (EE) v domácnosti a produkce instalovaného FV systému. Celková spotřeba EE v domácnosti může být ve značné části reprezentována tzv. spotřebou uživatelské EE, která zahrnuje spotřebu elektrické energie na provoz domácích spotřebičů a osvětlení. Pro účely hodnocení FV systému mohou být s použitím softwarové aplikace generovány různé odběrové profily spotřeby uživatelské EE:

- **paušál (trvalý profil)** - profil reprezentuje spotřebu uživatelské EE trvalým odběrovým výkonem, vycházejícím z roční spotřeby v kWh vydělené počtem hodin (8760);
- **1 denní (denní profil)** - profil vygenerovaný výpočetním generátorem jako každodenně se opakující profil po celý rok s uvažováním průměrného slunečního ozáření pro výpočet osvětlení,
- **7 denní (týdenní profil)** - profil uvažuje rozdílné chování uživatelů během všedních dnů a víkendů, přičemž je vygenerovaný jeden týden (5+2), který se následně opakuje po celý rok. Spotřeba energie na osvětlení vychází také z průměrného slunečního ozáření,
- **365 dní (roční profil)** - profil reprezentuje detailní výpočet odběrového profilu uživatelské EE pro celý rok s uvažováním hodinových klimatických dat slunečního ozáření a respektováním všedních a víkendových dní (každý den má jiný profil odběru).

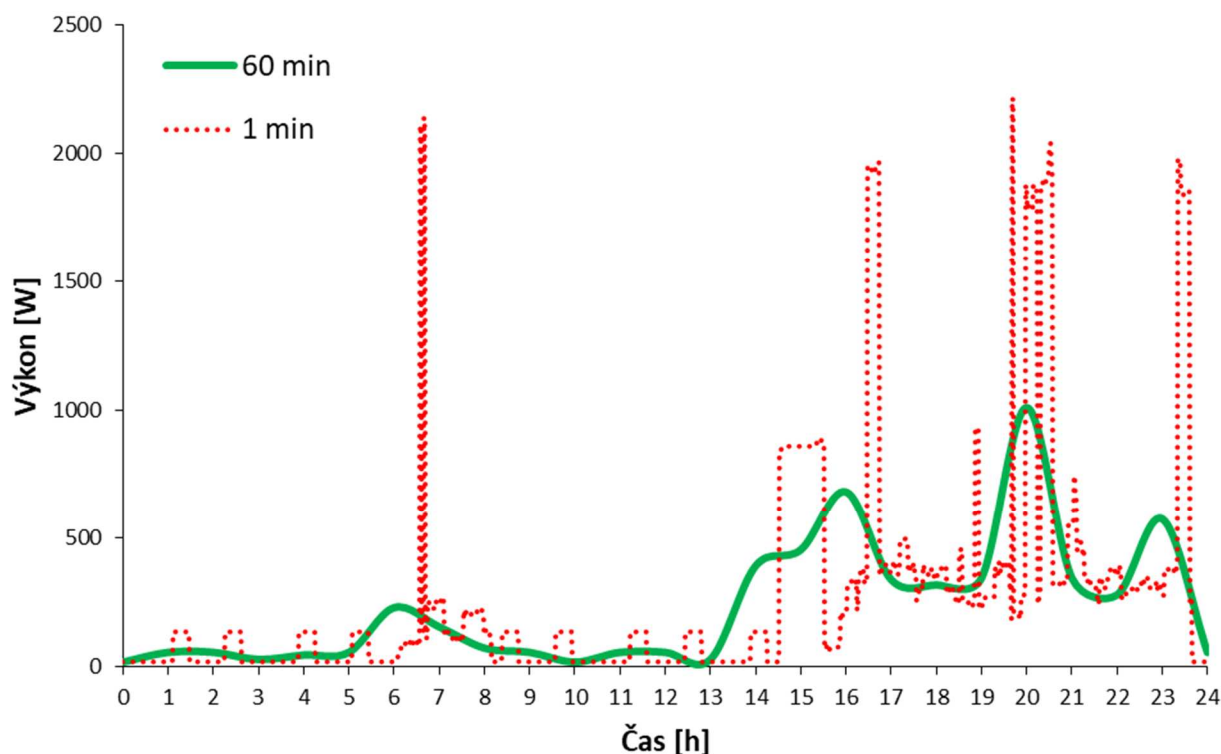


Na Obr. 2 jsou znázorněny typy použitých odběrových profilů užívatelské EE pro 1 týden

3000 7



Na Obr. 4 je znázorněn odběrový profil pro letní den (typ detailního profilu pro 365 dní) při použití rozdílných časových kroků – 1 minuta a 1 hodina, kde můžeme vidět značný rozdíl při používání rozdílných časových kroků. Čím delší časový krok, tím více se snižuje špička odebíraného výkonu.



Obr. 4 Vliv časového kroku na odběrový profil uživatelské EE v domácnosti

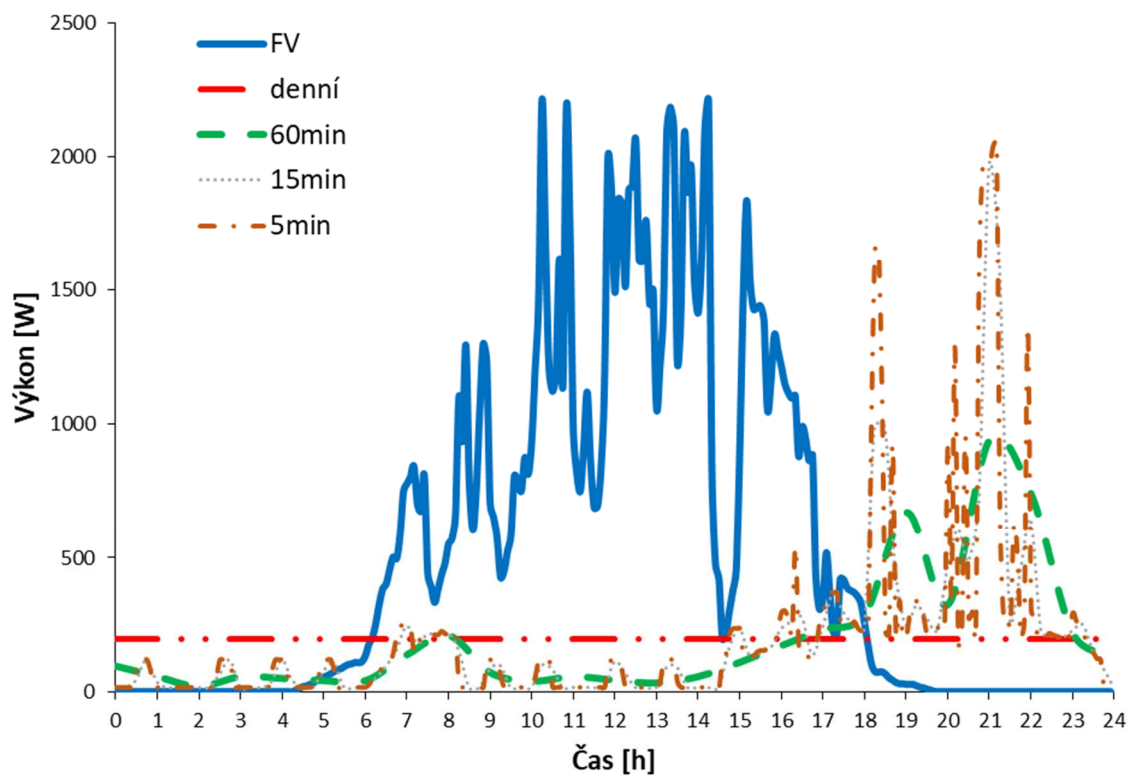
ANALÝZA BILANCE FV SYSTÉMU PRO DOMÁCNOST

Bilance EE při hodnocení FV systému je dána produkcí FV systému a spotřebou elektrické energie domácnosti. Produkce FV systému je dána jeho dimenzováním (instalovaný výkon, plocha modulů, účinnost, vliv teploty, technologie modulů). Celková spotřeba je pak dána spotřebou elektrické energie na provoz technických systémů (vytápění, chlazení, vzduchotechnika, příprava TV, vlhčení a osvětlení), ostatních zařízení či domácích spotřebičů. Pro účely analýzy byla uvažována pouze spotřeba uživatelské energie (spotřebiče, osvětlení) s celkovou roční spotřebou 2500 kWh. Byly uvažovány 3 osoby v domácnosti a různé typy odběrových profilů (paušál, 1 denní, 7 denní a 365 denní), s různými časovými kroky (5, 15, 60 minut, den a měsíc).

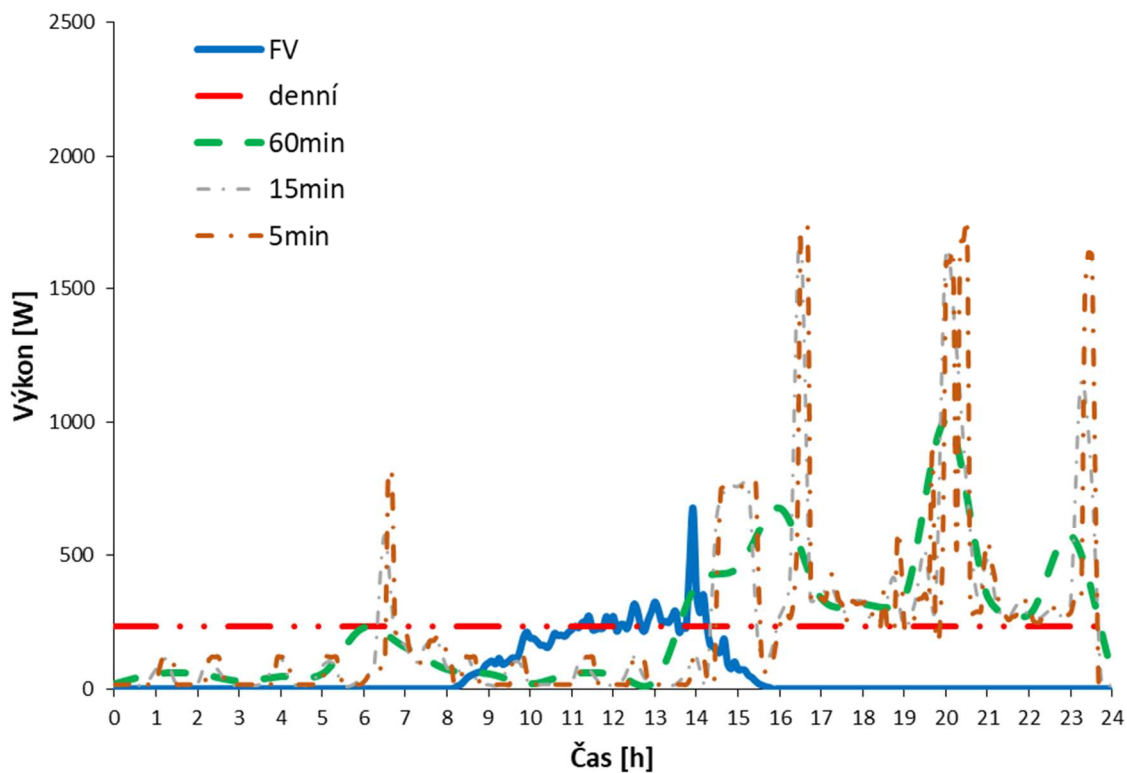
Produkce FV systému byla stanovena v simulačním prostředí TRNSYS s respektováním časových kroků 5, 15, 60 minut, den a měsíc. Klimatické údaje pro výpočet byly získány z meteorologické stanice z Univerzitního centra energeticky efektivních budov (UCEEB) v Buštěhradě pro rok 2016 s minutovým časovým krokem. Uvažovaná plocha FV panelů je 20 m², jmenovitá účinnost 16 %, teplotní koeficient 0,0045 1/K. Sklon FV panelů je uvažována 45° s orientací na jih. Není uvažována akumulace EE.

Bilance krytí spotřeby elektrické energie produkcí FV systému byla provedena vždy v odpovídajících časových krocích. Na Obr. 5 a Obr. 6 je znázorněna grafická bilance FV systému vzhledem k detailnímu 365 dennímu profilu za použití různých časových kroků. Produkce FV systému je znázorněna pouze s časovým krokem 5 min. Porovnáním grafů lze zaznamenat různé odběrové profily vzhledem k časovému období, kdy na Obr. 5 je znázorněn

profil vygenerovaný pro letní den 1. července 2016 a na Obr. 6 profil pro zimní den 1. ledna 2016.



Obr. 5 Balance FV systému, detailní 365 denní profil, léto

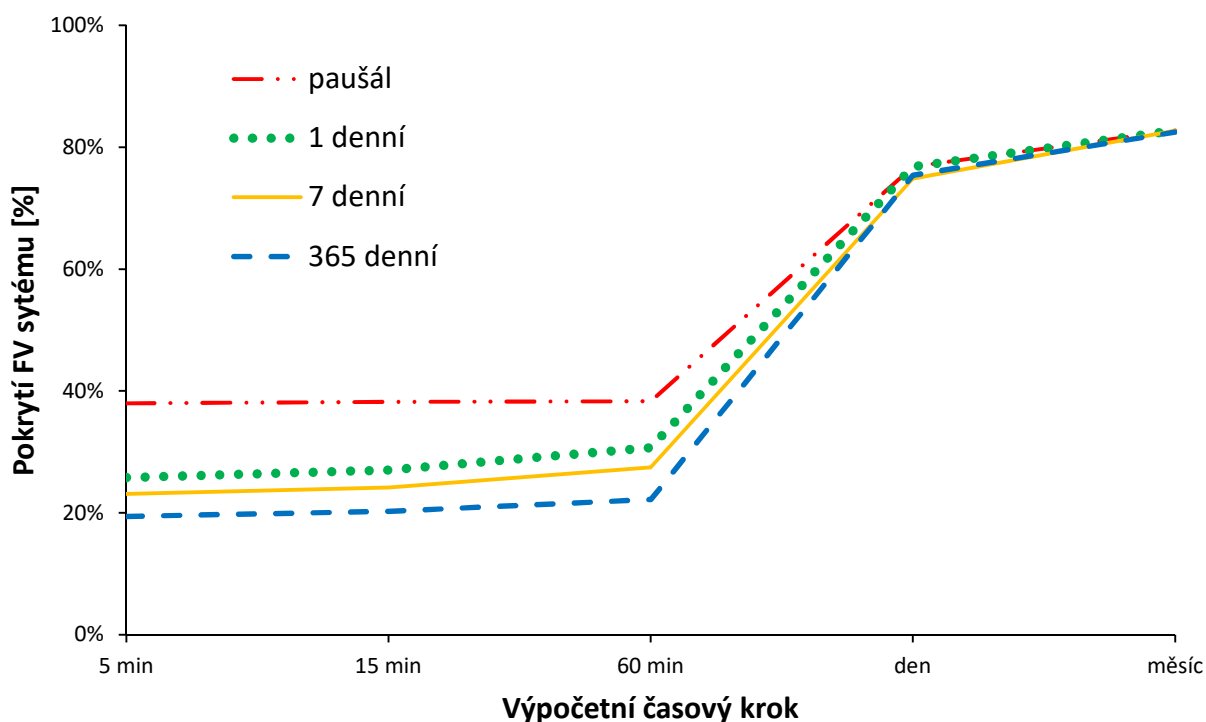


Obr. 6 Balance FV systému, detailní 365 denní profil, zima

Během slunečného dne při produkci FV systému není skoro žádný odběr uživatelské EE z důvodu nepřítomnosti osob v domácnosti a zároveň bez nutnosti osvětlení. Na zobrazených profilech si lze povšimnout mírného nárůstu v ranních hodinách, poté útlum spotřeby reprezentující spotřebiče nezávislé na přítomnosti osob (lednice, mrazák, apod.) a následný značný nárůst ve večerních hodinách ve smyslu běžných domácích spotřebičů. Pokrytí spotřeby elektrické energie produkcí FV systému je tak relativně nízké. Nicméně v případě uvažování odběru s rovnoměrným odběrem díky časovému kroku 1 den dochází k výpočtovému pokrytí výrazně vyššímu. V Tab. 1 a na Obr. 7 je uvedeno energetické vyhodnocení celkového pokrytí potřebu EE FV systémem.

Tab. 1 Pokrytí uživatelské elektrické energie FV systémem

Pokrytí FV systému		Výpočetní časový krok				
		5 min	15 min	60 min	den	měsíc
Odběrový profil	paušál	38%	38%	38%	77%	83%
	1 denní	26%	27%	31%	77%	83%
	7 denní	23%	24%	27%	75%	83%
	365 denní	19%	20%	22%	75%	83%



Obr. 7 Pokrytí uživatelské elektrické energie FV systémem

Z provedené analýzy vyplývá významný vliv zvoleného časového kroku i zvoleného typu odběru na výpočet pokrytí spotřeby uživatelské elektrické energie FV systémem. Zatímco výsledky pro různě detailní řešení odběrového profilu se od sebe liší v řádu absolutních procent, použitím paušálního profilu s trvalým odběrem se dochází již k významné odchylce a reálně nedosažitelným hodnotám pokrytí. Časový krok ovlivňuje výpočet pokrytí bez ohledu na typ profilu. Čím je časový krok kratší, tím menší je pokrytí a tím více se blíží reálným hodnotám. Pokud je časový krok dostatečně krátký na úrovni hodina a méně, lze předpokládat relativně spolehlivé výsledky, odchylky výsledků mezi časovými kroky jsou na úrovni absolutních

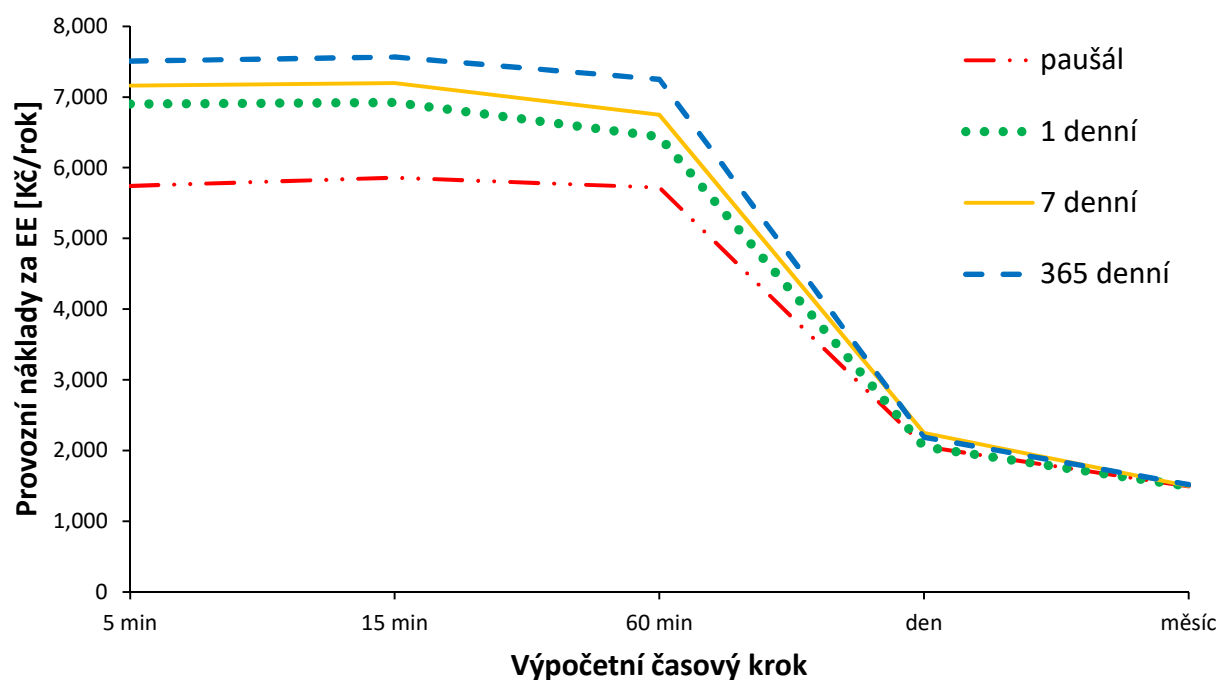
procent. V případě časového kroku den a měsíc, zahrnující do bilance současnosti produkce a spotřeby i noční dobu, pak dochází k výsledkům výpočtu odporujícím realitě.

EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

V případě rodinného domu, který má zcela pokrytou střechu FV panely, může za použití delšího časového kroku nastat odchylka v reálném hodnocení, kde při zdánlivě dostačující produkci FV systému (získané ročním či měsíčním průměrováním), se ve skutečnosti veškeré nedostatky elektrické energie kupují od distributora za plnou částku (cca 4,1 Kč/kWh) a naopak přebytky produkce FV systému se prodávají zpět do sítě za několikanásobně nižší částku (cca 0,3 Kč/kWh), a to i když byla výpočetně dokázána zcela dostačující produkce FV systému. V Tab. 2 a na Obr. 8 je znázorněno ekonomické vyhodnocení bilance na příkladu domácnosti vzhledem k použití různých typů odběrových profilů a časových kroků výpočtu. Byly vyhodnoceny provozní náklady domácnosti vzhledem ke spotřebě uživatelské EE a FV systému.

Tab.2 Provozní náklady za EE při použití FV systému

Provozní náklady (Kč/rok)		Výpočetní časový krok				
		5 min	15 min	60 min	den	měsíc
Odběrový profil	paušál	5 746	5 861	5 720	2 056	1 495
	1 denní	6 903	6 925	6 443	2 055	1 494
	7 denní	7 161	7 197	6 750	2 248	1 496
	365 denní	7 510	7 567	7 251	2 192	1 519



Obr. 8 Provozní náklady za EE při použití FV systému

Ekonomické hodnocení potvrzuje stejnou závislost získaných výsledků na zvoleném časovém kroku jako při výpočtu pokrytí spotřeby FV systémem. Ekonomické hodnocení z pohledu odběratele je důležitým kritériem, a tak volba časového kroku může být v tomto ohledu rozhodující.

ZÁVĚR

Hodnocení FV systému vychází z bilance spotřeby a produkce EE při respektování odběrového profilu a časového kroku. Volba vhodného reálného odběrového profilu je správnou cestou k získání reálných výsledků. Volba nereálného odběrového profilu s trvalým konstantním odběrem vede k zavádějícím výsledkům. Se snižujícím se výpočetním krokem klesá výpočtové pokrytí FVE a lze předpokládat, že zároveň roste relevance výsledků v ekologickém i ekonomickém hodnocení. Hodinový krok pro hodnocení pokrytí FVE pro případ domácnosti rodinného domu se může jevit stále příliš jako velký, když si uvědomíme způsob užívání některých domácích spotřebičů jako například elektrická trouba, vysoušeč vlasů či vysavač, kdy během několika minut dojde k výraznému nárůstu výkonu. Nicméně dalším zmenšováním časového kroku se roční výsledky mění již jen na úrovni absolutních procent. Limitující okolností však může být přístup k detailním klimatickým údajům pro hodnocení produkce FV systému, kde dostupná data jsou s hodinovým krokem (referenční klimatický rok z ČHMÚ) nebo měsíčním krokem (veřejně dostupné weby). Údaje s kratším časovým krokem jsou k dispozici jen pro některá místa naměřená například výzkumnými či meteorologickými institucemi.

LITERATURA

- [1] RICHARDSON I., THOMSON M., INFELD D., CLIFFORD C. *Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model*. Energy and Buildings [online]. 2010, 42(10), 1878-1887 [cit. 2018-05-14]. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.05.023. ISSN 03787788. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778810001854>
- [2] MATUŠKA T. Výukové prezentace předmětu Alternativní zdroje energie. ČVUT.
- [3] *Strategies for Efficiency Houses Plus*. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety (BMUB) [online]. Berlín, 2016 [cit. 2018-03-28].
Dostupné z: http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/effizienzhaus_plus_broschuere_en_bf.pdf

Tento příspěvek vznikl za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. LO1605 - Univerzitní centrum energeticky efektivních budov – Fáze udržitelnosti a projektu SGS16/212/OHK2/3T/12 - Modelování, řízení a navrhování zařízení techniky prostředí.

POTENCIÁLNÍ APLIKACE PRO NEZASKLENÉ FOTOVOLTAICKO-TEPELNÉ KOLEKTORY

Nikola Pokorný^{1,2}, Tomáš Matuška^{1,2}

¹Univerzitní centrum energeticky efektivních budov ČVUT

²Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT v Praze

nikola.pokorny@fs.cvut.cz

ANOTACE

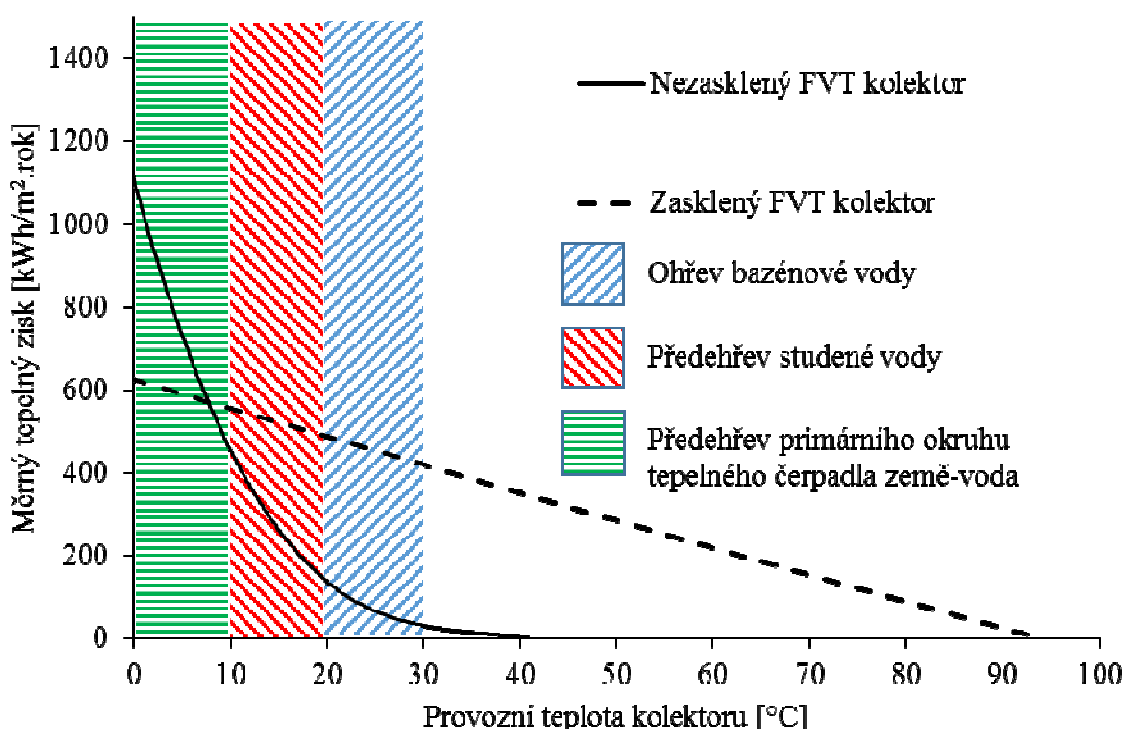
Príspevek popisuje potenciální aplikace pro nezasklené fotovoltaičko-tepelné (FVT) kolektory. Jsou porovnány roční energetické zisky nezasklených hybridních kolektorů pro odlišné provozní teploty. Bylo provedeno několik ročních simulací pro rozdílné klimatické a provozní podmínky v simulačním prostředí TRNSYS. Závěrem je představena reálná instalace solární soustavy s nezasklenými FVT kolektory v kombinaci s tepelným čerpadlem země-voda.

ÚVOD

Jedním z možných způsobů jak navýšit využití dopadlé sluneční energie je kombinovaná výroba tepelné a elektrické energie. Vývoj v oblasti FVT kolektorů započal již v 80. letech minulého století. Většina komerčně vyráběných FV panelů je schopna přeměnit dopadlou sluneční energii na elektrickou s účinností od 10 do 20 %, zbylá část sluneční energie se přemění na teplo, které buď odchází do okolí ve formě tepelné ztráty, nebo ohřívá FV články a tím snižuje jejich účinnost. Hybridní FVT kolektor kombinuje technologii fotovoltaičkových (FV) panelů a solárních termických kolektorů. Existuje mnoho konfigurací hybridních kolektorů. Jedno z možných rozdělení je na kapalinové a vzduchové popřípadě zasklené a nezasklené. Vzduchové kolektory jsou v současné době spíše stranou zájmu vzhledem k omezenému využití tepla v budovách v letním období. Pro oblast Evropy se jeví jako výhodné zejména kapalinové FVT kolektory. V současné době probíhá na UCEEB ČVUT výzkum a vývoj zasklené varianty kapalinového FVT kolektoru. Hlavním cílem je zvýšení produkce tepelné energie v takové míře, aby mohl FVT kolektor konkurovat konvenčním termickým kolektorům na trhu. Zasklený kapalinový FVT kolektor bude mít díky sekundární produkci elektrické energie konkurenční výhodu. Celkový energetický přínos zaskleného FVT kolektoru by tak měl být vyšší než u odděleného řešení FV panelů a solárních tepelných kolektorů. Velký potenciál pro zasklené kapalinové FVT kolektory se nachází zejména u staveb s omezenou plochou střechy pro aplikace na přípravu teplé vody [1]. Nezasklená varianta FVT kolektoru je vhodná zejména pro aplikace, u kterých je prioritou produkce elektrické energie a využití nízkopotenciálního tepla je jako přidaná hodnota. Výzkum v oblasti nezasklených FVT kolektorů se odehrává zejména v západní Evropě, kde již vznikla i řada monitorovaných instalací. Například zapojení hybridních kolektorů na primární okruh tepelného čerpadla blízko Frankfurtu [2] či instalace pro využití nízkoteplotního tepla z hybridních kolektorů pro předehřev studené vody, která byla monitorována na univerzitě v Rapperswil ve Švýcarsku [3]. Další monitorovaná instalace FVT kolektorů byla například v aplikaci pro radiační chlazení vůči obloze během nočních hodin a předehřev studené vody během dne na budově postavené v rámci soutěže Solar Decathlon [4]. Jednou z výhod nezasklené varianty hybridního kolektoru je potenciální nárůst produkce elektrické energie díky chlazení FV modulů, nárůst produkce elektrické energie se projeví pouze za určitých klimatických a provozních podmínek, což je z části předmětem následujícího textu. V závěrečné části je popsán příklad reálné instalace nezasklených hybridních kolektorů v ČR.

NEZASKLENÉ FVT KOLEKTORY

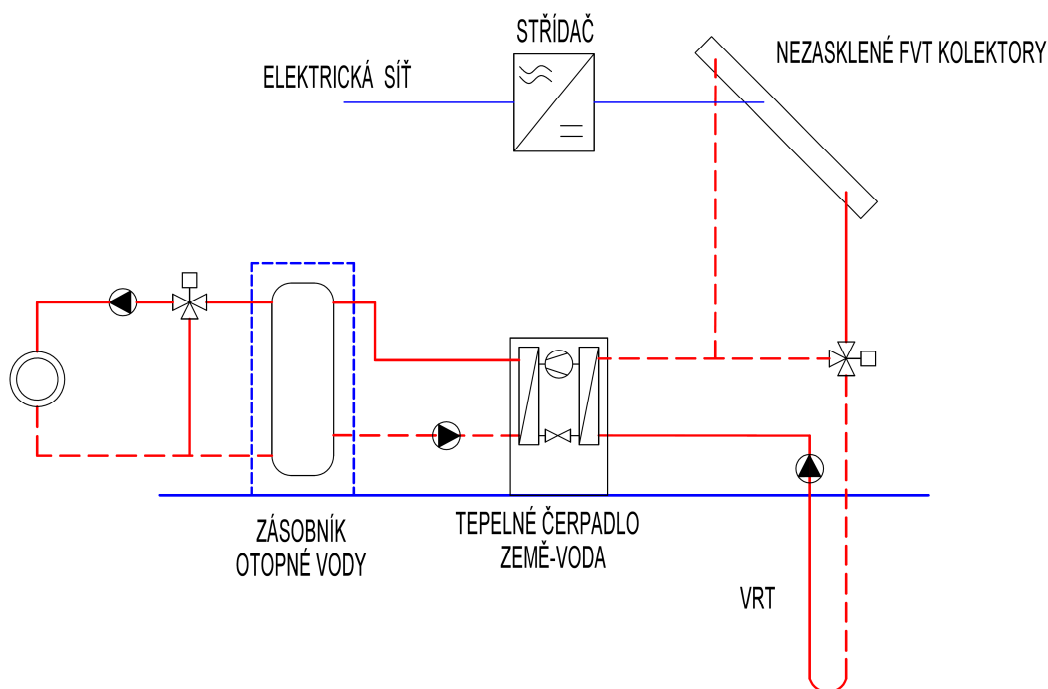
Obecně platí, že nezasklené FVT kolektory jsou vhodné zejména pro nízkoteplotní aplikace, zasklené FVT kolektory jsou pak vhodné pro vyšší provozní teploty (příprava teplé vody). Nezasklené kolektory mají vyšší tepelné ztráty, proto pracují s teplotami v kolektoru pod 30 °C. Proto je produkce elektrické energie pro nezasklené hybridní kolektory hlavní prioritou. Na Obr. 1 je vyneseno porovnání měrného tepelného zisku zasklené a nezasklené varianty hybridního kolektoru. V grafu jsou vyznačeny možné aplikace, kde lze využít teplo z nezasklených FVT kolektorů. Jednou z možností je v zapojení na primární okruh tepelného čerpadla, pracovní teploty se pak pohybují od 0 do 10 °C, což je z hlediska tepelného zisku pro nezasklený kolektor výhodné. V takto nízkých provozních teplotách vykazuje nezasklený FVT dokonce výrazně vyšší tepelný zisk oproti zasklené variantě. Další možnou aplikací je předehřev studené vody (10 až 20 °C celoročně) či ohřev bazénové vody (25 až 30 °C).



Obr. 1 Porovnání zaskleného a nezaskleného FVT kolektoru pro klimatické podmínky v ČR

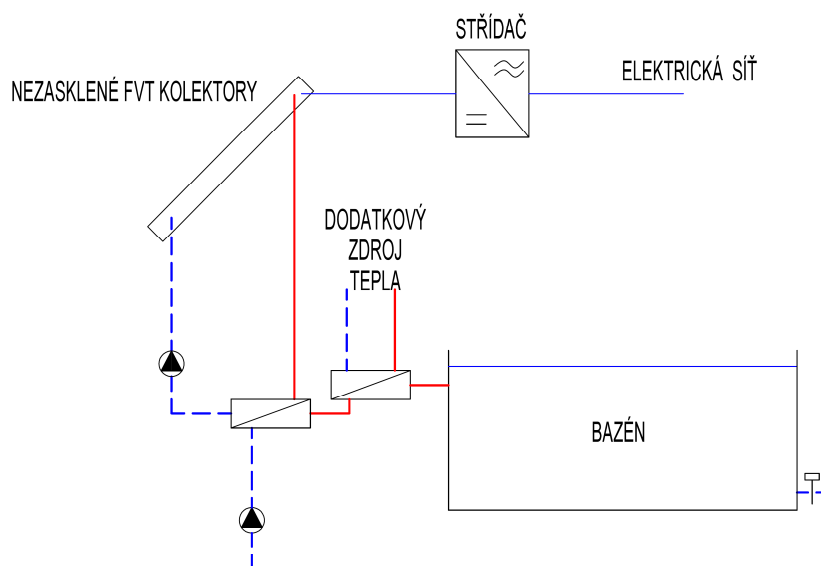
Aplikace nezasklených hybridních kolektorů častá zejména v západní Evropě je zapojení na primární okruh tepelného čerpadla země-voda (viz Obr. 2). Energetický systém pak pracuje v následujících třech režimech: nabíjení vrtu FVT kolektory (regenerace vrtu), vybíjení vrtu tepelným čerpadlem a poslední režim kdy pracuje FVT kolektor v sérii za tepelným čerpadlem. Sériové zapojení je uvažováno tak, že z výstupu na výparníku je nemrznoucí kapalina ohřátá v kolektorech a pak je teprve předáno teplo do vrtu, viz Obr. 2. Výhoda takové instalace spočívá v možné menší potřebě délky vrtů nebo může přispět ke zvýšení topného faktoru tepelného čerpadla. Kolektory v takové aplikaci pracují při nízkých teplotách, narůstá tedy i účinnost produkce elektrické energie z FV článků. Dále lze uvažovat i zapojení, kdy je hybridní kolektor zařazený do série za vrt. V tomto případě vzniká však riziko příliš vysoké teploty na vstupu do výparníku, je tedy nutné před výměník předradit směšovací ventil. Limitní teplota na vstupu do výparníku je u většiny výrobců tepelných čerpadel 25 °C. Další možností, jak využít teplo z kolektorů pro tepelné čerpadlo, je instalovat před tepelné čerpadlo velkoobjemový akumulční zásobník. Nevýhodou takové aplikace však je, že

kolektor pracuje nejen s nízkou tepelnou účinností (vyšší provozní teploty), ale i nižší elektrickou účinností (ochlazování FV části je do určité míry eliminováno).



Obr. 2 Schéma zapojení FVT kolektorů s tepelným čerpadlem země-voda

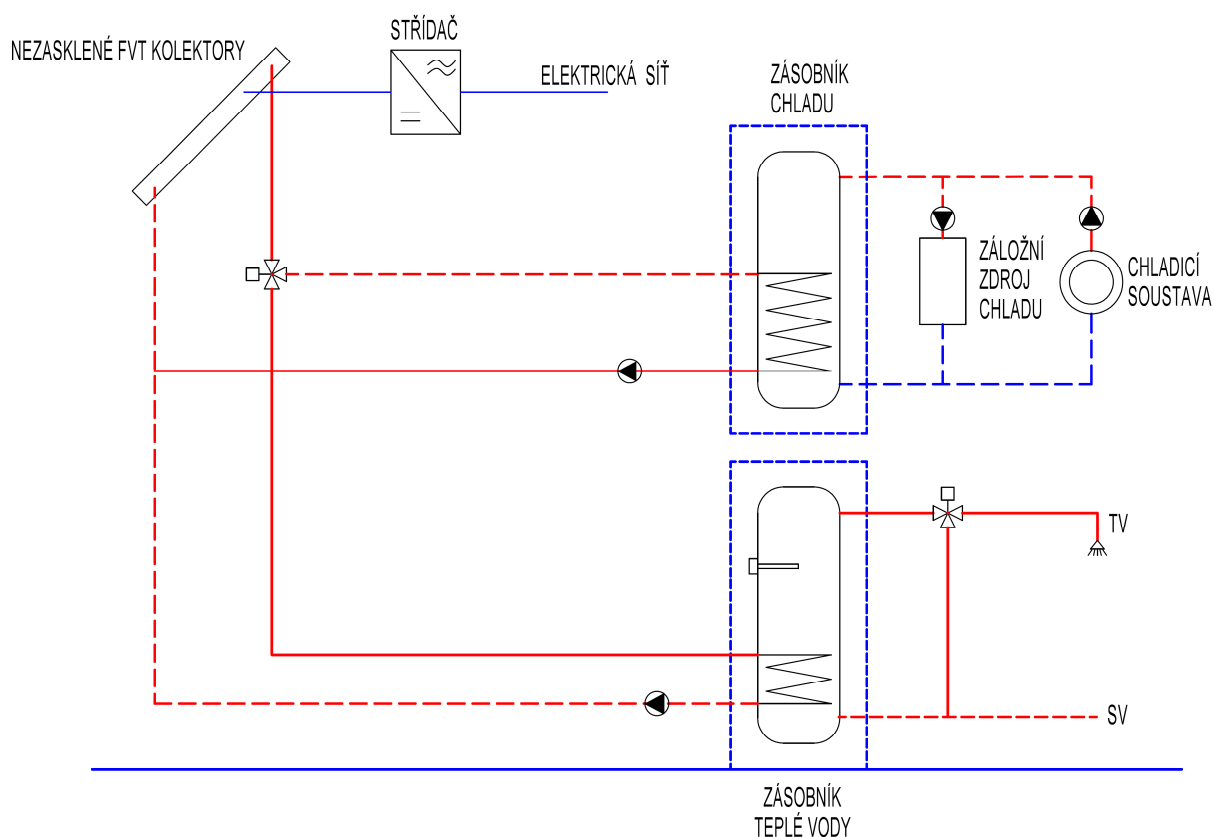
Využití nízkopotenciálního tepla pro ohřev bazénové vody je znázorněno Obr. 3. Výhodnost takového zapojení je však pouze v letním období, kdy kolektor pracuje s vyšší tepelnou účinností. Pokud by se jednalo o celoroční provoz, hybridní kolektory by v takové aplikaci pracovaly při relativně nízké roční tepelné účinnosti pro oblast ČR, viz Obr. 1.



Obr. 3 Schéma zapojení FVT kolektorů pro ohřev bazénové vody

Další aplikace pro nezasklené FVT kolektory je předehřev studené vody z 10 °C na 20 °C, kdy je zaručeno, že kolektor pracuje při vyšší tepelné i elektrické účinnosti. Předehřev studené

vody lze kombinovat s ne příliš známou aplikací, kdy jsou nezasklené FVT kolektory využity pro noční radiální chlazení, viz Obr. 4. Hybridní kolektor během noci odevzdává teplo sáláním vůči chladnější obloze, může tedy například vychlazovat zásobník chladu. Teplota oblohy může být během letní noci i pod teplotou 0 °C.



Obr. 4 Schéma zapojení FVT kolektorů pro ohřev studené vody (během dne) a pro radiální chlazení (v noci)

ANALÝZA ROČNÍHO PŘÍNOSU NEZASKLENÝCH FVT KOLEKTORŮ

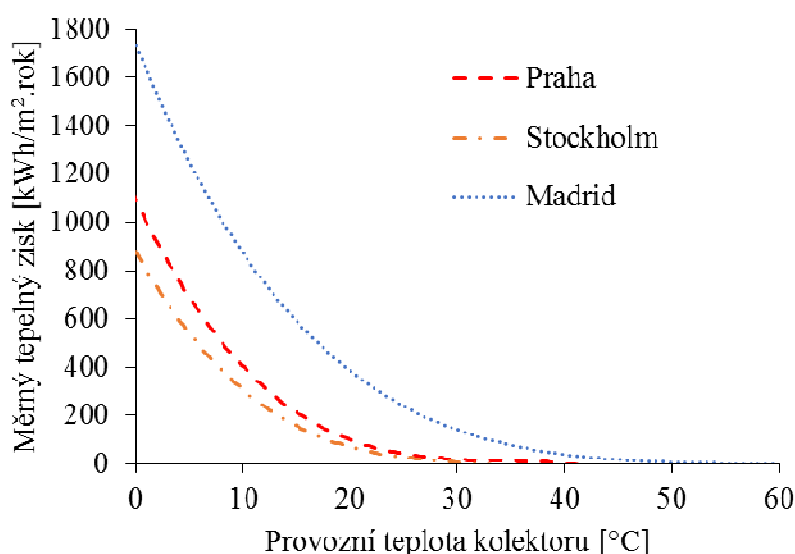
Bylo provedeno několik ročních simulací v simulačním prostředí TRNSYS [5] pro odlišné provozní a klimatické podmínky za účelem zhodnocení energetického potenciálu nezasklených FVT kolektorů. Roční simulace byly provedeny pro typický meteorologický rok (TMY) pro Prahu ($H_T = 998 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$), Madrid ($H_T = 1662 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$) a Stockholm ($H_T = 980 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$). Pro výpočet tepelného a elektrického zisku byl využit matematický model nezaskleného FVT kolektoru vytvořeného ve vývojovém centru pro solární energii v Hamelnu [6]. Aby bylo možné porovnat tepelný zisk v jednotlivých aplikacích, bez nutnosti přesné specifikace konkrétního energetického systému, byla uvažována konstantní teplota na vstupu do FVT kolektoru (0 °C až 60 °C). Pro výpočet byl zvolen na trhu běžně dostupný nezasklený hybridní kolektor o následujících parametrech FV části: $U_{OC} = 37,6 \text{ V}$, $I_{SC} = 8,64 \text{ A}$, $U_{MPP} = 30,7 \text{ V}$, $I_{MPP} = 8,15 \text{ A}$, $P_{MPP} = 250 \text{ W}$, $\eta_{STC} = 15,2 \%$, $\beta = -0,48 \text{ \%/K}$. Parametry tepelné části jsou výsledkem kvazi-dynamické zkoušky tepelného výkonu (ČSN EN ISO 9806): $\eta_0 = 0,58$, $c_1 = 6,31 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $c_5 = 13,3 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$, $c_6 = 0,06 \text{ s/m}$. Sklon kolektoru byl uvažován 35° vzhledem k prioritě produkce elektrické energie. Orientace kolektoru byla uvažována na jih. Byl uvažován sledovač maximálního bodu výkonu. Ztráty na střídači uvažovány nebyly. Průtok kolektorem byl 40 kg/h.m².

Na Obr. 5 je vyneseno porovnání tepelného zisku nezaskleného FVT kolektoru pro tři různé lokace v závislosti na konstantní provozní teplotě v kolektoru během roku. V Tab. 1 jsou pak hodnoty pro tři různé provozní teploty.

Tab. 1 Porovnání roční produkce tepelné energie pro tři lokace

Provozní teplota	Q_t , Praha	Q_t , Stockholm	Q_t , Madrid
	[kWh/m ² .rok]	[kWh/m ² .rok]	[kWh/m ² .rok]
10 °C	402	307	875
20 °C	101	69	381
30 °C	16	6	144

Z průběhu je patrné, že pro provozní teploty nad 20 °C je měrný tepelný zisk pro mírné a chladné klima nižší než 100 kWh/m².rok. Tepelný zisk pro oblast jižní Evropy (Madrid) je výrazně vyšší.

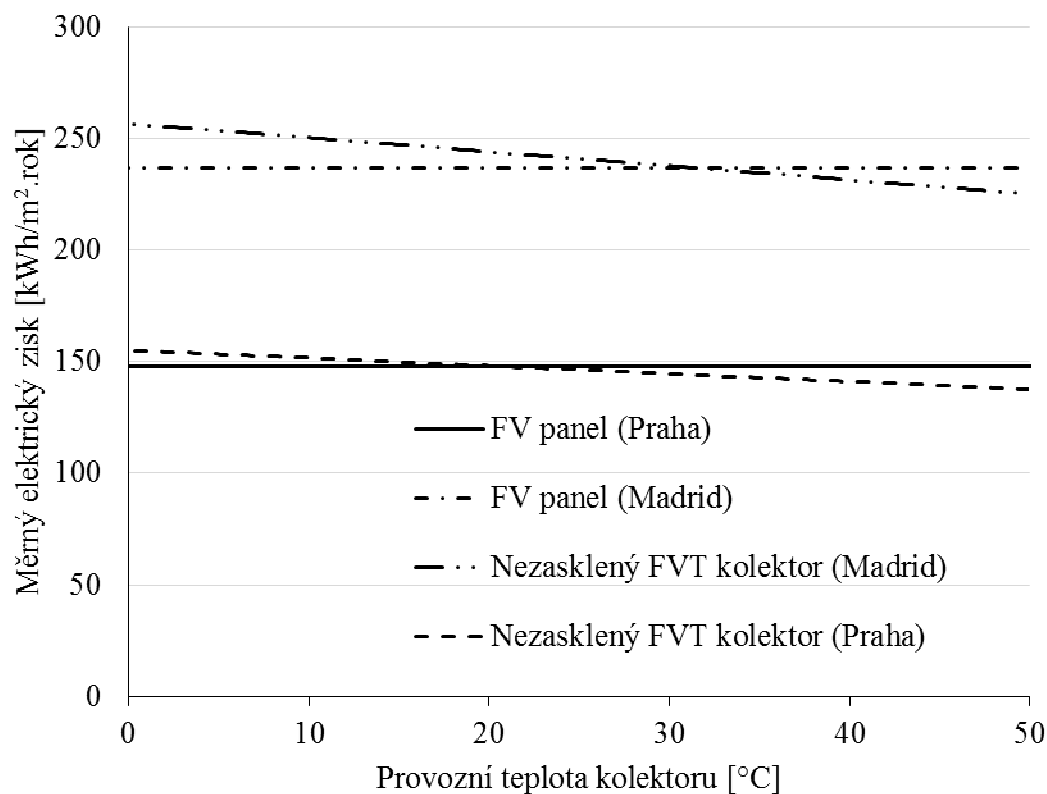


Obr. 5 Měrný tepelný zisk nezasklených FVT kolektorů pro tři různé klimatické podmínky

Aby bylo možné zhodnotit nárůst produkce elektrické energie vlivem ochlazování FV panelu, byl stanoven roční elektrický zisk z FV panelu o stejných elektrických vlastnostech jako FVT kolektoru. Na Obr. 6 je pak vynesena elektrický zisk FVT kolektoru a FV panelu v závislosti na provozní teplotě. Je zde vidět, že výhodnost ochlazování FV části je pro Prahu pouze pro aplikace s provozní teplotou do 20 °C, pro vyšší teploty je produkce elektrické energie nižší než u konvenčního FV panelu. S tím, že pro provozní teplotu 10 °C je nárůst roční produkce elektrické energie pro Prahu pouze 2,7 %, pro Madrid pak 5,5 %, viz Tab. 2. Pro jižní Evropu je nárůst produkce elektrické energie vyšší ve srovnání s FV panely i pro aplikace s provozními teplotami do 30 °C.

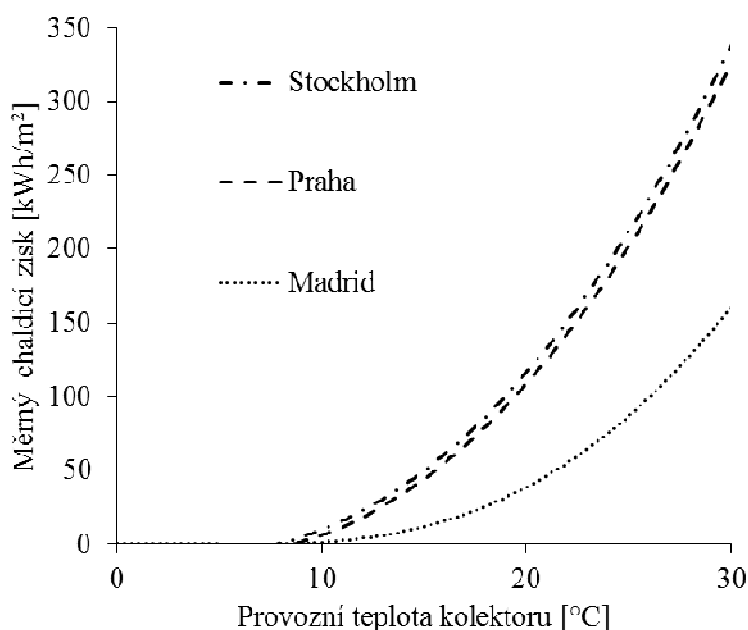
Tab. 2 Porovnání roční produkce elektrické energie mezi FVT a FV technologií

Provozní teplota	$Q_{e,FVT}$, Praha	$Q_{e,FVT}$, Madrid	$Q_{e,FV}$, Praha	$Q_{e,FV}$, Madrid
	[kWh/m ² .rok]	[kWh/m ² .rok]	[kWh/m ² .rok]	[kWh/m ² .rok]
10 °C	152	250		
20 °C	148	244	148	237
30 °C	145	238		



Obr. 6 Porovnání elektrického zisku FV panelu a FVT kolektoru pro Prahu a Madrid

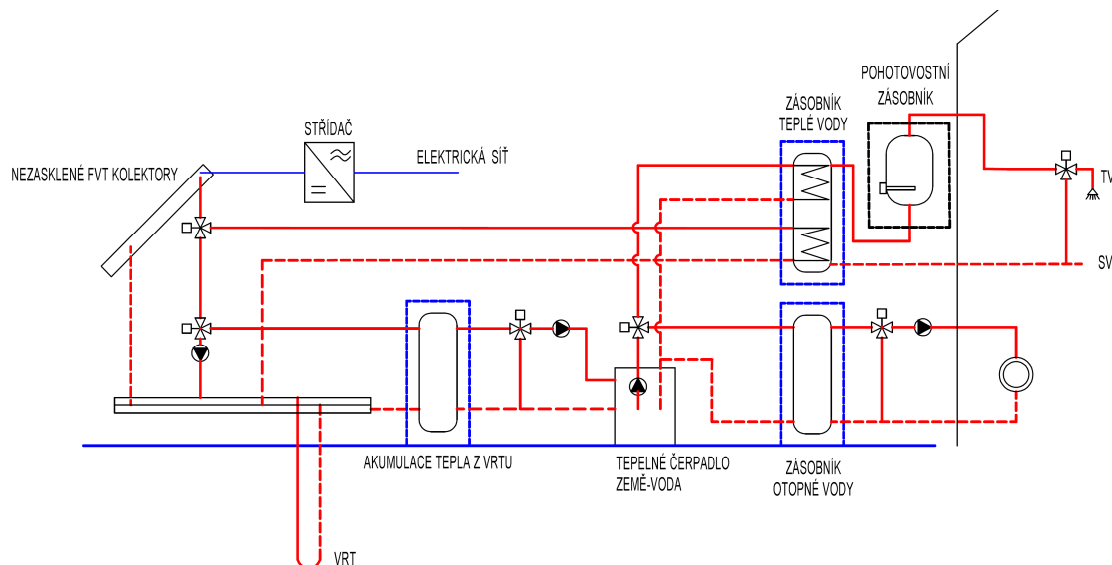
V rámci analýzy potenciálních aplikací pro nezasklené FVT kolektory byl sledován i chladicí výkon během nočních hodin v období od 1.6 do 1.9. Na Obr. 7 je vyneseno porovnání měrného chladicího zisku pro tři různé klimatické podmínky. Například průměrný chladicí výkon pro provozní teplotu 20 °C byl pro Prahu 49 W/m², pro Stockholm 53 W/m² a pro Madrid 18 W/m².



Obr. 7 Měrný chladicí zisk nezasklených FVT kolektorů pro tři různé klimatické podmínky pro období od 1.6 do 1.9

REÁLNÁ INSTALACE NEZASKLENÝCH FVT KOLEKTORŮ

Aplikace nezasklených hybridních kolektorů se již objevují i v České republice. Jednou z nich je například systém v Přerově, u kterého jsou použity hybridní FVT kolektory v kombinaci s tepelným čerpadlem země-voda (viz Obr. 8). Celková plocha hybridních kolektorů činí 188 m². Elektrická energie z hybridních kolektorů je z části spotřebována v místě, přebytek je prodáván do sítě. Teplo odebrané z vrtu se akumuluje v zásobníku (300 l), odkud je pak předáno na výparník tepelného čerpadla. Zásobník teplé vody (500 l) je ohříván jak tepelným čerpadlem, tak hybridními kolektory. Zásobník otopné vody (300 l) je nahříván tepelným čerpadlem. Regulace solárního systému je nastavena tak, aby hybridní kolektory primárně splnily požadavek na teplou vodu pak teprve na teplotu v akumulačním zásobníku před tepelným čerpadlem. Vrtu se začnou regenerovat hybridními kolektory poté, co jsou splněny oba požadavky. V současné době instalace prochází úpravami, objem jednotlivých akumulací je v plánu ještě navýšit. Například za rok 2016 hybridní kolektory vyrobily 31 091 kWh elektrické energie, což odpovídá měrnému elektrickému zisku 165 kWh/m².rok. Solární krytí spotřeby elektrické energie bylo přibližně 50 %. Měrný tepelný zisk byl za rok 2016 pouze 65 kWh/m².rok. Jak již bylo zmíněno, na instalaci probíhají úpravy, takže lze očekávat nárůst využití tepelné energie. Je otázkou, do jaké míry je vhodné využití nezasklených kolektorů přímo pro přípravu teplé vody. V klimatických podmínkách ČR není takové řešení příliš vhodné zejména kvůli nízké tepelné účinnosti při vyšších provozních teplotách. Navíc při vyšších teplotách v kolektoru klesá i elektrická účinnost FV části, což je u nezasklených FVT kolektorů nežádoucí.



Obr. 8 Schéma zapojení tepelné části a fotografie z instalace nezasklených FVT kolektorů

ZÁVĚR

Byly představeny potenciální aplikace pro nezasklené FVT kolektory. Na základě ročních simulací byl stanoven teoretický energetický přínos pro odlišné provozní teploty a odlišné klimatické podmínky. Jako nejvhodnější aplikace pro nezasklené FVT kolektory v ČR se jeví zapojení na primární okruh tepelného čerpadla. Pro provozní teplotu 10 °C vykazuje hodnocený FVT kolektor měrný tepelný zisk okolo 400 kWh/m².rok a elektrický zisk okolo 150 kWh/m².rok. Díky tepelnému zisku hybridních kolektorů bude v takové aplikaci požadavek na kratší délku vrtů pro tepelné čerpadlo, což může snížit investiční náklady. Ale nárůst produkce elektrické energie hybridních kolektorů oproti FV panelu je pouze 2,7 %. Pro oblast ČR je výhodnost takové aplikace vzhledem k vysoké ceně nezasklených FVT kolektorů a nízké ceně konvenčních FV panelů značně diskutabilní. Situace v jižní části Evropy je odlišná, nárůst produkce elektrické energie je vyšší, stejně tak i využitelné tepelné zisky.

LITERATURA

- [1] POKORNÝ, N., et al. *Monitoring of Solar Domestic Hot Water System with Glazed Liquid PVT Collectors*. In: Proceedings of the ISES EuroSun 2016 Conference. 11th ISES EuroSun Conference 2016. Palma de Mallorca, 11.10.2016 - 14.10.2016. Freiburg: International Solar Energy Society. 2017, s. 1273-1282. ISBN 978-3-9814659-6-9.
- [2] BERTRAM, E., GLEMBIN, J., ROCKENDORF, G., *Unglazed PVT collectors as additional heat source in heat pump systems with borehole heat exchanger*, Energy procedia, vol. 30, pp. 414-423, 2012.
- [3] ROMMEL, M., ZENHAUSERN, D., BAGENSTOS, A., *Aplication of unglazed PVT collectors for domestic hot water pre/heating in a development and testing system*, Energy Procedia, vol. 48, pp. 638-644, 2014. [2]
- [4] EICKER, U., DALIBARD, A., *Photovoltaic-thermal collectors for night radiative cooling of buildings*, Solar energy, vol. 85, pp. 1322-1335, 2011.
- [5] TRNSYS Manual, 2006. TRNSYS 16 a TRaNsient SYstem Simulation program. In: *Mathematical Reference*, vol. 5. Solar Energy Laboratory, University of Winconsin-Madison.
- [6] STEGMAN, M., BERTRAM, E., ROCKENDORF, G., *Model of an unglazed photovoltaic thermal collector based on standard test procedures*, in Proceedings of ISES Solar World Congress, Kassel, Germany, 2011.

TEORETICKÁ ANALÝZA VYUŽITÍ DUÁLNÍCH SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ

Viacheslav Shemelin^{1,2}, Tomáš Matuška^{1,2}, Bořivoj Šourek¹

¹Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze

² Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT v Praze

Viacheslav.Shemelin@cvut.cz

ANOTACE

Cílem teoretické analýzy je porovnat za srovnatelných podmínek odběru tepla a klimatických podmínek solární systémy na bázi kapalinových a duálních kolektorů. Stručně je popsán matematický model duálního kolektoru. S využitím simulačního softwaru TRNSYS byly určeny energetické přínosy definovaných variant. Z analýzy vyplývá, že oproti konvenčnímu systému na bázi kapalinových solárních kolektorů mají systémy s využitím duálních kolektorů vyšší roční tepelné zisky. Vyšší hodnoty produkce tepla v porovnání s referenční variantou způsobené hlavně rozdílem v provozní době uvažovaných systémů: během zimního a přechodného období, kdy slunečního ozáření není dostatečné pro přípravu teplé vody (výstupní teploty ze solárních kolektorů nedosahují hodnot vyšších než 30 °C) běžný solární systém nepracuje, zatímco v případě duálního kolektoru je možné ohřívat vzduch.

ÚVOD

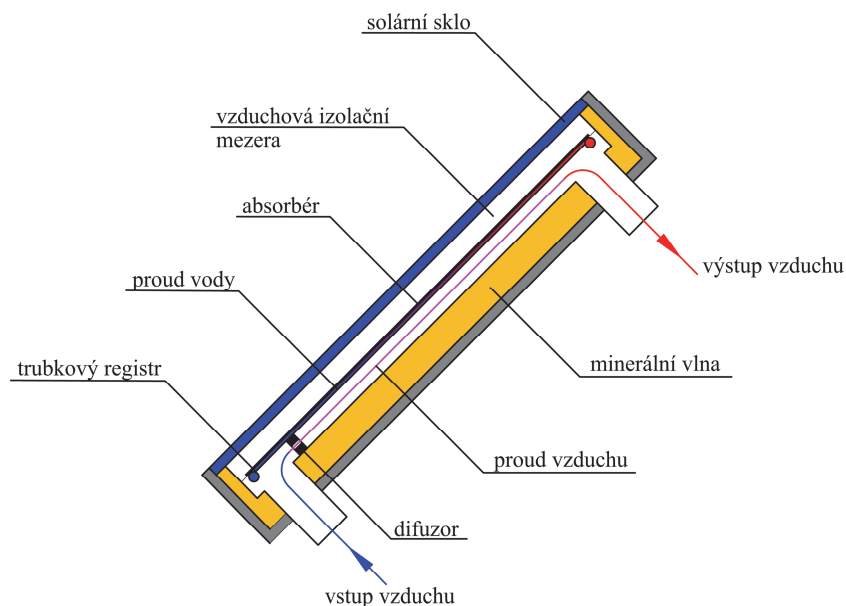
Jednou z možností využití sluneční energie je její přímá přeměna na energii tepelnou. V našich podmínkách je stále nejrozšířenější formou využití přímé přeměny sluneční energie fototermální přeměna pomocí plochých kapalinových solárních kolektorů. Nicméně stále častěji se lze setkat se snahami o využití ohřevu vzduchu v teplovzdušných kolektorech slunečního záření, ať již pro účely vytápění nebo pro ohřev větracího vzduchu. Myšlenka kombinovat oba druhy technologie pro konstrukci duálního kolektoru pro ohřev dvojice teplotních látek voda/vzduch vyplynula z potřeby vysokého využití energetických zisků ze slunečního záření v průběhu celého roku a maximalizaci doby provozu solární soustavy. Duální kolektor s použitím dvou teplotních látek vychází v principu ze situace typické pro mírné a chladné klimatické pásmo, kde sluneční záření v letním období je dostatečné pro přípravu teplé vody (50 až 60 °C), zatímco v zimním období výstupní teploty ze solárních kolektorů zpravidla nedosahují hodnot vyšších než 30 °C, nicméně mohou být dostatečné např. pro ohřev chladného větracího vzduchu.

Příspěvek se zabývá energetickou analýzou použití třech různých systémů za stejných klimatických a provozních podmínek: systému pro přípravu teplé vody na základě běžných kapalinových solárních kolektorů, systému pro přípravu teplé vody a ohřev větracího vzduchu na bázi duálních solárních kolektorů a systému přípravu teplé vody a cirkulační vytápění také na bázi duálních solárních kolektorů. Cílem srovnávací analýzy představené v příspěvku je porovnat za srovnatelných podmínek odběru tepla energetické zisky uvedených solárních systémů.

DUÁLNÍ KOLEKTORY

Na tuzemském trhu nejsou v současné době k dispozici duální solární kolektory, ačkoli v minulosti existovaly dva typy těchto kolektorů. Jedním z nich byl kolektor Mistral DUO od české společnosti Ekosolaris [1], druhým byl kolektor od dánské společnosti SolarVenti ve dvou provedeních SV30 AWX a SV14 AWX [2]. Vzhledem k absenci duálních solárních kolektorů na tuzemském trhu pro účely analýzy byl vytvořen laboratorní prototyp duálního

solárního kolektoru na základě již dříve vytvořeného laboratorního kapalinového kolektoru. Detailní parametry duálního kolektoru (viz Obr. 1) jsou uvedeny v Tab. 1. Duální kolektor byl testován v Solární laboratoři SOLAB² v UCEEB ČVUT.



Obr. 1 Konstrukce duálního solárního kolektoru

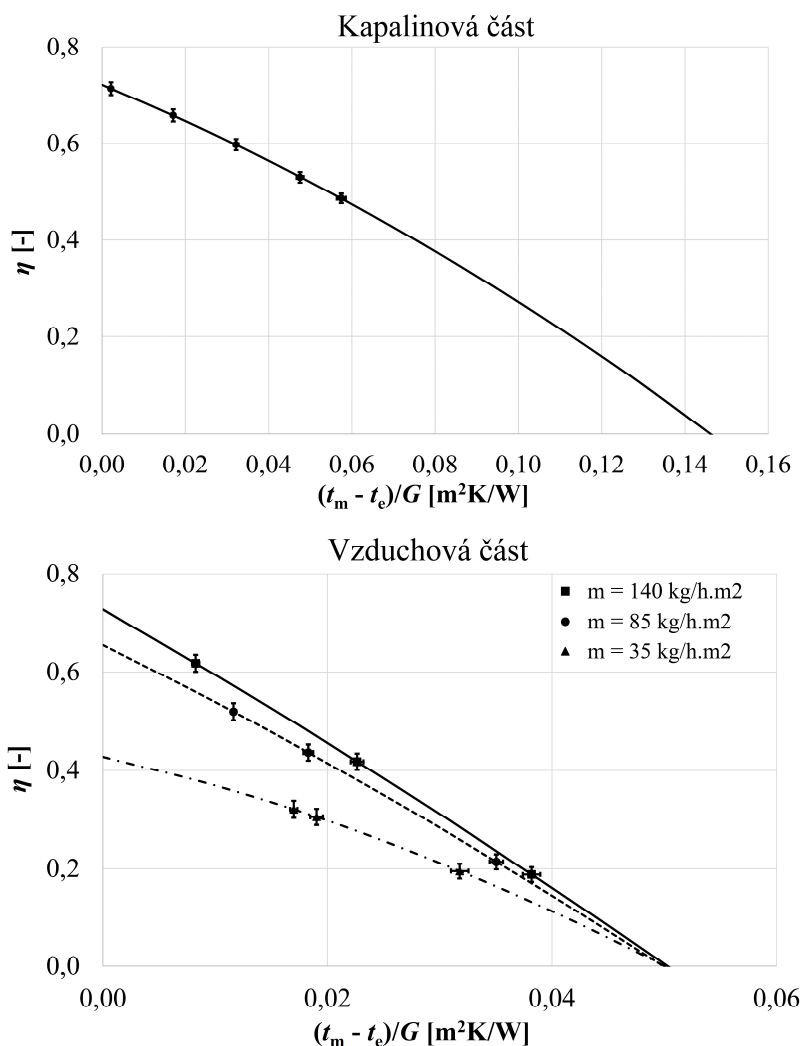
Tab. 1 Parametry duálního solárního kolektoru

Parametr	Hodnota	Parametr	Hodnota
Rozměry (šířka x výška x hloubka)	1 x 1.6 x 0.087 m	Rozteč mezi trubkami	100 mm
Plocha (apertura/absorbér)	1.52 m ² / 1.49 m ²	Povrch absorbéru (pohltivost/emisivita)	0.95 / 0.05
Kryt	solární sklo 4 mm	Tloušťka vzduchové izolační mezery	30 mm
Absorbér	hliník 0.4 mm	Tloušťka vzduchového kanálu	20 mm
Připojovací potrubí	Cu 22 x 1 mm	Způsob proudění vzduchu	absorbér s dolním obtékáním
Počet trubek	11	Izolace rámu	minerální vlna 30 mm

Kapalinová i vzduchová část kolektoru byla testována za ustálených podmínek v souladu s ČSN EN ISO 9806. Křivka účinnosti pro kapalinovou část vyrobeného prototypu v závislosti na středním redukovaném rozdílu teplot byla získána z 5 bodů v rozmezí teplot kapaliny na vstupu do kolektoru od 20 °C do 90 °C. Vzduchová část kolektoru byla vzhledem k významné závislosti účinnosti na průtoku vzduchu kolektorem [3] testována pro různé průtoky. Křivka účinnosti kolektoru byla proto stanovena pro 3 hodnoty hmotnostního průtoku vzduchu 35 kg/m².h, 85 kg/m².h a 140 kg/m².h. Každá křivka účinnosti byla získána ze 3 bodů v rozmezí teplot kapaliny na vstupu do kolektoru od 20 °C do 50 °C.

Na Obr. 2 jsou zobrazeny křivky účinnosti duálního solárního kolektoru stanovené zvlášť pro vzduchovou a pro kapalinovou část. Experimentálně stanovené body na obrázcích jsou

znázorněny společně se stanovenou nejistotou měření účinnosti a středního redukovaného teplotního rozdílu.



Obr. 2 Křivky účinnosti laboratorního duálního solárního kolektoru

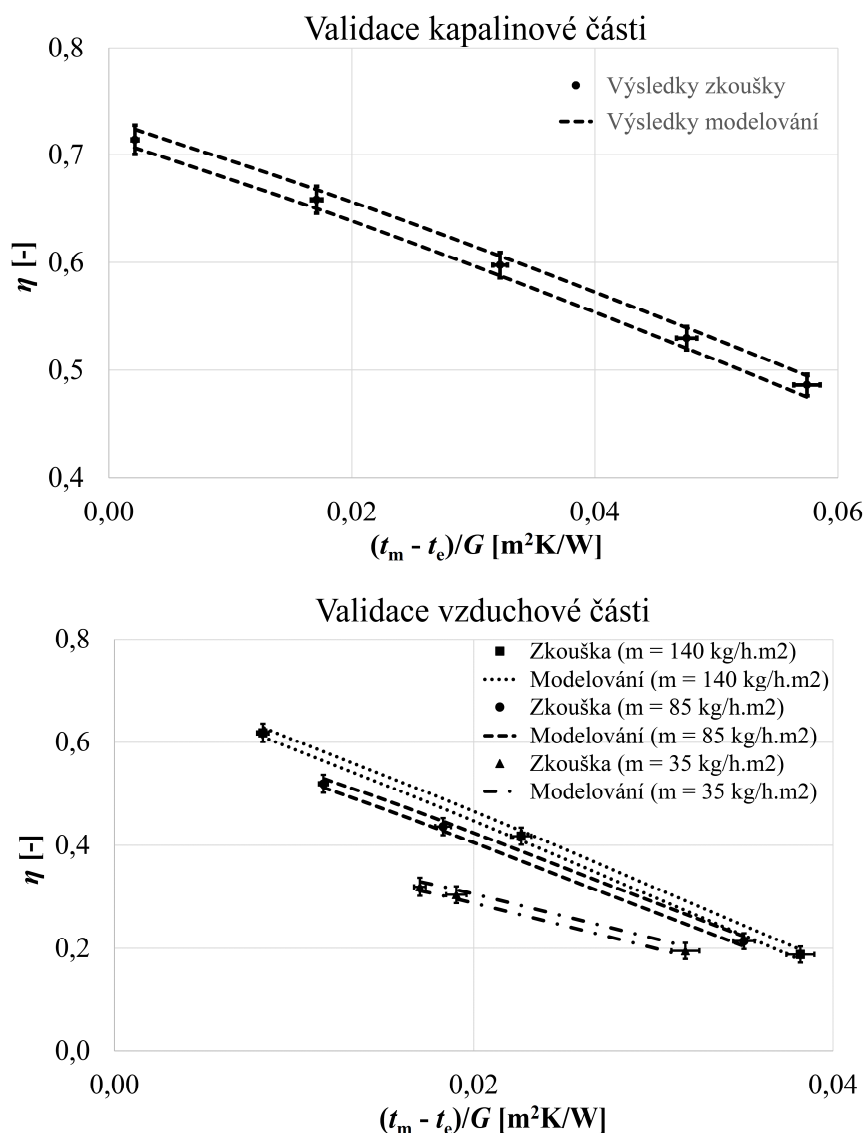
MODEL

Pro modelování duálního solárního kolektoru byl přepracován existující matematický model kapalinového kolektoru pro simulační prostředí TRNSYS (Type 205), který na základě detailních informací o konstrukci kolektoru (geometrické, optické a termofyzikální vlastnosti jednotlivých součástí) modeluje tepelné toky z povrchu absorberu do okolí (vnější energetická bilance absorberu) a z povrchu absorberu do kapaliny/vzduchu (vnitřní energetická bilance absorberu) a v souvislosti s tím i rozložení teplot v kolektoru. Pro simulaci duálního kolektoru v prostředí TRNSYS byl nově vytvořen Type 207 [4]. V současné době model nabízí výběr ze dvou konstrukcí: kapalinový kolektor s absorberem s horním spojem a s prouděním vzduchu mezi absorberem a tepelnou izolací; kapalinový kolektor s absorberem s horním spojem prouděním vzduchu mezi absorberem a zasklením. Vytvořený model byl experimentálně validován na základě konfrontace mezi výkonem stanoveným modelem a výkonem naměřeným, přičemž validace byla provedena zvlášť pro kapalinovou a vzduchovou část.

Křivky účinnosti stanovené Type 207 jsou znázorněny na Obr. 3 společně s nejistotou výpočtu. Tato nejistota je způsobena nejistotou hodnot vstupních parametrů. I když geometrické parametry kolektoru se stanovují s vysokou přesností (± 1 %), existuje celá řada

vstupních parametrů v úzkém rozsahu nejistot (např. optické vlastnosti zasklení a absorberu, $\pm 2\%$), v středním rozsahu nejistot (např. tepelné vlastnosti izolace, $\pm 10\%$) a v poměrně širokém rozsahu (např. emisivita zadní části absorberu, izolace a rámu). Nejistota vstupních parametrů a jejich vliv na vypočtenou účinnost byla vyjádřena dvěma tečkovanými čarami (toleranční pásmo pro stanovenou účinnost). Mezi nimi může být nalezena účinnost kolektorů ve skutečnosti.

Na Obr. 3 jsou porovnány výsledky modelování a experimentu pro vyrobený laboratorní prototyp duálního kolektoru. Z grafů je patrné, že detailní zadání ověřených parametrů kolektoru do Type 207 umožňuje relativně přesné stanovení křivky účinnosti, případně výkonu a teplot při zadaných okrajových (provozních) podmínkách. Výsledkem je, že jak pro vzduchovou, tak i pro kapalinovou část kolektoru ve většině případů experimentální stanovené body účinnosti se nachází uprostřed mezi horní a dolní hranicí tolerančního pásma.



Obr. 3 Validace kapalinové a vzduchové části kolektoru

ANALÝZA

V rámci analýzy využití duálních solárních kolektorů byly zkoumány následující varianty:

- Solární soustava pro přípravu teplé vody na bázi kapalinových kolektorů – referenční varianta RV;

- Solární soustava pro přípravu teplé vody a pro ohřev větracího vzduchu na bázi duálních kolektorů – varianta V1;
- Solární soustava pro přípravu teplé vody a pro cirkulační vytápění na bázi duálních kolektorů – varianta V2;

Pro všechny varianty byl uvažován stejný rodinný dům o běžné energetické náročnosti. Detailní parametry rodinného domu jsou uvedeny v Tab. 2. Odběr teplé vody byl uvažován 160 l/den. Požadovaná teplota teplé vody byla 55 °C, teplota studené vody 10 °C. Odběr teplé vody byl uvažován s profilem charakteristickým pro rodinný dům a letním poklesem o 30 % oproti ročnímu průměru. Celková potřeba tepla na přípravu teplé vody (včetně ztrát rozvodu) byla uvažována 3,367 MWh/rok. Průtok větracího vzduchu je 100 m³/h (odpovídá intenzitě větrání 0,3 vztažené k obytným místnostem podle ČSN 15 665/Z1). Požadovaná teplota vnitřního vzduchu je 20 °C. Potřeba tepla na vytápění rodinného domu v referenční variantě je 17,8 MWh/rok. Klimatické údaje použité v simulační analýze byly převzaty z typického meteorologického roku TMY (Meteonorm) pro Prahu. Klimatické údaje TMY vykazují relativně konzervativní úhrn dopadající sluneční energie na vodorovnou rovinu 998 kWh/m².rok s roční průměrnou teplotou venkovního vzduchu 8,9 °C. Solární kolektory uvažované ve všech variantách mají sklon 45° a orientaci k jih.

Tab. 2 Detailní parametry rodinného domu

Parametr	Hodnota	Parametr	Hodnota
Počet obyvatel	4	Objem vzduchu	607 m ³
Geometrie (objem/podlahová plocha)	861 m ³ / 240 m ²	Obálka budovy (podle ČSN 73 0540- 2:2011)	Požadované hodnoty součinitelů prostupu tepla
Celková energeticky vztažná plocha	286 m ²	Průměrné vnitřní tepelné zisky (osoby + spotřebiče)	2 W/m ²

Jako referenční varianta (RV) byl zvolen reálný systém solárního ohřevu vody se dvěma plochými solárními tepelnými kolektory s celkovou hrubou plochou 4,8 m², která je běžně nabízena na trhu pro rodinu se 3 až 4 členy. Výkonové parametry kapalinového solárního kolektoru (vztažené k hrubé ploše kolektoru) potřebné pro modelování jsou uvedeny v Tab. 3. Pro solární kolektory byla uvažována optická charakteristika uvedená v protokolu ke zkoušce kolektoru, zjednodušeně vyjádřená modifikátorem pro úhel dopadu slunečního záření 50°. Průtok okruhem solárních kolektorů byl uvažován 50 l/h.m² plochy kolektorů. Rozvod okruhu solárních kolektorů je z Cu potrubí 18×1 mm izolovaného tepelnou izolací tl. 19 mm. Délka kolektorového okruhu je celkem 40 m.

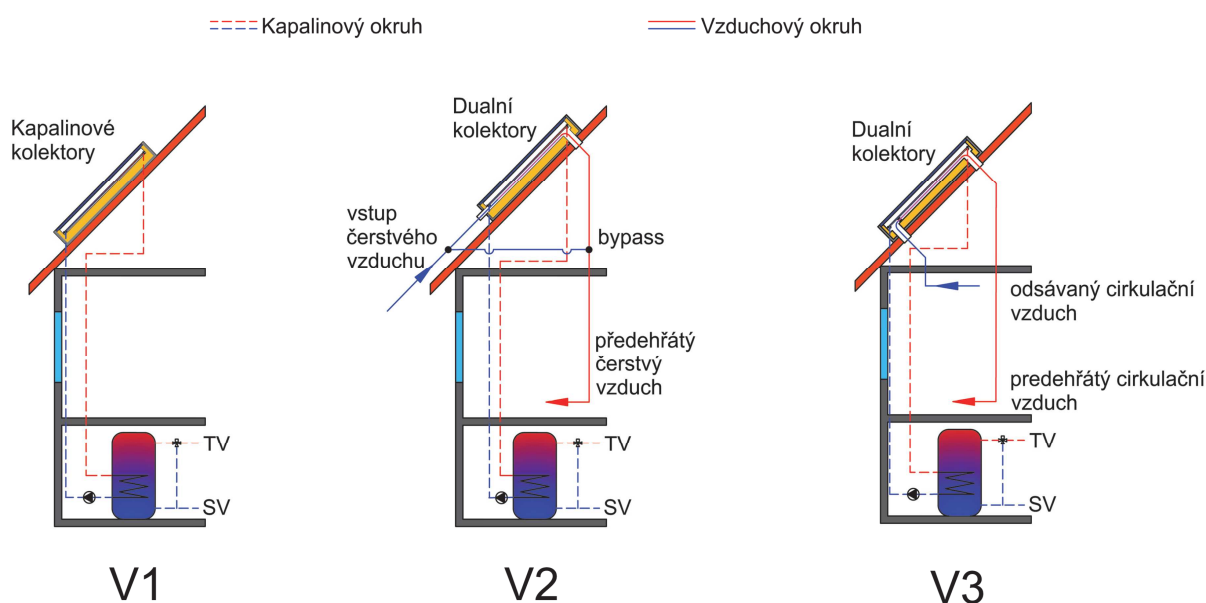
Tab. 3 Parametry kapalinových solárních kolektorů použitých v analýze

Parametr	Hodnota	Parametr	Hodnota
Optická účinnost	0,809	Kvadratický součinitel tepelné ztráty	0,0045 W/m ² K ²
Lineární součinitel tepelné ztráty	3,58 W/m ² K	Modifikátor úhlu dopadu pro 50°	0,918

Varianta V1 uvažuje namísto kapalinových solárních kolektorů použití třech duálních kolektorů se stejnou hrubou plochou, jako byla uvažována pro kapalinové. Duální solární kolektory pro ohřev dvojice teplotnosných látek kapalina/vzduch fungují takovým způsobem, že od poloviny září až do poloviny května fungují jako vzduchové solární kolektory pro ohřev větracího vzduchu. Venkovní vzduch se tak v kolektoru přehřívá a cíleně se vede do budovy. Teplota vystupujícího větracího vzduchu z kolektoru může v provozu období dosahovat i teplot vyšších, než je teplota vzduchu v interiéru, a proto kromě snížení potřeby tepla na větrání může tato varianta hradit i část tepelných ztrát prostupem. Na druhé straně v době bez slunečního svitu tato varianta nepřináší žádnou úsporu. Zbytek roku (od poloviny května až do poloviny září) duální kolektory fungují jako kapalinový kolektor pro přípravu teplé vody.

Varianta V2 funguje podobným způsobem jako varianta V1 s tím rozdílem, že duální kolektor od poloviny září až do poloviny května funguje pro cirkulační vytápění. V takovém případě cirkulační vzduch odsávaný z místností se v kolektoru ohřívá a vede zpět do budovy. Ve dnech s podmráčenou oblohou a v noci vzduch kolektorem neproudí. Výhodou této varianty je možnost zvýšení účinnosti kolektorů pomocí zvýšení průtoku cirkulačního vzduchu. Detailní parametry solárního kolektoru potřebné pro zvolený model (Type 207) jsou uvedeny v Tab. 1. Křivky účinnosti duálního solárního kolektoru stanovené pro kapalinovou a vzduchovou část jsou uvedeny na Obr. 2.

Požadovaná teplota interiéru je 20 °C, ale v případě použití solárních vzduchových kolektorů za účelem akumulace se umožňuje navýšit teplotu interiéru na 22 °C. Průtok čerstvého vzduchu ve variantách RV a V1 je 100 m³/h. Průtok cirkulačního vzduchu ve variantě V2 za účelem zvýšení účinnosti solárních kolektorů zvýšen na 400 m³/h. Kolektory mají sklon 45°, orientaci k jihu a jsou zapojeny v sérii. Tepelné ztráty VZT rozvodů byly zanedbány. Přehled jednotlivých simulovaných variant je uveden na Obr. 5.



Obr. 5 Principiální schémata uvažovaných variant

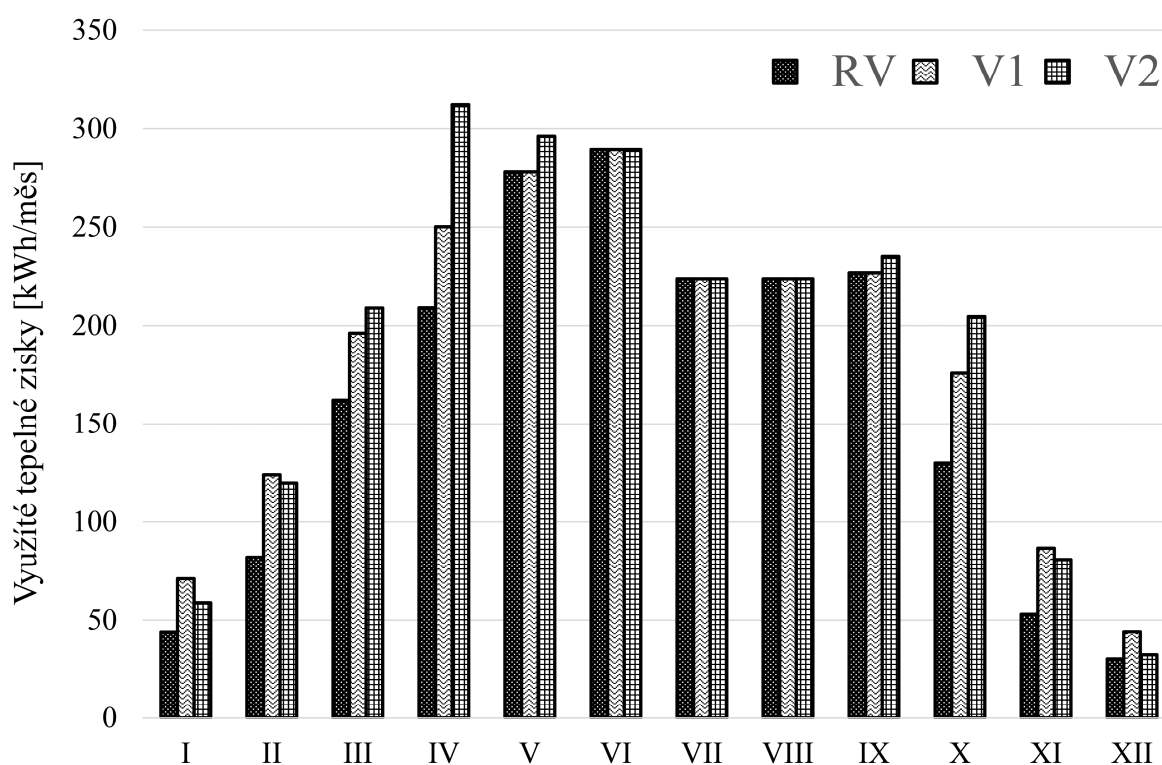
Všechny varianty ohřevu využívají solární zásobník teplé vody o objemu 200 l s denní ztrátou tepla 1,4 kWh/den. Přestože součástí všech uvažovaných solárních zásobníků teplé vody jsou elektrická topná tělesa napojená na elektrickou síť, pro účely tohoto porovnání nebylo uvažováno jejich použití jako dodatkového zdroje tepla. Množství potřebné dodatečné energie (energie na dohřev vody) bylo stanoveno na základě odebíraného aktuálního průtoku

a rozdílu mezi požadovanou teplotou a teplotou vody dosaženou na výstupu ze zásobníku. Pro všechny varianty byla uvažována maximální teplota v zásobníku teplé vody 85 °C. Byly uvažovány jak tepelné ztráty zásobníku, tak jeho tepelné zisky v případě, že teplota v zásobníku je nižší než teplota okolí (15 °C). Pro modelování zásobníku v TRNSYS byl zvolen pokročilý model Type 340, který umožňuje modelovat jak nádrže, tak zásobníky s elektrickými topnými tělesy, tak s výměníky tepla.

VÝSLEDKY ANALÝZY

Vyhodnocování energetických zisků solárních soustav bylo provedeno v simulačním prostředí TRNSYS. Otopné období je ve výpočtu definováno průměrnou denní teplotou venkovního vzduchu ve dvou dnech po sobě následujících nižší než 13 °C a v měsících červnu, červenci a srpnu není vytápění v provozu. Za těchto podmínek má otopné období celkem 234 dnů.

Na Obr. 6 jsou v grafické formě znázorněny výsledky simulovaných variant. Z grafu měsíčních hodnot je patrné nejen, že solární duální kolektory produkují zisk i v zimních měsících, ale i skutečnost, že tento tepelný zisk je vyšší než přínos kapalinových kolektorů. V Tab. 4 jsou uvedeny roční hodnoty. Z hlediska roční bilance je zřejmé, že solární soustava pro přípravu teplé vody a ohřev větracího vzduchu na bázi duálních kolektorů (V1) dodá o cca 12 % více energie než srovnatelný referenční systém. Vyšší hodnoty produkce tepla pro variantu V1 v porovnání s referenční variantou způsobené hlavně rozdílem v provozní době uvažovaných systémů: během zimního a přechodného období kdy sluneční ozáření není dostatečné pro přípravu teplé vody (výstupní teploty ze solárních kolektorů nedosahují hodnot vyšších než 30 °C) solární systém nefunguje, nicméně sluneční ozáření je dostatečné pro ohřev chladného větracího vzduchu a duální kolektor je v provozu.



Obr. 6 Průběh zisků během roku u všech variant

Tab. 4 Roční výsledky simulace solárního ohřevu

Varianta systému	Solární tepelné zisky [kWh]
RV	1952
V1	2190
V2	2286

Kromě toho je možné si všimnout velkého rozdílu mezi produkcí tepla solární soustavou pro přípravu teplé vody a cirkulační vytápění V2 a referenční variantou (RV). Vlivem rozdílu v provozní době uvažovaných variant dosahuje rozdíl v produkci tepelné energie 17 %. Přímé porovnání variant na bázi duálních kolektorů ukazuje, že tepelný zisk varianty V2 je vyšší než varianty V1. Svou roli zde hraje skutečnost, že průtok vzduchu ve variantě V2 je 4krát větší než ve variantě V1 (400 m³/h oproti 100 m³/h). Tudíž, vzhledem k významné závislosti účinnosti vzduchové části kolektoru na průtoku vzduchu kolektorem (viz Obr. 2), provozní účinnost duálních kolektorů ve variantě V2 je vyšší než ve variantě V1.

ZÁVĚR

Cílem analýzy bylo ukázat na možný potenciál duálních solárních kolektorů pro rodinný dům. S využitím detailního matematického modelu Type 207 a celoroční simulace v prostředí TRNSYS byly teoreticky porovnány dvě konfigurace systémů s duálními solárními kolektory s běžným kapalinovým systémem pro ohřev vody. Pro analýzu byl použit konkrétní dům s konkrétní energetickou náročností. Výsledky výpočtů nelze tedy zcela zobecnit, nicméně napovídají, že existuje určitý potenciál pro zvýšení tepelných zisků solární soustavy pomocí využití duálních kolektorů namísto kapalinových kolektorů.

Vzhledem ke složitosti konstrukce a vysoké ceně zatím duální kolektory nenašly větší uplatnění na českém trhu. Nicméně, takové solární kolektory pro ohřev dvojice teplotosných látek kapalina/vzduch jsou v současné době předmětem vývoje v UCEEB ČVUT v Buštěhradě. Cílem výzkumu je vývoj a optimalizace konstrukce duálního solárního kolektoru směrem k vyššímu, v porovnání s kapalinovým kolektorem, tepelnému výkonu, avšak v podobné cenové hladině jako jsou kapalinové kolektory.

LITERATURA

- [1] Kombinovaný solární kolektor Mistral Duo. Dostupné z: <http://www.eis.cz/popisvyr.php3?vcis=17&vuziv=3>
- [2] SV30 AWX Hybrid. Dostupné z: <http://www.solarventi.cz/produkt/sv30-awx-hybrid-13.html>
- [3] SHEMELIN, V., MATUŠKA, T.: *Parametry vzduchových solárních kolektorů a jejich zkoušení*. Energie 21, 2017, roč. X, č. 5, s. 14-17. ISSN 1803-0394.
- [4] SHEMELIN, V., MATUŠKA, T. *TRNSYS Type 207 – Model of dual solar air-liquid collector based on detailed construction parameters and energy balance*. UCEEB CVUT 2017.

HORČÍK– EFEKTÍVNÝ SPÔSOB SEZÓNNEHO USKLADNENIA ENERGIE

Fero Simančík, Milan Škrobán

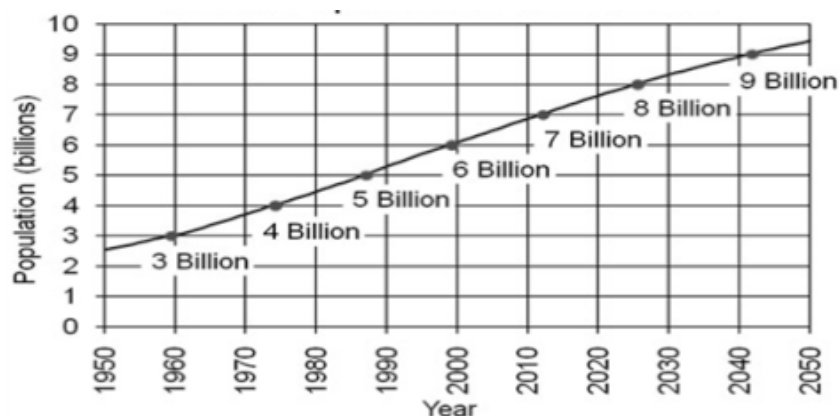
Ústav materiálov a mechaniky strojov Slovenskej akadémie vied
frantisek.simancik@savba.sk

ANOTACE

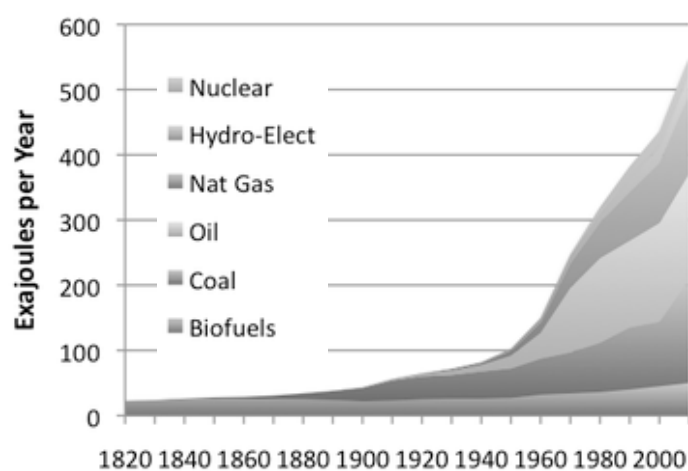
Významnejšie využívanie obnoviteľných zdrojov energie (OZE), ktoré pri konverzii na využiteľnú energiu neprodukujú skleníkové plyny, stále naráža na problém ich nepredvídateľnej dostupnosti, a preto sa len malým dielom môžu podieľať na zabezpečovaní rastúcich energetických potrieb spoločnosti. Akútne chýbajú riešenia najmä na dlhodobejšie uschovávanie energie, ktoré by boli ekonomicky prijateľné, nenáročné na kritické materiály a v cykle konverzie energie by nijako nezaťažovali životné prostredie. V príspevku sa stručne diskutujú možnosti využitia horčíka na tento účel, a to na jednej strane ako plne recyklovateľného paliva s vysokou hustotou energie, ktoré pri spaľovaní nevylučuje žiadne emisie a pri recyklácii na svoju obnovu potrebuje len energiu z OZE, na druhej strane ako materiálu na efektívne a bezpečné opakované uskladňovanie vodíka. Uvedené sú predpokladané kapacity na uskladnenie energie, súčasný stav vývoja, ako aj problémy, ktoré je potrebné vyriešiť, aby sa využívanie horčíka na energetické účely mohlo komerčne širšie presadiť.

ÚVOD

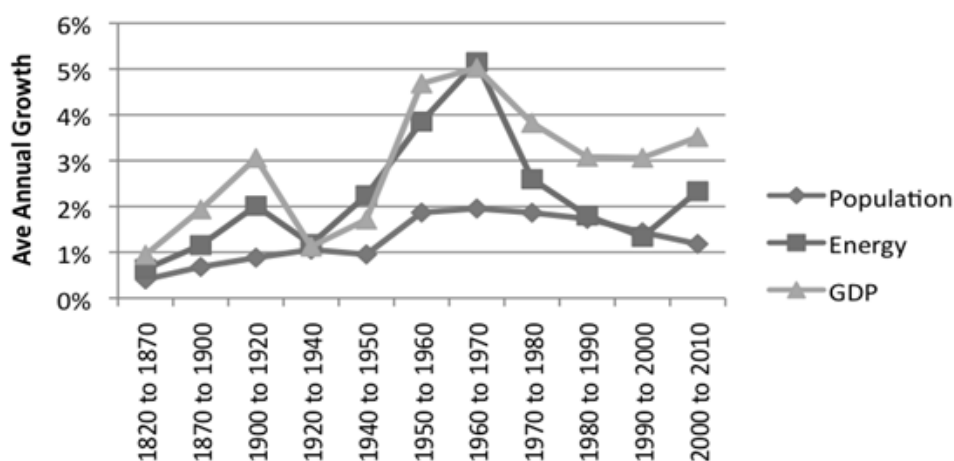
O tom do akej miery je globálne otepľovanie pozorované v poslednom období ovplyvnené činnosťou človeka možno polemizovať, nemožno však ignorovať fakt, že od začiatku minulého storočia ľudská populácia enormne narástla; z približne 1,3 miliardy na dnešných sedem a tento trend stále pokračuje (viz Obr.1). Zvyšujúca sa populácia si bez akýchkoľvek pochybností vyžaduje potrebu energie v iných formách a z iných zdrojov aké boli predtým dostupné a možno dokonca predpokladať, že rastie práve preto, lebo sa jej takéto zdroje (fosílna palivá) podarilo objaviť. Krivka rastu populácie pomerne dobre sleduje nárast potreby energie a využívania fosílnych palív (viz Obr. 2). Zaujímavým faktom je, že rýchlosť rastu populácie priamo súvisí s rýchlosťou rastu HDP, ktorý tiež dobre kopíruje rýchlosť rastu spotreby energie (viz Obr. 3). Z istého pohľadu tak možno usúdiť, že populácia rastie preto, lebo dostupné nové formy získavania energie zlepšujú prostredie pre jej rast. Vzhľadom na to, že hlavným zdrojom takejto energie sú s obrovským podielom fosílna palivá, ľudstvo je pravdepodobne bytostne závislé na ich využívaní. Využívanie fosílnych palív ako nosičov energie prinieslo obrovské výhody, naštartovalo priemyselnú revolúciu, umožnilo život v predtým nehostinnom prostredí, pričom sa o výrobu umelých hnojív a tým o podstatné zvýšenie produkcie potravín, a v neposlednej miere aj o nevídané zvýšenie životnej úrovne. Spaľovanie fosílnych palív však generuje skleníkové plyny, najmä CO₂, ktoré vzhľadom na ich enormný nárast v poslednom období už začínajú ovplyvňovať klimatické pomery na zemi (viz Obr. 4). Ak by sme ale používanie fosílnych palív obmedzili bez náhrady inými zdrojmi energie, jej nedostatok by zákonite viedol buď k zníženiu súčasného komfortu (pokles HDP) alebo k poklesu populácie. Imperatívom doby preto je nájsť také zdroje energie, ktoré by globálny obsah CO₂ pri jej konverzii na ľudmi využiteľnú formu nezvyšovali a boli by z dlhodobého hľadiska schopné fosílna zdroje úplne nahradiť.



Obr. 1 Rast svetovej populácie za posledné roky v miliardách [1]



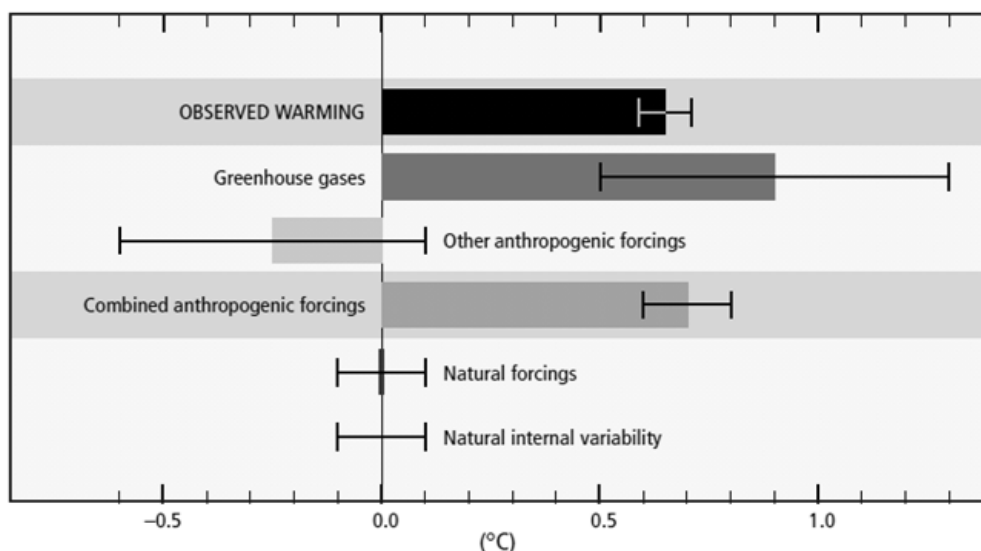
Obr. 2 Rast globálnej spotreby energie za posledné roky a jej zdroje [2]



Obr. 3 Priemerné rýchlosti rastu svetovej populácie, spotreby energie a HDP [2]

Ľudstvo pre svoj rozvoj potrebuje najmä teplo, svetlo a mechanickú energiu. Ako nosič energie využíva elektrickú energiu, pričom si na nej buduje až fatálnu závislosť. Je to paradox, pretože elektrická energia sa pomerne zložito a s veľkými stratami transportuje a takisto sa zle uskladňuje. V prírode nie je priamo dostupná, a preto sa (znovu s určitými stratami energie) vyrába z dostupných zdrojov, ktorými sú najmä fosílna a jadrová palivá

(teplo), slnko (elektromagnetické žiarenie), vietor, alebo kolobeh vody (mechanická energia). Pri finálnom využívaní sa elektrická energia musí väčšinou konvertovať naspäť na pôvodné formy, pričom sa časť energie znovu stáva nevyužiteľnou. Priame využívanie ľahko dostupných zdrojov s výnimkou fosílnych a jadrových palív však nie je jednoduché, pretože takéto zdroje väčšinou nie sú stabilne k dispozícii a prenos, resp. uskladňovanie svetelnej, tepelnej alebo mechanickej energie je ešte komplikovanejší ako v prípade elektriny.



Obr. 4 Príspevok ľudskej činnosti ku globálnemu otepleniu za roky 1951-2010 [3]

Riešeniu týchto paradoxov by významne pomohlo, keby sa našiel spôsob, ktorý by umožnil energiu v akejkoľvek forme dlhodobo a bez strát uskladniť, keď je dostupný jej prebytok zo zdrojov neproduktujúcich CO₂ a neskôr ju poskytnúť na využitie, keď takéto zdroje nestačia pokrývať spotrebu. Vzhľadom na dobré doterajšie skúsenosti s fosílnym palivom by dlhodobým nosičom a úložiskom energie mohla byť znova nejaká forma paliva, ktoré by však pri horení neprodukovalo žiadne škodliviny a dalo by sa „vyrábať – obnovovať“ len vložením energie z dostupných „neškodných“ OZE do „spálených zvyškov“. Kvôli efektívnosti by takéto palivo malo byť schopné uskladniť čo najväčšie množstvo energie na jednotku hmotnosti resp. objemu, uskladnená energia by sa nemala strácať ani v dlhodobom horizonte a samotné palivo by malo byť ľahko skladovateľné a transportovateľné. Jedným z vhodných kandidátov na takýto typ paliva je horčík.

HORČÍK AKO VHODNÝ MATERIÁL NA USKLADNENIE ENERGIE

Charakteristika horčíka

Horčík je kov, v periodickej tabuľke sa nachádza v druhej skupine tretej periódy, má atómové číslo 12, atómovú hmotnosť: 24,305, tavi sa pri teplote 923 K (650 °C), vriete pri teplote 1363 K (1090 °C) a jeho hustota je 1,74 g/cm³. Vďaka svojej reaktivite (2 valenčné elektróny) sa voľne v prírode nenachádza, vyskytuje sa však hojne viazaný v zlúčeninách (uhličitan, kremičitan, sírany, chloridy, oxidy) vo všetkých má oxidačný stupeň Mg⁺². Zemská kôra obsahuje v mineráloch cca. 2,1 % horčíka, väčšinou je však viazaný v chloridoch v morskej vode a soľných jazerách. Celkovo tak tvorí 13 % z hmotnosti Zeme a je ôsmym najbežnejším sa vyskytujúcim prvkom [4]. Jeho zásoby sa považujú za prakticky nevyčerpatelné. Jednotlivé suroviny obsahujú nasledovné množstvá horčíka:

- Magnezit MgCO₃ (28 % Mg)
- Dolomit MgCO₃ CaCO₃ (13 % Mg)

- Karnalit $\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (8,6 % Mg)
- V morskej vode sa koncentrácia Mg iónov udáva ako 1,35 g/l a sú tak po Na druhým najčastejšie zastúpeným kationom
- Vo vesmíre pripadá jeden atóm Mg približne na 30 000 atómov vodíka
- V solných jazerách $\text{MgCl}_2/\text{MgSO}_4$ je obsiahnutých od 0,13 do 0,8 % Mg

Z týchto surovín sa dá horčík v kovovej forme extrahovať v zásade dvoma spôsobmi:

- Elektrolýzou bezvodného MgCl_2 (anhydridu), pričom vedľajším produktom je chlór. Bezvodý MgCl_2 sa získava buď z morskej vody, alebo chlorináciou MgO , ktorý sa získava z uhličitanov po ich termickom spracovaní (kalcinácii).
- Termickým rozkladom uhličitanov, pričom sa najviac využíva kalcinovaný dolomit, ku ktorému je potrebné pridať ferosilícium, hliník alebo uhlík ako redukčné činidlo.

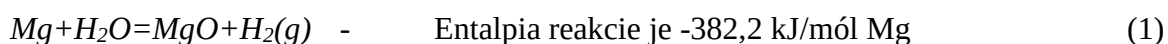
Svetová výroba primárneho horčíka sa v súčasnosti blíži k 1 mil. ton ročne, výrobné kapacity umožňujú vyrobiť až 1,5 mil. ton. Trh ovláda Čína s takmer 80 % podielom [4].

Horčík sa priemyselne využíva najmä na legovanie hliníkových zliatin (32 %), výrobu ultraľahkých konštrukčných odliatkov (32 %), ako redukčné činidlo pri Krollovom procese výroby titánu (13 %), na odsírovanie železa pri výrobe ocele (11 %), zvyšok sú iné menšie aplikácie [4].

Uskladňovanie energie pri výrobe horčíka

Výroba horčíka rozkladom zlúčenín, v ktorých je viazaný, je energeticky veľmi náročná, a preto nákladná. Energetická potreba je približne 20 MWh na tonu Mg [4]. Táto zdanlivá nevýhoda však na druhej strane poskytuje možnosti na ukladanie pomerne veľkého množstva energie do horčíka pri jeho výrobe, ktorej podstatnú časť možno získať naspäť pri jeho konverzii na pôvodnú surovinu. Proces principiálne prebieha nasledovne:

Vzhľadom na to, že horčík oxiduje „horí“ pri veľmi vysokej teplote $\sim 3000^\circ\text{C}$, možno ho kontrolované „spaľovať“ riadeným pridávaním kyslíka vo forme vody, ktorú pri tejto teplote dokáže rozložiť:



Z moderovaného horenia horčíka pomocou vody možno teda z jedného kg horčíka uvoľniť 15,76 MJ alebo 4,7 kWh tepla. Okrem toho takéto horenie vyrobí vodík, ktorý možno spáliť so ziskom ďalšieho tepla v hodnote 2,9 kWh. Spolu teda možno spaľovaním horčíka získať tepelnú energiu cca 7,6 kWh pri vysokej teplote. Spálením vodíka vznikne to isté množstvo vody, ktoré sa použilo na horenie horčíka, proces teda teoreticky negeneruje žiadne splodiny. Vzniknuté teplo možno konvertovať pomocou turbín alebo účinnejších Stirlingových motorov na mechanickú energiu a tú následne na elektrickú, vodík možno alternatívne použiť v palivových článkoch. Aj pri 50% účinnosti tak možno z jedného kg Mg získať viac ako 3 kWh mechanickej (elektrickej) energie, čo je o jeden rád viac ako poskytujú súčasné najmodernejšie batérie. Podstatné pritom je, že uloženú energiu možno skladovať bez akýchkoľvek strát prakticky neobmedzený čas a proces horenia naštartovať až vtedy, keď sú OZE nedostupné. To je výhodné najmä pri potrebe sezónneho uskladňovania energie, napr. z leta na zimu. Motor na riadené spaľovanie horčíka pomocou vody prvýkrát na základe prác japonského profesora Yabeho predstavilo Mitsubishi už v roku 2006 (viz Obr. 5).



Obr. 5 Motor na spaľovanie horčíka [5]

Zvyškom kontrolovaného horenia horčíka pomocou vody je MgO , prípadne $Mg(OH)_2$. Tieto zvyšky možno štandardným procesom elektrolytickej výroby Mg podľa optimalizovaného tzv. Norsk-Hydro procesu [6] znova konvertovať na Mg nasledovne:

- Rozpúšťaním MgO v HCl za vzniku $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, pričom sa uvoľňuje tepelná energia:

$$MgO + 2HCl = MgCl_2 + H_2O \quad (2)$$

$$Mg(OH)_2 + 2HCl = MgCl_2 + 2H_2O \quad (3)$$
- sušením a dehydrovaním $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ na anhydrid $MgCl_2$, pričom sa spotrebovávajú tepelná energia
- elektrolytickým rozkladom $MgCl_2$ na Mg a chlór, pomocou elektrickej energie, pričom vzniká prebytkové teplo

Chlór z elektrolyzy sa v uzatvorenom cykle použije na výrobu HCl potrebnej na rozpúšťanie MgO , resp. $Mg(OH)_2$ v prvom kroku recyklácie podľa rovníc (2) a (3). Tento postup teoreticky nevyžaduje žiadne suroviny ani neprodukuje žiadne škodliviny, stačí dodávať energiu vo forme tepla a elektrickej energie. Optimalizovaný Norsk-Hydro proces využívajúci prebytočné teplo, ktoré sa generuje pri čiastkových procesoch umožňuje vyrobiť kilogram Mg pri spotrebe cca 20 kWh, z toho 13 kWh na elektrolyzu [7]. Pokiaľ by sa výroba realizovala len s využitím energie z OZE, keď sa produkujú prebytky, dala by sa spätne realisticky využiť s cca 20% účinnosťou bez akýchkoľvek negatívnych vplyvov na životné prostredie, bez spotreby materiálu a s možnosťou dlhodobého uskladnenia energie na ľubovoľný čas. Otvorenými otázkami ďalšieho výskumu ostáva optimalizácia kontrolovaného a bezpečného horenia Mg pomocou vody a vývoj procesu elektrolyzy $MgCl_2$ pomocou energie z OZE.

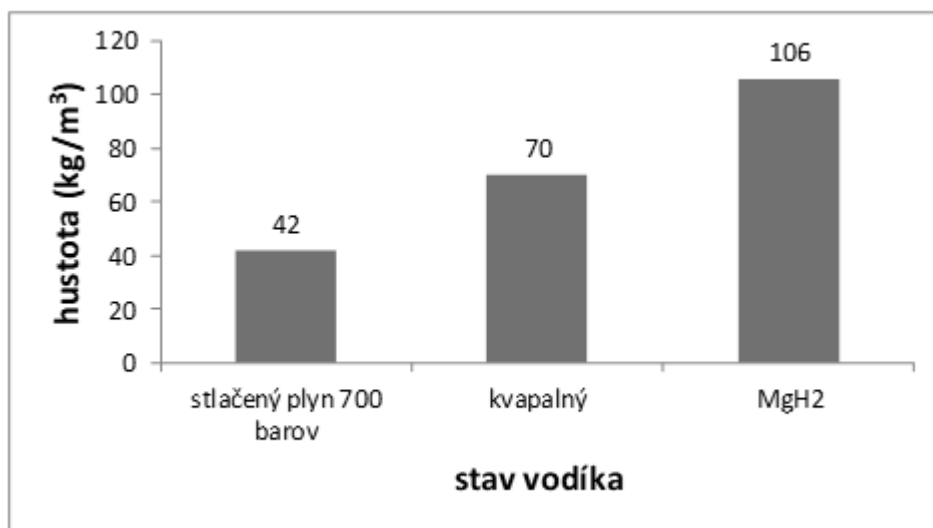
Horčík ako nástroj na uskladňovanie vodíka

Vodík je považovaný za ideálny energetický nosič pre mobilné ako aj stacionárne aplikácie, ktorý minimalizuje nežiadúce vplyvy na prostredie a energia sa v ňom dá ľahko a účelne uchovávať a využívať v okamihu jej potreby. Svojou podstatou však patrí do skupiny nebezpečných plynov, a preto je potrebné pri jeho skladovaní, manipulácii a spracovaní dbať na prísne a presné dodržiavanie bezpečnostných predpisov a opatrení. Cenovo dostupný a energeticky efektívny spôsob uskladnenia vodíka je jednou z najvýznamnejších výziev v rozvíjajúcej sa vodíkovej ekonomii a kľúčovým pre budúcnosť všetkých vodíkových technológií. Vodík má zo všetkých palív najmenšiu hustotu v plynnom skupenstve ($0,08988 \text{ g/dm}^3$) pri 1 atm a najnižší bod varu $-252,87 \text{ }^\circ\text{C}$, čo významne komplikuje jeho skladovanie.

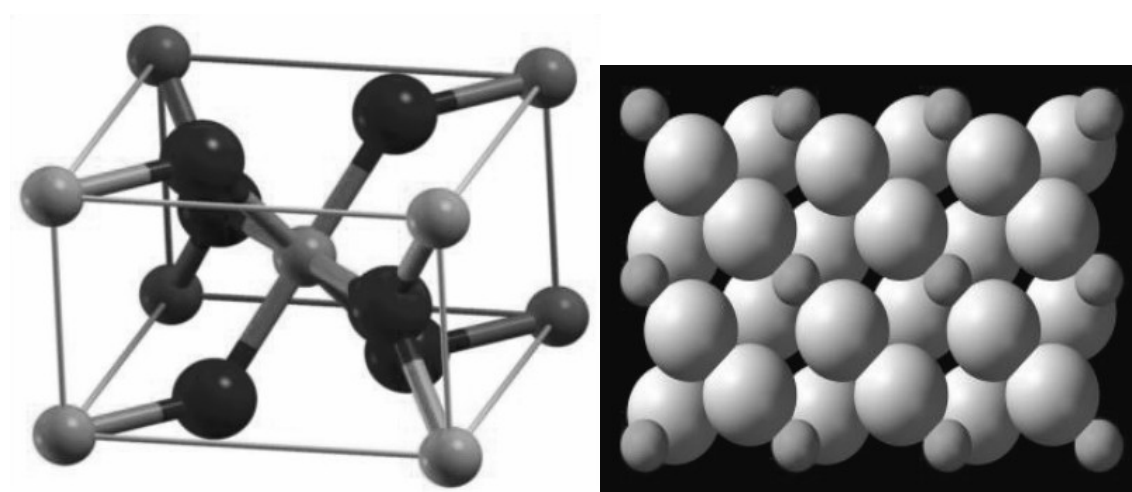
Vodík môže byť uskladnený vo forme stlačeného plynu, v kvapalnom stave, v tuhom stave ako chemický resp. fyzikálny komplex vo forme kovových hydridov, komplexných hydridov

a uhlíkových materiálov. Každá z uvedených možností poskytuje atraktívne možnosti pre uskladnenie vodíka [8].

Skladovanie vodíka v tuhom stave pri prijateľnej teplote a tlaku znamená bezpečnostné výhody v porovnaní s plynným resp. kvapalným spôsobom uskladnenia. Kovové hydridy majú okrem toho aj vyššiu úložnú hustotu vodíka, ako vodíkový plyn alebo kvapalný vodík (viz Obr. 6).

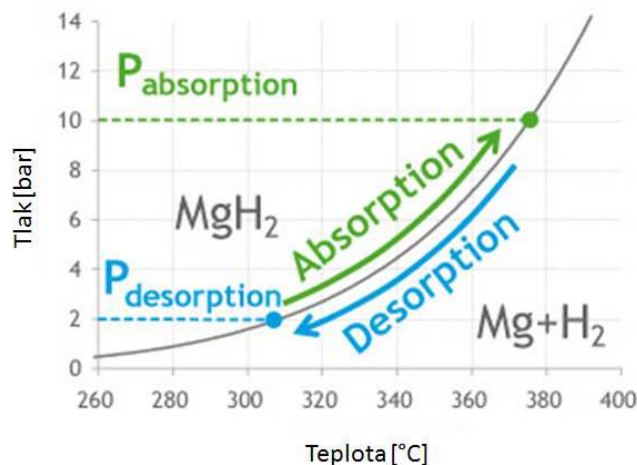


Obr. 6 Hustota pre rôzne stavy vodíka [8].



Obr. 7 Kryštálová mriežka MgH₂ rutilového typu [8].

Uskladnenie vodíka pomocou kovových hydridov je predmetom intenzívneho výskumu. Vzhľadom na vysokú vodíkovú kapacitu, nízku hmotnosť a nízku cenu je horčík (horčíkový hydrid) intenzívne študovaný ako jeden z potenciálne najslubnejších materiálov na tento účel. Horčíkový hydrid MgH₂ má najvyššiu hustotu energie 9 MJ/kg Mg spomedzi všetkých reverzibilných hydridov použiteľných na uskladnenie vodíka [9]. MgH₂ má vysokú vodíkovú kapacitu 7,7 hm. %, potenciálne nízku cenu, ľahkú dostupnosť horčíka a dobrú reverzibilitu. Vodík je možné rozpúšťať v horčíku už pri tlaku 10 barov, čo je typický výstupný tlak elektrolyzéra a uvoľňovať pri tlaku 2 bary, čo je vstupný tlak turbíny palivového článku. Navyše uskladňovanie vodíka v hydride nevyžaduje žiaden kompresný tlak, čím sa šetria náklady na energiu a údržbu.



Obr. 8 Závislosť rovnovážneho tlaku v systéme $\text{Mg}+\text{H}_2$ na teplote [8].

Pokiaľ je pri danej teplote tlak nad určitou úrovňou (rovnovážny tlak), kov absorbuje vodík a vzniká kovový hydrid. Pokiaľ je tlak pod hodnotou rovnovážneho tlaku, vodík je uvoľňovaný a kov sa vracia do pôvodného stavu. Rovnovážny tlak je priamo závislý na teplote. Pod teplotou rozkladu je vodík bezpečne uskladnený.

Kritický faktor pre absorpciu vodíka kovmi predstavuje povrch kovu, ktorý aktivuje disociáciu vodíkových molekúl a umožňuje ľahkú difúziu vodíka do kovu. Difúzia spočiatku nie je limitujúcim faktorom, pretože zatiaľ nezreagoval žiaden materiál a stále je k dispozícii dostatok aktivačných miest [10], chemisorpcia je najpomalším procesom pre čistý horčík v tejto fáze [11]. Pri pokračujúcej reakcii, nastáva difúzia vodíka a začína narastať hrúbka hydridu, ktorý predstavuje takmer nepriestupnú vrstvu. Difúzia cez túto vrstvu predstavuje vážne spomalenie v procese tvorby hydridu [12]. Popri vzniku kompaktnej vrstvy hydridu, expozícia voči kyslíku taktiež znižuje rýchlosť absorpcie vďaka vytvoreniu vysoko stabilnej vrstvy oxidu. Mletie v guľovom mlyne, ktoré vytvára nové povrchy sa často používa u kovových hydridov za účelom získavania kvalitného povrchu [8]. Hlavným dôsledkom mletia je zväčšený povrch, vznik mikro/nanoštruktúr a vytvorenie defektov na povrchu a vo vnútri materiálu. Vytvorené mriežkové poruchy uľahčujú difúziu vodíka v materiáli tým, že poskytnú mnohých vhodných miest s nízkou aktivačnou energiou difúzie. Zvýšený povrchový kontakt s katalyzátorom počas mletia vedie k rýchlej kinetike vodíkovej transformácie. Vlastnosti úložného materiálu je možné kontrolovať zmenou chemického zloženia, kvalitou povrchu, mikroštruktúrou a veľkosťou zrna. Tieto závislosti sa využívajú na produkciu nanokryštalického horčíka s vynikajúcou práškovou morfológiou, ktorá významne zlepšuje kinetiku a povrchovú aktivitu hydrogenácie [13].

ZÁVER

Horčík sa ukazuje ako vynikajúci kandidát na dlhodobé uskladňovanie energie a to buď ako veľmi efektívny a bezpečný zásobník na vodík s tvorbou hydridu MgH_2 , alebo ako recyklovateľné palivo využívajúce na obnovu výlučne OZE bez akejkoľvek materiálnej spotreby a emisie škodlivín. Intenzívny výskum je však stále potrebný na vyriešenie zostávajúcich ťažkostí spojených s kontrolovaným horením Mg pomocou vody, elektrolýzou MgCl_2 využívajúcou výlučne OZE, resp. zvýšením rýchlosti a kapacity reverzibilného uskladňovania vodíka a znížením ceny komplexných hydridov. Zvládnutie dlhodobého uskladňovania energie umožní efektívnejšie zapojenie OZE do energetickej spotreby spoločnosti a prispeje tak k významnému šetreniu životného prostredia.

LITERATÚRA

- [1] U.S. Census Bureau. International Data Base. June 2011 Update.
- [2] www.ourfinetworld.com: An Energy/GDP Forecast to 2050. Posted on July 26, 2012 by Gail Tverberg
- [3] Fifth Assessment Report: Climate Change 2014, Intergovernmental Panel on Climate Change.
- [4] Šimančík, F., et.al: Štúdia realizovateľnosti technologického spracovania slovenského magnezitu, Aktivita 2.6: Možnosti výroby primárneho horčíka na Slovensku, ÚMMS SAV, 2013.
- [5] Levenstein, S.: Clean Magnesium Energy Cycle Hints at Fossil Fuel Freedom. http://inventorspot.com/articles/japan_magnesium_energy_cycle_5887
- [6] Ecklund H., et al.: An improved process for the production of magnesium, Magnesium Technology, 2002
- [7] Wallevik, O. et al.: Magnesium Electrolysis – A monopolar viewpoint, Magnesium Technology, 2000, p. 13-16
- [8] Safe Clean and Efficient solutions for Energy Storage. A novel material for the most promising Hydrogen solid storage: Magnesium. McPhy Energy S.A.
- [9] B. Sakintuna et al. Metal hydride materials for solid hydrogen storage: A review/ International Journal of Hydrogen Energy 32 (2007) 1121– 1140.
- [10] Holtz RL. Basic user's guide for NRL 6323 hydrogen storage system, 1996.
- [11] Friedlmeier G, Groll M. Experimental analysis and modeling of the hydriding kinetics of Ni-doped and pure Mg. J Alloys Compds 1997;253–254:550–5.
- [12] Andreasen A, Vegge T, Pedersen AS. Compensation effect in the hydrogenation/dehydrogenation kinetics of metal hydrides. J Phys ChemB 2005;109:3340–4.
- [13] Zaluski L, Zaluska A, Ström-Olsen JO. Nanocrystalline metal hydrides. J Alloys Compds 1997;253–254:70–9.

Príspevok vznikol s podporou Agentúry pre výskum a vývoj SR, v rámci grantového projektu APVV 14-0934.

OPTIMALIZACE NÁVRHU PARAMETRŮ ZDROJŮ ENERGIE Z POHLEDU JEJICH EKONOMICKÉ NÁVRATNOSTI

Jan Skovajsa, Martin Zálešák

ÚAŘT, FAI UTB ve Zlíně
jskovajsa@utb.cz, zalesak@utb.cz

ANOTACE

Článek se zabývá posouzením doby návratnosti investic do zdrojů energie pro rodinné domy z pohledu jejich optimálního návrhu. Z pohledu solárních systémů je základním činitelem samotný návrh pro danou aplikaci, takový optimální návrh je závislý např. na umístění solárních kolektorů a jejich aktivní ploše vztahované na reálnou spotřebu v průběhu dne. Standardní výpočty dle platných norem mohou dávat často předimenzované výsledky, což se také odráží do výše investic. V článku je představeno sledování optimálních parametrů pro systém solárních kolektorů pro přípravu teplé vody v domácnosti. Pro nalezení optimálních parametrů je použita kombinace souvisejících norem a software TRNSYS, ve kterém byla prováděna dynamická simulace daného systému. Díky vytvořeným a ověřeným simulačním modelům je možné navrhnout parametry tak, aby nedocházelo k poddimenzování, nebo právě naopak k častějšímu předimenzování dané soustavy. Dalším faktorem, jež má vliv na dobu návratnosti investic do zdrojů energie, je cena energií, které jsou ovlivněny právě použitými zdroji energie a jejich případnou kombinací.

ÚVOD

Článek se zaměřuje na výpočty tepelné solární soustavy pro přípravu teplé vody, které vychází z příslušných norem. První související normou je ČSN 06 0320, která se využívá pro navrhování a projektování tepelných soustav v budovách. Tato ovšem neřeší návrh solárních systémů. Pro tento účel lze využít normu ČSN EN 15316-3-1 a TNI 73 0302. Následující kapitoly popisují zjednodušeně postup výpočtů uvedených norem a metod. [1-3]

Příprava teplé vody

Roční energetická potřeba na přípravu teplé vody v souladu s ČSN 06 0320:

$$Q_{TV} = 365 \cdot (1 + z) \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2P} (\theta_2 - \theta_1)}{3600} \quad (1)$$

Množství vody na osobu za den se v normě ČSN 06 0320 udává s hodnotou 82 litrů a koeficient ztrát 50 %. Již zde dochází ke značnému předimenzování soustavy pro přípravu teplé vody. Dle požadavků normy by byla potřeba energie na přípravu teplé vody za rok až 9,4 MWh. Tato hodnota je podle odborníků nadhodnocena a může se reálně pohybovat kolem 40 až 50 litrů na osobu za den, což odpovídá také reálnějším hodnotám uvedeným v normě ČSN EN 15316-3-1. Podobně je tomu tak i u energetických ztrát, jež jsou dle normy až 50 %, v reálných podmínkách jsou tepelné ztráty na rozvodech teplé vody 20 až 30 %. Pro uvažovaný objekt je stanovena hodnoty spotřeby vody na 45 litrů na osobu za den a koeficient ztrát na hodnotu 0,25. Dosazením nových hodnot je získána roční energetická potřeba na přípravu teplé vody.

$$Q_{TV} = 365 \cdot (1 + 0,25) \frac{1000 \cdot 4186 \cdot 0,180(55 - 10)}{3600} = 4,3 \text{ MWh/rok}$$

Rozdíl energií je více jak 50 %, což se značně projeví také při návrhu zdroje energie, např. počtu solárních kolektorů, velikosti přídatného ohřevu apod. Zjištěné hodnoty jsou vstupním parametrem pro stanovení ekonomické návratnosti zvolených systémů a zdrojů energie,

přičemž je nutné si uvědomit, že různé zdroje energie přináší rozdílné ceny za jednotku dodané energie, ať už se jedná o zemní plyn, nebo elektrickou energii.

Tepelná solární soustava

Jak již bylo uvedeno, důležitou součástí návrhů systémů je také výběr jejich optimálních parametrů. Jako příklad je zde uvedeno posouzení systému solárních kolektorů sloužící k přípravě TV v domácnosti. Pro stanovení základních parametrů je využit zjednodušený výpočet dle normy TNI 73 0302. Výpočty obsahují řadu zjednodušení pro jednoduchou aplikaci ve směru navrhování solárních soustav se zpětnou vazbou na provozní parametry. Nevýhodou jsou jednotlivé klimatické údaje, tj. nelze porovnávat výsledky výpočtu s měřením na reálném systému, uvažování konstantní střední teploty v kolektorech v celém roce a započtení tepelných ztrát solární soustavy paušální srážkou ze zisků. To vše vede k tomu, že výsledky mohou být mírně optimistické, především v zimních měsících, kdy výpočty dosahují relativně vysokých zisků. Výhodou této normy je stanovení skutečně využitých zisků solární soustavy $Q_{ss,u}$ na základě porovnání teoreticky využitelných tepelných zisků solárních kolektorů $Q_{k,u}$ a celkové potřeby tepla $Q_{p,c}$, která má být kryta. Měrný tepelný zisk z kolektorů q_k , v kWh/(m²den), lze získat pomocí vztahu [4]:

$$q_k = \eta_k \cdot H_{T,den} \quad (2)$$

Průměrná denní účinnost je vypočtena pomocí rovnice:

$$\eta_k = \eta_0 - a_1 \left(\frac{\theta_m - \theta_{es}}{G_{T,stř}} \right) - a_2 \frac{(\theta_m - \theta_{es})^2}{G_{T,stř}} \quad (3)$$

Plochu solárních kolektorů A_k v m², je nakonec možné získat pomocí vztahu:

$$A_k = \frac{Q_{pc}}{q_k} = \frac{(1+z) \cdot Q_p}{\eta_k \cdot H_{T,den}} \quad (4)$$

Teoreticky využitelné zisky solární soustavy v jednotlivých měsících se stanoví jako:

$$Q_{k,u} = 0,9 \left[\eta_0 - a_1 \left(\frac{\theta_m - \theta_{es}}{G_{T,stř}} \right) - a_2 \frac{(\theta_m - \theta_{es})^2}{G_{T,stř}} \right] H_{T,den} \cdot n \cdot A_k (1 - p) \quad (5)$$

Ekonomika

V rámci výzkumu je sledována ekonomická návratnost navržených variant soustavy. Součástí sledovaných parametrů jsou: prostá doba návratnosti, diskontovaná doba návratnosti, čistí současná hodnota projektu a vnitřní výnosové procento. Tyto pojmy jsou vysvětleny a popsány v následujícím textu.

Prostá doba návratnosti

Prostá doba návratnosti je velice často užívané ekonomické kritérium, které je sice jednoduché, ale není zcela vhodné. Neuvažuje inflaci, diskont ani životnost projektu. Přesto ho lze použít jako jednoduchý ukazatel návratnosti investic. Prostá doba návratnosti se počítá:

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad (6)$$

Diskontovaná doba návratnosti

Diskontovaná doba návratnosti je, na rozdíl od prosté doby návratnosti, založena na diskontovaném peněžním toku, který uvažuje změnu peněžních toků v různých letech hodnocení projektu. Diskontovanou dobu návratnosti lze spočítat podle vzorce:

$$T_d = \frac{\ln\left(1 + \frac{IN}{CF}(\alpha - r)\right)}{\ln\left(\frac{1+\alpha}{1+r}\right)} \quad (7)$$

Čistá současná hodnota projektu

Čistá současná hodnota je jedním z nejvhodnějších kritérií, které zahrnuje dobu životnosti projektu. Je-li hodnota kladná, lze investici do projektu doporučit. Čistou současnou hodnotu lze vypočítat podle vzorce:

$$NPV = CF \frac{(1+r-\alpha)^t - 1}{(r-\alpha)(1+r-\alpha)^t} - IN \quad (8)$$

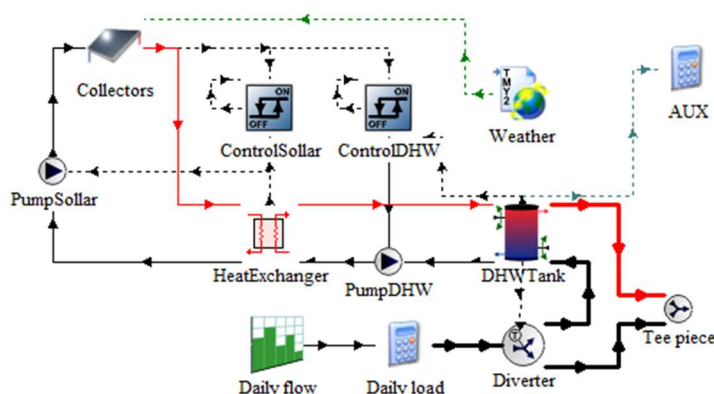
Vnitřní výnosové procento

Vnitřní výnosové procento představuje trvalý roční výnos investice a stanoví se jako diskont, při kterém je čistá současná hodnota investice rovna nule. Je-li vnitřní výnosové procento vyšší než uvažovaný diskont, lze projekt doporučit.

$$NPV = 0 \Rightarrow IRR \quad (9)$$

METODY

Tato kapitola se zabývá již samotnými praktickými aplikacemi výpočtů. Součástí kapitoly je využití výpočtových metod pomocí norem a porovnání s výsledky, které byly získány z dynamických simulací totožných konfigurací pro reálné klimatické podmínky. Pro přesnou analýzu byl v simulačním software TRNSYS vytvořen model solárního systému. Jako vstupní data pro klimatické podmínky jsou použity naměřené hodnoty z meteorologické stanice FAI UTB ve Zlíně. Měření klimatických podmínek probíhalo v roce 2017.



Obr. 1 Simulační model solárního systému - TRNSYS

Představený systém se skládá ze solárních panelů, deskového výměníku oddělujícího vnější a vnitřní okruh, dvou čerpadel, řídicích členů a zásobníku TV. Teplota teplotnosného média v okruhu solárních kolektorů je porovnávána s teplotou vody ve spodní části zásobníku. Je-li teplota vody ve spodní části zásobníku TV menší, je zásobník ohříván až na požadovanou teplotu, 55 °C, poté je solární systém odstaven. V případě, že teplota v zásobníku bude vyšší než teplota kapaliny v solárním okruhu a zároveň nebude dosažena požadovaná teplota vody, je možné zajistit, aby i při nižší intenzitě slunečního záření bylo možné systém využít. Toho je dosaženo pomocí změny průtoku teplotnosného média v okruhu solárních kolektorů. Tato cirkulace v solárních kolektorech vede k jejímu ohřátí na vyšší teplotu. Při dosažení vyšší teploty v solárním okruhu je zapnuto čerpadlo, které nasává chladnější vodu ze spodní části zásobníku, ta dále protéká deskovým výměníkem a ohřátá se vrací zpět do zásobníku TV.

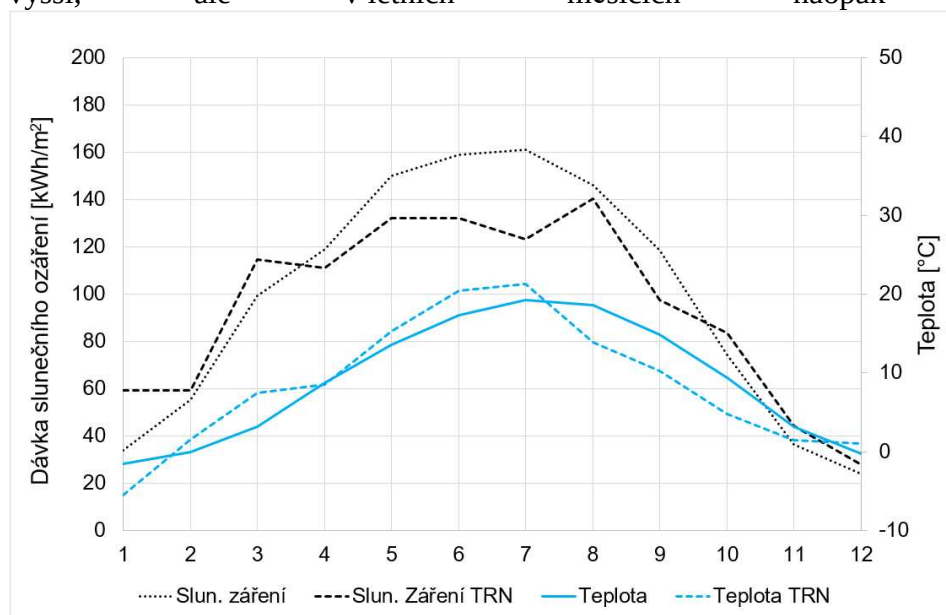
Pro výpočtové metody i simulaci je prvním krokem stanovení vstupních parametrů pro různé konfigurace. Základní parametry solárního systému pro přípravu teplé vody:

- počet osob v domácnosti: 4 osoby;
- odběr teplé vody: 35, 45 a 82 l·os⁻¹den⁻¹
- teplota vody na vstupu/výstupu: 10/55 °C;
- zásobník teplé vody: 0,2 m³;

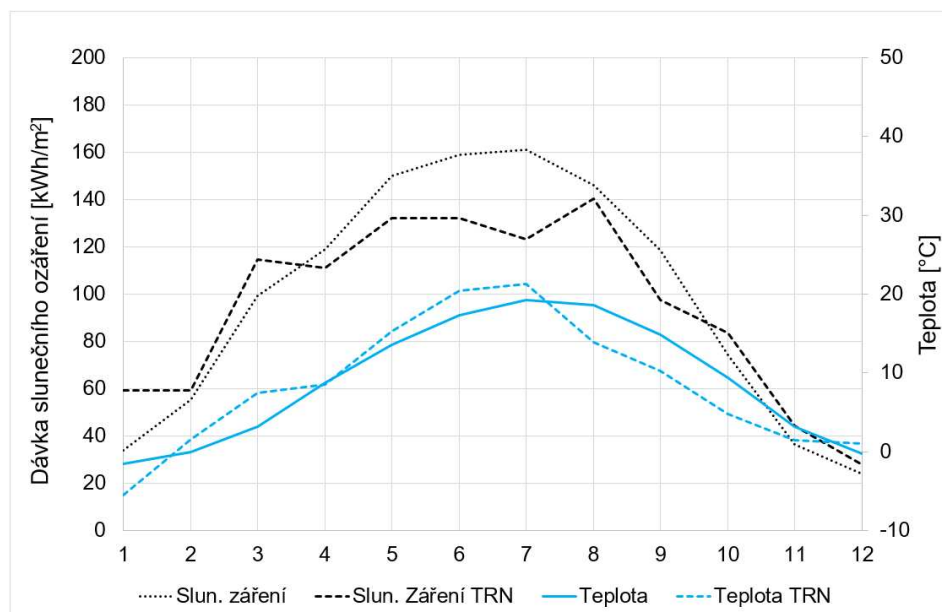
Parametry solárních kolektorů:

- plocha apertury 1 panelu: 2,39 m²;
- optická účinnost: 0,794;
- lineární součinitel tepelné ztráty : 3,639 Wm⁻²K⁻¹;
- kvadratický součinitel tep. ztráty : 0,0168 Wm⁻²K⁻²;
- sklon a azimut kolektorů: 45° a 0° J;

Po dosažení hodnot do rovnic byly získány výsledky potřeby energie pro přípravu TV pro čtyřčlennou rodinu vycházející z normy TNI 73 0302. Ve výpočtech jsou zohledněny hodnoty odběru TV dle výše uvedených vstupních parametrů. Stejný postup byl proveden i pomocí SW TRNSYS, kdy se měnily vstupní parametry systému (odběr TV) a byly zadány naměřené klimatické podmínky. Jedním z rozdílů vstupních parametrů simulací a výpočtů je v rozložení průměrných měsíčních dávek slunečního ozáření v průběhu roku. V teoretických výpočtech jsou hodnoty plynule rostoucí a klesající. V roce 2017 byly tyto hodnoty v zimních měsících vyšší, ale v letních měsících naopak nižší, viz



Obr. 2.



Obr. 2 Průměrná dávka slunečního ozáření a vnější teplota v roce 2017

VÝSLEDKY A DISKUSE

Na základě dosud získaných dat je možné začít řešit otázku optimalizace představeného solárního systému. Optimalizace je zde založena na hledání optimálního počtu solárních kolektorů, při daných odběrech TV. Pro nejnižší odběr je doporučený počet panelů 1 až 2 ks, pro střední odběr 2 až 3 ks a pro nejvyšší 4 až 5 ks. Počet panelů byl stanoven výpočty dle norem pro měsíce duben až září. Z technického hlediska je optimální návrh takový, kdy solární soustava dokáže pokrýt co největší část potřeb tepla a současně je využita co nejvyšší část instalovaného výkonu. Z pohledu ekonomiky je tato situace přívětivá, neboť dochází k příznivému poměru investic a ušetřených financí za energie.

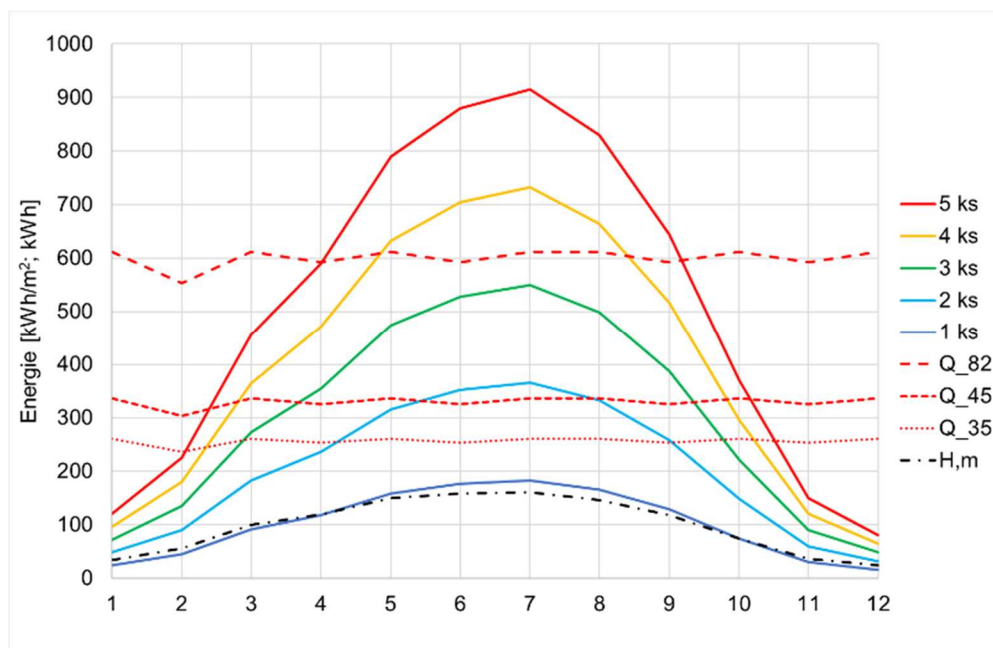
V Tab. 1 jsou uvedeny výsledky dynamických simulací pro různý počet panelů a odběry. Je možné vyčíslit celkovou potřebu tepla $Q_{p,TV}$, která má být kryta, teoreticky využitelných tepelných zisků $Q_{k,u}$ a reálně využitelných zisků $Q_{ss,u}$. Dále je uvedeno využití slunečního záření n_{sol} a využití instalovaného výkonu n_{sk} .

Hodnoty z uvedené tabulky jsou graficky znázorněny na obrázku dále, viz **Obr. 3**, kde je zřetelně vidět průběh potřeby tepla na přípravu TV v průběhu roku a maximální solární zisky při různém počtu panelů. Překračuje-li hodnota solárních zisků zvolenou hodnotu potřeby tepla, dochází ke snižování využití instalovaného výkonu.

Tab. 1 Roční tepelné zisky a využití solární soustavy - TRNSYS

Počet [ks]	Odběr [l·os ⁻¹ ·den ⁻¹]	$Q_{p,TV}$ [kWh·rok ⁻¹]	$Q_{k,u}$ [kWh·rok ⁻¹]	$Q_{ss,u}$ [kWh·rok ⁻¹]	n_{sol} [%]	n_{sk} [%]
1	35	2617	1374	1374	53	100
	45	3425	1409	1409	41	100
	82	6318	1487	1487	24	100
2	35	2617	2714	2186	84	81
	45	3425	2807	2650	77	94
	82	6318	3006	3006	48	100
3	35	2617	3741	2415	92	65
	45	3425	3905	2988	87	77

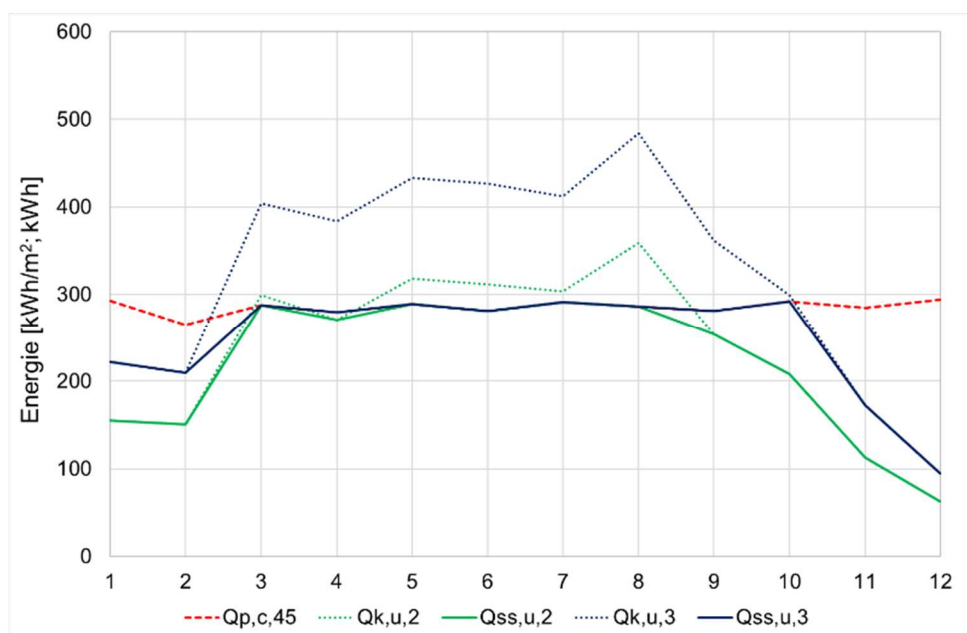
	82	6318	4305	4298	68	100
4	35	2617	4660	2501	96	54
	45	3425	4852	3177	93	65
	82	6318	4852	4782	76	99
5	35	2617	5527	2534	97	46
	45	3425	5742	3261	95	57
	82	6318	6394	5365	85	84



Obr. 3 Roční průběh potřeb tepla a maximální solárních zisků – TRNSYS

Z tabulky a grafu výše je na první pohled jasné, že jeden panel pokrývá až 53 % potřeby tepla a současně je jeho výkon využit na 100 %. Z toho vyplývá, že systém je značně poddimenzován. Pro dva a tři panely je již situace přívětivější, kdy je pokrytí potřeb tepla až 92 % a využití výkonu až 100 %. Při více panelech se dále zvyšuje pokrytí potřeb tepla, ale klesá procentuální využití instalovaného výkonu, systém je tedy předimenzovaný. Jak je možné vidět, rozdíl mezi jedním a dvěma panely je značný, ale další přidávání panelů nezajistí adekvátní pokrytí potřeb v krajních měsících a vede pouze ke zvyšování investice se snižující se využitelností. Mimo jiné vede předimenzování soustavy ke stagnaci a tím k degradaci teplotního média i panelů samotných. [5-8] Varianta se 2 a 3 ks panelů se tedy jeví jako optimální pro dané podmínky.

Pro příklad je uveden graf pro vyšší standard odběru teplé vody s hodnotou $45 \text{ l} \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$, viz **Obr. 4**. Tato varianta je vybrána jako výchozí, která je schopna pokrýt téměř jakýkoliv stav v běžné domácnosti. V grafu je možné vidět, že 2 ks panelů téměř ideálně kryjí potřebu tepla v měsících duben až září. Nedochází zde ani k velkým přebytkům a je tedy optimálně využito instalovaného výkonu. Tento fakt se také jistě projeví na ekonomickém hodnocení.



Obr. 4 Soustava dvou a tří panelů při odběru $45 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$ - TRNSYS

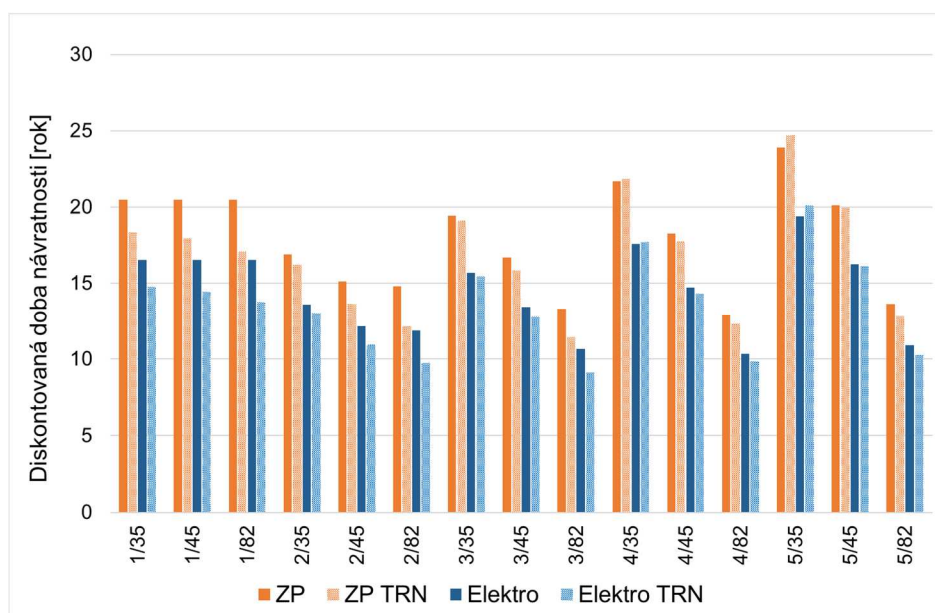
Ze získaných dat a informací je možné přejít k ekonomickému zhodnocení investic do jednotlivých variant solární soustavy.

POSOUZENÍ INVESTIC

Při posuzování investic se uvažovaly zjednodušené ceny do jednotlivých investic z pohledu technologie, tj. solární soustava se skládá z panelů, akumulární nádoby a vybavení. Dále je uvažován diskont v hodnotě 0,5 % a inflace 2 %, dle ČNB. [9] Důležité jsou zde také ceny energií, které vycházejí z aktuálních ceníků distributorů elektrické energie.

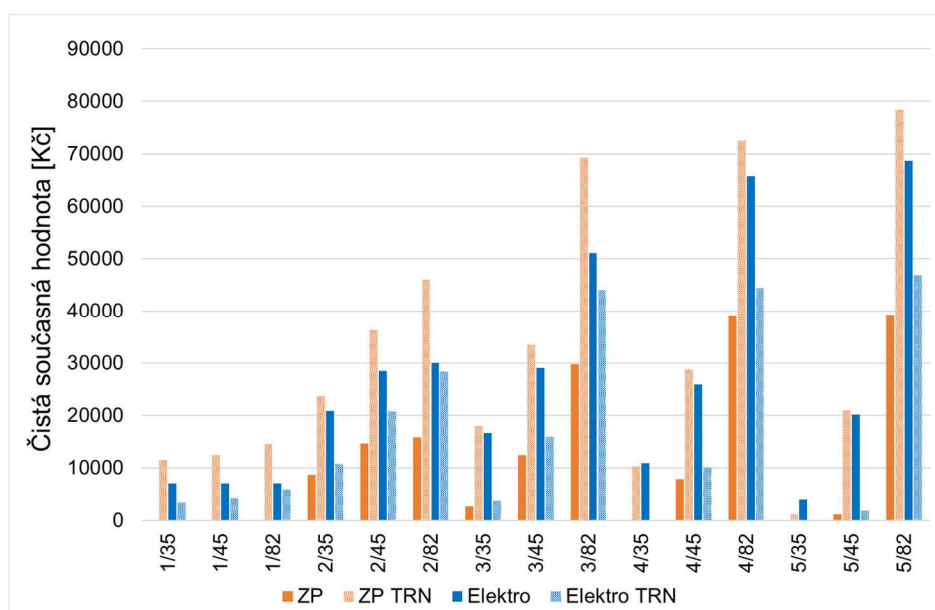
Nejnázornější představení výsledků jednotlivých řešení je možné vidět v grafech uvedených níže, viz Obr. 5 až Obr. 7, které obsahují diskontovanou dobu návratnosti (DPP), čistou současnou hodnotu projektu (NPV) a vnitřní výnosové procento (IRR).

Z níže uvedeného grafu na Obr. 5 je možné vyčíst, že DPP je v případě stávajícího využití elektrické energie pro přípravu TV vždy nižší, než v případě plynu. Dále je také vidět rozdíl ve výpočtech a simulacích, kdy simulace vychází o něco málo lépe. Z uvedených výsledků je také možné stanovit, že pro nejnižší odběr se nejrychleji vrátí soustava se dvěma panely, stejně tak i v případě středního odběru. Při nejvyšším odběru pak nejlépe vychází varianta se čtyřmi panely.



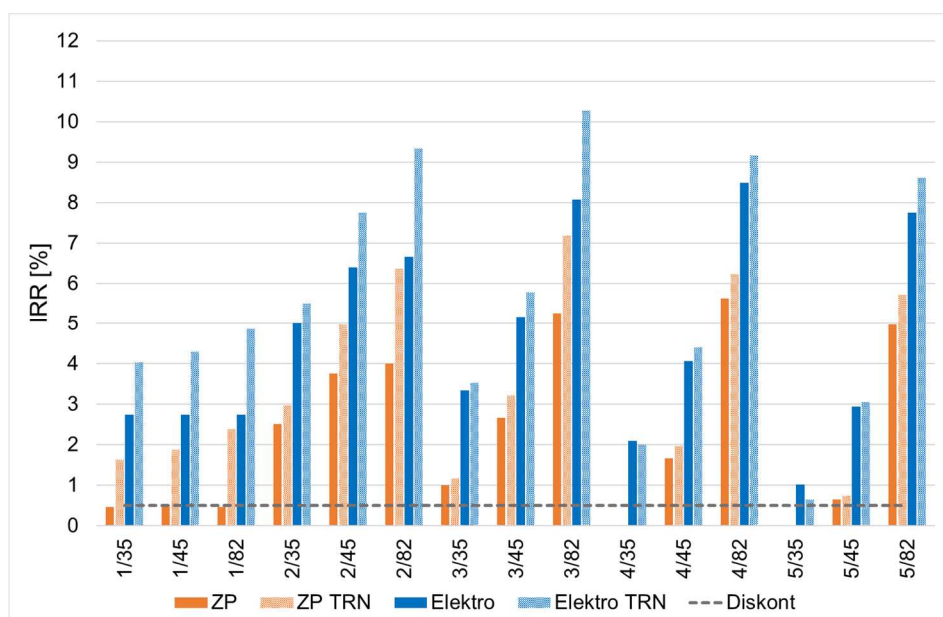
Obr. 5 Diskontovaná doba návratnosti

Dalším aspektem v posuzování investic je NPV. Hodnoty jednotlivých variant jsou uvedeny v grafu níže na Obr. 6. Pro nízký a střední odběr je opět nejlepší varianta se dvěma panely. Varianta s jedním panelem má nízkou, příp. zápornou hodnotu NPV a při vyšším počtu panelů je hodnota NPV dokonce záporná. Stejně jako u doby návratnosti se ukazuje fakt, že není vhodné systém předimenzovat na velké odběry a využít jen malou část výkonu.



Obr. 6 Čistá současná hodnota projektu

Poslední graf na Obr. 7, zobrazuje hodnoty IRR. Ta udává relativní výnos (rentabilitu), kterou projekt během svého životního cyklu poskytuje. Investice je dle tohoto kritéria přijatelná, pokud je IRR větší než diskontní sazba. Čím vyšší je IRR, tím vyšší je návratnost investice. Jak lze vyčíst, soustava s jedním panelem má velice nízké IRR. Systém se dvěma panely má hodnotu IRR velmi příznivou pro všechny případy. U tří kusů je to o trochu horší, ale stále přijatelné. Vícedílné systémy jsou rentabilní pouze pro velmi vysoké odběry TV. Výsledkem posouzení investic je tedy doporučení na optimální návrh systému se dvěma kusy panelů.



Obr. 7 Vnitřní výnosové procento

ZÁVĚR

Článek se zabýval ekonomickým hodnocením investic a optimalizací solárního ohřevu vody pro rodinné domy. Součástí článku byl návrh a výpočet systému podle norem a také jeho dynamické simulace. Bylo provedeno srovnání výpočtů a simulací, z nichž byly stanoveny optimální parametry. Z těchto údajů byly následně získány hodnoty diskontované doby návratnosti, čisté současné hodnoty a vnitřního výnosového procenta. Výsledkem článku je, že nejlepší volbou pro domácnost se čtyřmi osobami je solární systém ohřevu vody se dvěma slunečními kolektory. Tato možnost je univerzální pro všechny podmínky spotřeby teplé vody na osobu a den. Díky tomuto výběru nedohází ke vzniku příliš mnoho nevyužitelného tepla a stagnaci. Tato doporučení vedou k významným úsporám energie a financí. Zvolený systém zajistí ekonomicky a energeticky účinný provoz obnovitelných zdrojů energie.

LITERATURA

- [1] ČSN 06 0320. *Tepelné soustavy v budovách - Příprava teplé vody - Navrhování a projektování*. Praha: ÚNMZ, 2006.
- [2] ČSN EN 15316-3. *Energetická náročnost budov - Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy: Část 3: Systémy rozvodů*. Praha: ÚNMZ, 2017.
- [3] TNI 73 0302. *Energetické hodnocení solárních tepelných soustav - Zjednodušený výpočtový postup*. Praha: ÚNMZ, 2014.
- [4] Topenářská příručka. Praha: Agentura ČSTZ, 2007. ISBN 978-80-86028-13-2.
- [5] QUILES P.V., AGUILAR F.J., ALEDO S. Analysis of the Overheating and Stagnation Problems of Solar Thermal Installations. *Energy Procedia*. 2014, 48. ISSN 1876-6102.
- [6] XINYU Z., SHIJUN Y., WEI X., XUEJING Z., TAO H., ZHULIAN H., LEI Z., YU D. Test result analysis of the stagnation effect on the thermal performance of solar collector. *Energy Procedia*. 2012, 30, 824-828. ISSN 1876-6102.
- [7] FERNANDES J.C.S., NUNES A., CARVALHO M.J., DIAMANTINO T.C. Degradation of selective solar absorber surfaces in solar thermal collectors – An EIS study. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. 2017, 160, 149-163. ISSN 0927-0248..
- [8] WANG X.J., JIANG L.J., DU M., HAO L., LIU X.P., YU Q.H. The Degradation of Solar Thermal Absorption Coatings. *Energy Procedia*. 2014, 49, 1747-1755. ISSN 1876-6102.
- [9] Česká národní banka. Praha: ČNB, 2018. Dostupné z: <<http://www.cnb.cz>>.

SEZNAM OZNAČENÍ

Q	teplo, energie	[kWh]
θ	teplota	[°C]
ρ	hustota	[kg.m ⁻³]
c	měrná tepelná kapacita	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]
z	koeficient energetických ztrát	[-]
p	srážky z tepelných zisků solárních kolektorů	[-]
V_{2p}	odběr TV v periodě	[m ³]
G	sluneční ozáření	[W.m ⁻²]
q	měrný tepelný zisk	[kWh.m ⁻² den ⁻¹]
n	počet dní	[dny]
$H_{T,den}$	denní dávka ozáření	[kWh.m ⁻² den ⁻¹]
η_0	optická účinnost	[-]
a_1, a_2	lineární a kvadratický souč. tepelné ztráty	[W.m ⁻² K ⁻¹ ; W.m ⁻² K ⁻²]
n_{sol}	využití slunečního záření	[%]
n_{sk}	využití instalovaného výkonu	[%]
T_d	diskontovaná doba návratnosti	[rok]
α, r	inflace a diskont	[%]
t	životnost	[rok]
IN	investice	[Kč]
CF	cash flow	[Kč]
NPV	čistá současná hodnota projektu	[Kč]
IRR	vnitřní výnosové procento	[%]

This work was supported by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic within the National Sustainability Programme project No. LO1303 (MSMT-7778/2014) and also by the European Regional Development Fund under the project CEBIA-Tech No. CZ.1.05/2.1.00/03.0089 and also by the Internal Grant Agency of Tomas Bata University under the project No. IGA/CebiaTech/2018/001

BATERIOVÁ ULOŽIŠTĚ, HLAVNÍ PRVEK BUDOUCÍCH ELEKTROINSTALACÍ

Leoš Sladký

KOLOSEUM s.r.o

l.sladky@tiscali.cz

ANOTACE

V současné době se poměrně rychle rozvíjí obor malých zdrojů elektrické energie určených pro rodinné domy. Instalací takového „své vlastní malé elektrárny“ sledují obyvatelé těchto domů mimo jiné i nezávislost na distribuční síti i případné úplné odpojení se. Éra prudkého nárůstu FV elektráren, schopných dodávat elektrickou energii pouze při připojení na distribuční síť, je již za svým zenitem. Současný vývoj systémů malých zdrojů se nyní soustřeďuje hlavně na způsoby ukládání elektrické energie do bateriového uložiště. V okamžiku, kdy kapacita bateriového uložiště přesáhne 50 % spotřeby, stává se bateriové uložiště dominantním zdrojem elektrické energie takového rodinného domu a distribuční síť zaujme funkci pouze doplňkovou případně záložní. Tomuto se ovšem musí přizpůsobit i projektování a provádění elektroinstalací takových domů, kde se pak takové bateriové uložiště stává hlavním prvkem. Cílem tohoto příspěvku je jednoduchou formou poukázat na otázky, souvislosti a důsledky, které instalace bateriového uložiště sebou přináší. Všechny ceny uváděné v kalkulacích v tomto příspěvku jsou ceny bez DPH a reprezentují jen cenu komponentů bez práce.

ÚVOD

S nástupem bateriových uložišť se vrací používání stejnosměrného proudu do budoucích elektroinstalací rodinných domů. Pokud se od samého začátku, již na úrovni projektové přípravy, objeví v zadání požadavek zdroje vlastní elektrické energie jako dominantní zdroj elektriny, přestává být ekonomické použití současné komerčně nabízené varianty použitím jednoho velkého střídače kompletně transformovat veškerý stejnosměrný proud bateriových uložišť na proud střídavý. Z hlediska dalšího vývoje decentralizované energetiky vnímám tyto dnes komerčně nabízené systémy pouze jako přechodné řešení pro možnost instalace do stávajících elektroinstalací, které byly určeny pouze pro napájení z distribuční sítě. Tato varianta funguje dobře jen tehdy, pokud distribuční síť zůstane dominantním zdrojem. Znovu je třeba si připomenout, že každý druh proudu (střídavý, stejnosměrný) má svá pro a proti.

Střídavý proud v elektroinstalaci rodinného domu

Pro účely tohoto příspěvku uvažujme, že pouze distribuční síť je zdroj střídavého třífázového proudu. Elektroinstalace napojená na tuto distribuční síť je jednoduchá v tom, že stačí vypnout přívod elektrické energie na hraně pozemku a celý dům je bez elektriny. Další jednoduchost přináší vlastnosti a parametry distribuční sítě. Je ve své podstatě velmi stabilní a dá se říci, že je i „bezdná“ ... vždycky má energie dost i s rezervou. Těchto vlastností a parametrů využívají například ovládací, jističí a ochranné prvky, jako jsou jističe, chrániče, stykače a podobně, pro dosažení dlouhé životnosti a spolehlivosti.

Stejnoseměrný proud v elektroinstalaci rodinného domu

Pro účely tohoto příspěvku uvažujme, že pouze bateriové uložiště je zdrojem stejnosměrného proudu. Neduheť je, že bateriové uložiště nebude tak stabilní zdroj energie, jakým je distribuční síť. Parametry elektrické energie se u něho významně mění podle momentální velikosti uloženého náboje. I plně nabitě uložiště má omezenou kapacitu a omezený

maximální okamžitý výkon. V takovýchto rozvodech jističí a ochranné prvky, jako jsou jističe a chrániče, jsou více namáhány a nemusí dosahovat takové životnosti a spolehlivosti i proto, že stejnosměrný proud se podstatně hůře vypíná. Je třeba mít na paměti, že bateriové uložení je chemický zdroj stejnosměrného proudu, který, za určitých nepříznivých okolností, může představovat příčinu vzniku požáru či exploze a to i odpojený.

JAK TO BYLO NA ZAČÁTKU ? ... EDISON VERSUS TESLA ...

Na počátku byla „Válka o proudy“, kterou svedli dva velikáni: Thomas Alva Edison a Nikola Tesla. Šlo o souboj stejnosměrného a střídavého proudu. Přibližně před 120 lety v tomto souboji vyhrál střídavý proud Nikoly Tesly. Hlavním důvodem bylo to, že střídavý proud bylo možné v té době, díky Teslovým vynálezům, přenášet na velké vzdálenosti. To dalo vzniknout rozsáhlým rozvodným sítím střídavého proudu, které dnes obsáhnou i celé kontinenty. Vznikla energetika postavená na velkých centrálních zdrojích s rozsáhlými rozvodnými distribučními sítěmi, využívající tohoto přirozeného monopolu již celé století.

Zdroje elektrické energie, v podobě bateriových uložení, jsou nyní přímo v místě spotřeby, tudíž odpadá potřeba přenášet jejich energii na velké vzdálenosti. Díky tomu původní důvod, proč střídavý proud před 120 lety vyhrál, už neplatí.

Úvahy o tom, že bude někdy smysluplné přebytky vlastní energie přes distribuční síť sdílet s někým dalším, kdo v danou chvíli bude mít nedostatek, nevnímám já osobně, v případě takto malých zdrojů v jednotlivých rodinných domech, jako ekonomicky obhajitelné. Provozovatel distribuční sítě si vždy vezme provizi za přenos a ta smysluplnost takových úvah v samém počátku podle mého názoru likviduje. Smysluplná mi vychází pouze varianta dimenzovat výkon a kapacitu bateriového uložení tak, aby se veškerá energie spotřebovávala doma a přebytky nevznikaly.

SROVNÁNÍ TECHNOLOGIÍ TRAKČNÍCH BATERIOVÝCH ULOŽENÍ NA BÁZI OLOVA A NA BÁZI LITHIA

Každá technologie má svá pro a proti.

Nebudu zde rozebírat jednotlivé vlastnosti, chemické reakce ani způsob či princip přenosu elektrického náboje. Zaměřím se spíše na ekonomický pohled v souvislostech s provozem a servisem trakčních bateriových uložení obou technologií.

Parametry Bateriového trakčního uložení olověné technologie:		Parametry Bateriového trakčního uložení lithium-iontové technologie:	
Akumulátorová baterie 48 VDC 420 Ah		Akumulátorová baterie 48 VDC 420 Ah	
Kapacita jmenovitá	baterie 20 kWh	Kapacita jmenovitá	baterie 20 kWh
Využitelných 80 %	16 kWh	Využitelných 80 %	16 kWh
Počet cyklů	1500	Počet cyklů	5000
Cena	108 000,- Kč	Cena	210 000,- Kč

Obr. 1 Porovnání trakčních bateriových uložení s kapacitou vhodnou pro pilotní dům OPIDO PÁLAVA.

Porovnáme-li vlastnosti obou trakčních technologií dle údajů výrobců a jejich cenu, dostaneme výsledky jako na Obr. 1.

Na první pohled je velký rozdíl v počtu cyklů. Jde totiž o to, že cykly trakční olověné baterie s hloubkou vybití 80 % při ztrátě kapacity 20 % standardizované technickou normou, stanovuje výrobce při předpokladu provozu bez BMS (battery management systém). Viz použitá literatura [5]. Olověná technologie je takového provozu schopná a v naprosté většině se tak i provozuje.

Naproti tomu Lithiová technologie doslova „vyžaduje“ instalaci BMS, protože jak vybití pod spodní mez, tak přebití nad horní mez, jsou pro články lithiových baterií likvidační a hrozí i spuštění tepelného lavinového jevu, který může způsobit požár nebo explozi článku. Viz použitá literatura [1].

Já osobně jsem poměrně hodně skeptický k údajům výrobců Li-Ion baterií, kteří uvádějí cyklovatelnost v hodnotách nad 3000 cyklů při hloubce vybití 80 % a ztrátě kapacity o 20 %. Neznám zatím technickou normu, která by standardizovanou měřicí metodou prokazovala relevantnost těchto hodnot. Mé vlastní zkušenosti říkají, že pokud bychom provozovali lithiovou baterii jen se základním BMS bez speciálních funkcí a přesného balancování s hloubkou vybití 80 % při ztrátě kapacity o 20 %, lze očekávat počet cyklů také jen kolem 1500 podobně jako u olova. Stejně tak i obráceně, pokud na trakční olověnou baterii připojím sofistikovaný BMS, mé zkušenosti mi potvrzují zvýšení počtu cyklů i na 3000 obdobně, jako lze předpokládat u lithia. Lithiová technologie jednoznačně překonává olovo v účinnosti a v hustotě ukládání energie, ale cyklovatelnost a od ní odvíjená cena proteklé energie, dle mých zkušeností, je dosti diskutabilní.

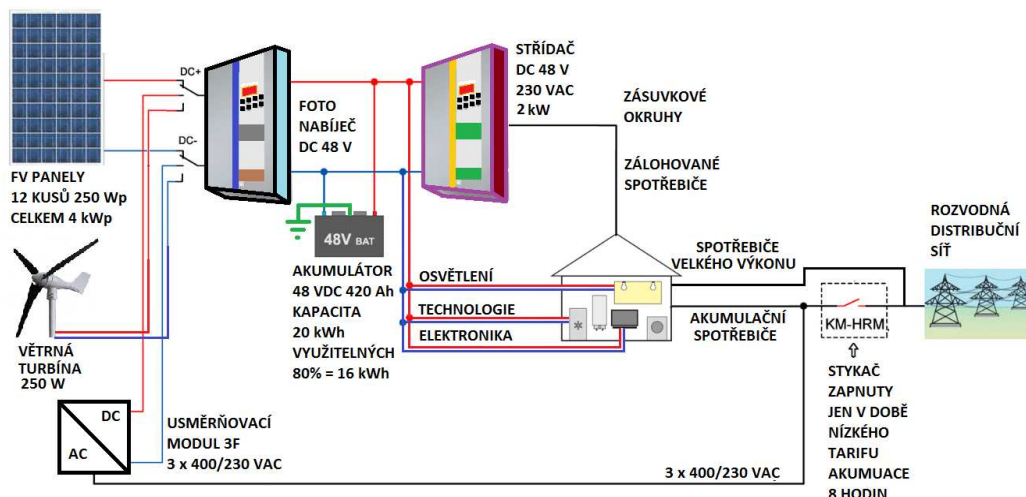
V experimentálním pilotním projektu OPIDO PÁLAVA bude použita varianta regenerované trakční olověné baterie doplněná vhodným sofistikovaným BMS. Takto lze získat, za 35 % ceny nové baterie, baterii s polovinou počtu cyklů nové baterie vybavené systémem BMS.

Tab. 1 Tabulka ukazuje porovnání ceny energie, která proteče (nabije a pak je vybita do spotřebiče) skrz bateriová uložení při hloubce vybití 80 % a ztráty kapacity o 20 %. Pro účely tohoto příspěvku uvažuji pouze cenu samotného bateriového uložení bez ceny MPP regulátoru, nabíječe a práce s instalací.

Popis	Cena jedné kWh [Kč]
Trakční olovo bez BMS 1500 cyklů	4,50
Trakční olovo s BMS 3000 cyklů	2,55
Trakční olovo regenerované s BMS 1500 cyklů	2,05
Li-Ion s dobrým BMS 5000 cyklů	2,60

PRAVIDLA NÁVRHU ELEKTROINSTALACE, JEJÍŽ HLAVNÍM PRVKEM JE BATERIOVÉ ULOŽIŠTĚ

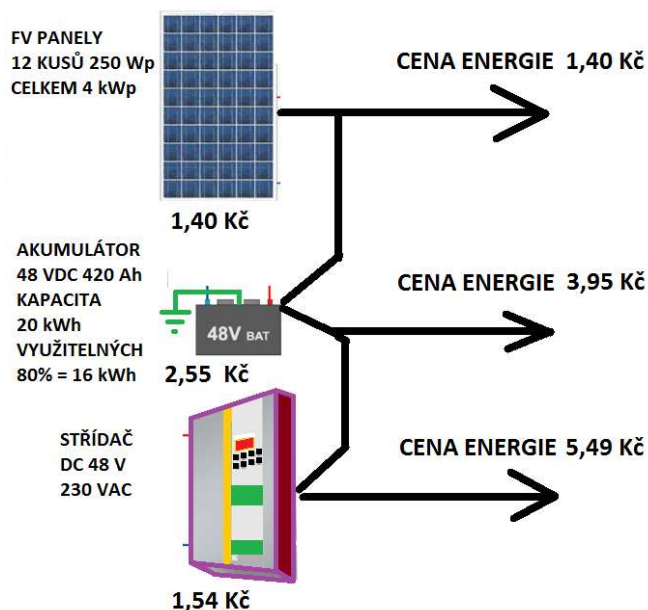
Taková elektroinstalace zjednodušeně řečeno představuje návrh elektroinstalace stejnosměrné a střídavé v jednom, kdy tyto elektroinstalace mají jeden společný vztažný potenciál. Při návrhu lze vycházet například z ČSN EN 50272-2 [2], a ČSN 33 2000-1 edice 2 [4].



Obr. 2 Přehledové schéma zapojení elektroinstalace experimentálního pilotního projektu OPIDO PÁLAVA.

PŘEHLED TVORBY CENY ENERGIE

Pro účely tohoto příspěvku budu dále uvažovat kalkulaci energie proteklé skrz bateriové uložení na hodnotě 2,55 Kč za jednu kWh (tato cena respektuje cenu získané olověné trakční baterie pro zde prezentovaný experimentální pilotní projekt OPIDO PÁLAVA).



Obr. 3 Přehled tvorby ceny elektrické energie podle místa jejího odběru ze systému zdroje, z kterého ji můžeme odebrat a za jakou cenu. Zapojení elektroinstalace experimentálního pilotního projektu OPIDO PÁLAVA umožní tyto odbočky zdroje využívat a díky monitorování a archivaci dat ověřit smysluplnost a ekonomickou rentabilitu takto instalovaného vlastního zdroje. (Pro účely tohoto příspěvku uvažuji do cen energií pouze ceny samotných komponentů bez ceny nabíječů a práce s instalací.)

Uvážíme-li, že v cenách nejsou kalkulovány náklady na MPP regulátor, dobíječ baterie ze sítě, ani náklady na instalaci, pak z uvedeného vyplývá, že v současné době všechny

komerčně nabízené FV elektrárny pro rodinné domy, umožňující navíc odebírat pouze jen ten nejdražší střídavý elektrický proud za střídačem, nemají žádnou ekonomickou návratnost ani při započítání poskytované státní dotace.

Teprve provoz experimentálního pilotního projektu OPIDO PÁLAVA našemu týmu ukáže a dá odpovědi na otázku, kolik spotřeby bude možné přesunout na nejlevnější stejnosměrný proud přímo z FV panelů, kolik spotřeby bude možné přesunout na stejnosměrný proud přímo z bateriového uložení, a kolik spotřeby bude nutné převádět střídačem na nejdražší střídavý proud.

Již dnes spousta spotřebičů převádí střídavý proud distribuční sítě na stejnosměrný o napětí stejném, jako může poskytovat bateriové uložení přímo. Například systémy LED osvětlení používají 24 VDC snad už jako standard. Různá oběhová čerpadla technologií se vyrábějí již dnes i ve verzi pro 24 VDC. Naprostá většina spotřební elektroniky je schopna fungovat přímo na stejnosměrný proud.

Pokud bude v budoucnu napětí bateriového uložení pro rodinné domy standardizované například na +/- 110 VDC , pak i spotřebiče jako jsou pračky a sušičky a obecně i jiné pohony, které tak jako tak již dnes stejně pro napájení svých motorů používají frekvenční měniče, budou moci používat tento stejnosměrný proud rovněž přímo. U spotřebičů větších výkonů a vyššího stejnosměrného napětí se pochopitelně bude muset řešit otázka náročnějšího vypínání stejnosměrného proudu, než je tomu v případě proudu střídavého.

PRAKTICKÁ REALIZACE ELEKTROINSTALACE, JEJÍŽ HLAVNÍM PRVKEM JE BATERIOVÉ ULOŽENÍ

Firma KOLOSEUM s.r.o Plavecká 400/12; 128 00 Praha 2 se rozhodla postavit experimentální pilotní rodinný dům v obci Klentnice u Mikulova. Tento pilotní projekt získal název OPIDO PÁLAVA. Součástí tohoto projektu je i v tomto příspěvku zmiňovaná elektroinstalace, kde dominantním zdrojem elektrické energie je bateriové uložení.



Obr. 4 Studie experimentálního pilotního projektu OPIDO PÁLAVA.



Obr. 5 Rozestavěnost z léta roku 2017 experimentálního pilotního projektu OPIDO PÁLAVA.

POPIS VŠECH TECHNOLOGIÍ V EXPERIMENTÁLNÍM PILOTNÍM PROJEKTU OPIDO PÁLAVA.

Elektroinstalace je předmětem tohoto příspěvku. Pro celkový obraz je ale nutné zmínit i ostatní technologie a vybavenost tohoto experimentálního pilotního projektu, protože řídicí systém všechny ostatní technologie ovládá, monitoruje a měří toky všech energií. Bateriové uložení bude napájené primárně FV panely a sekundárně v době nízkého tarifu 8 hodin z nejlevnější akumulční sazby, elektrickou energií z distribuční sítě. V tomto projektu bude použita regenerovaná trakční olověná baterie.

Stavební část

Stavba je materiálovým protikladem dnešních moderních staveb. Žádné plasty ani frézované stavební systémy. Hlavní myšlenka použitých materiálů směřovala k dosažení co nejpřirozenějšího vnitřního klimatu daného právě použitím výhradně přírodních materiálů

- Hlavní materiál nosných stěn je pálená plná cihla.
- Obvodové stěny jsou sendvičové.
- Materiál nenosných vnitřních příček je nepálená plná cihla.
- Hlavním izolačním materiálem je konopí a odvětrávaná vzduchová mezera.
- Okna a dveře jsou dřevěné.
- Všechny vnitřní omítky jsou hliněné nebo ponecháno režné zdivo.
- Dlažby jsou z kamene.
- Stropy a podlahy jsou dřevěné.



Obr. 6 Interier OPIDO – CELULA Vierky a Jiřího Zvoníčkových je použit jako vzor i pro experimentální stavbu OPIDO PÁLAVA.

Vytápění

Vytápění tohoto experimentálního pilotního domu je navrženo se čtyřmi zdroji tepla. Hlavní zdroj je interiérový kotel Verner 13/10,2 . Druhým zdrojem jsou solární termické panely o celkové ploše 13,9 m². Doplnkové příležitostné zdroje tepla pouze pro přitápění jsou lokální topidla na tuhá paliva a jako poslední záloha jsou v akumulční nádrži topné vody umístěna elektrická topná tělesa.

Otopná soustava zahrnuje akumulční nádrž 1,5 m³ a je navržena tak, aby fungovala i za situace úplného výpadku elektrické energie v domě i mimo něj. Na klíčových místech v soustavě jsou navrženy samotížné okruhy vytápění bránící „uvaření“ kotle.

Voda

Rozvody vody a kanalizace byly vytvářeny s myšlenkou, že dům nebude závislý na přípojkách inženýrských sítí, tedy veřejném vodovodu a kanalizačním řádu. Jedná se o experimentální instalaci, kde je klient detailně obeznámen s celým projektem. Dům by v maximální možné míře měl hospodařit s vodou sám o sobě, bez provozních zásahů uživatele. Hlavním zdrojem vody pro dům jsou atmosférické srážky, které dopadají na jeho střechy a jsou jímány do akumulční nádrže na dešťovou vodu. Protože srážkové úhrny v místě, v kombinaci s rozlohou odvodňovaných ploch, nemusí stačit k pokrytí veškeré spotřeby vody, je v domě jako záloha nyní uvažováno použití vody ze studny případně z vrtu. Pouze pro splnění požadavků současné legislativy je instalována i vodovodní přípojka a rozvody pitné vody.

Kanalizace

Bude instalována kořenová čistička odpadních vod.

Závěrečný přehled

Tab. 2 Základní parametry pilotního domu OPIDO PÁLAVA v číslech.

Název	Hodnota
Tepelná ztráta domu	13 kW
Akumulace TUV	0,3 m ³
Akumulace TOP	1,2 m ³
Akumulace dešťové vody	8,0 m ³
Plocha sběru dešťové vody	458 m ²
Plocha termických panelů pro ohřev TOP a TV	13,9 m ²
Výkon FV panelů	3,8 kWp
Kapacita trakčního bateriového uložení jmenovitá	20 kWh
Kapacita trakčního bateriového uložení využitelná	16 kWh
Spotřeba el. Energie původní, změřená za rok 2016	4179 kWh
Výroba el. Energie z FV panelů, změřená za rok 2016	2592 kWh

ZÁVĚR

Bateriové uložení jako zdroj elektrické energie v rodinném domě znamená v první řadě to, že odpovědnost za provoz zdroje energie, který může i ničit, zakládat požár či způsobit explozi, se stěhuje z centrální elektrárny na majitele či provozovatele bateriového uložení.

Pokud má mít provoz bateriového uložení, co by dominantního zdroje elektřiny v rodinném domě, ekonomický smysl, je třeba tomu přizpůsobit už od základu elektroinstalaci, skladbu spotřebičů a komponentů ostatních technologií co nejvíce orientovat na stejnosměrný proud o napětí bateriového uložení a minimalizovat tak potřebu jakékoli konverze.

Je třeba mít stále na zřeteli, že chování elektroinstalace napájené energií z „tvrdé“ distribuční sítě je výrazně jiné, než chování elektroinstalace napájené energií z „měkkého“ bateriového uložení s podstatně horší stabilitou parametrů.

I v případě vlastního dominantního zdroje elektrické energie v rodinném domě, který pokryje většinu vlastní spotřeby elektrické energie, bude i nadále ekonomicky výhodné být připojen k distribuční síti. Levné akumulační tarify bude stále vhodné využívat. Tento přístup, při vhodné tarifní politice, prospěje i samotné distribuční síti.

V návrzích a projektech budoucích rodinných domů, které mají obsahovat dominující vlastní zdroj elektrické energie, bude nutné uvažovat o samostatných speciálně k tomu vybavených místnostech, co by malých elektrárnách, podobně jako stavíme pro automobily garáže nebo pro vytápění kotelny. Současná praxe umísťování bateriových uložení všude možně i do obytných částí domu, je pro budoucí rodinné domy, zejména z hlediska bezpečnosti, neudržitelná.

Ačkoli legislativa a technické normy standardizují jak střídavé, tak i stejnosměrné sítě, výrobci komponentů pro domovní instalace nabízejí a vyrábějí zatím komponenty (zásuvky, vypínače) pouze pro sítě střídavé. Jelikož se stejnosměrný proud hůře vypíná, bude nutné používat pro stejnosměrné sítě komponenty toto respektující.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 62619 *Akumulátorové články a baterie obsahující alkalické nebo jiné nekyselé elektrolyty- Bezpečnostní požadavky pro akumulátorové lithiové články a baterie pro použití v průmyslových aplikacích.* Listopad 2017
- [2] ČSN EN 50272-2 *Bezpečnostní požadavky pro akumulátorové baterie a akumulátorové instalace – Část 2: Staniční baterie.* Únor 2002
- [3] ČSN EN 61427-1 *Akumulátorové články a baterie pro akumulaci obnovitelné energie – Obecné požadavky a metody zkoušek – Část 1: Fotovoltaické aplikace bez připojení k rozvodné síti.* Leden 2014
- [4] ČSN 33 2000-1ed.2 *Elektrické instalace nízkého napětí – Část 1: Základní hlediska, stanovení základních charakteristik, definice* Květen 2009
- [5] ČSN EN 60254-1ed.2 *Olověné trakční baterie – Část 1: Všeobecné požadavky a metody zkoušek.* Leden 2006

BUDOUCNOST TEPELNÝCH ČERPADEL V EVROPĚ A ČR

Tomáš Straka

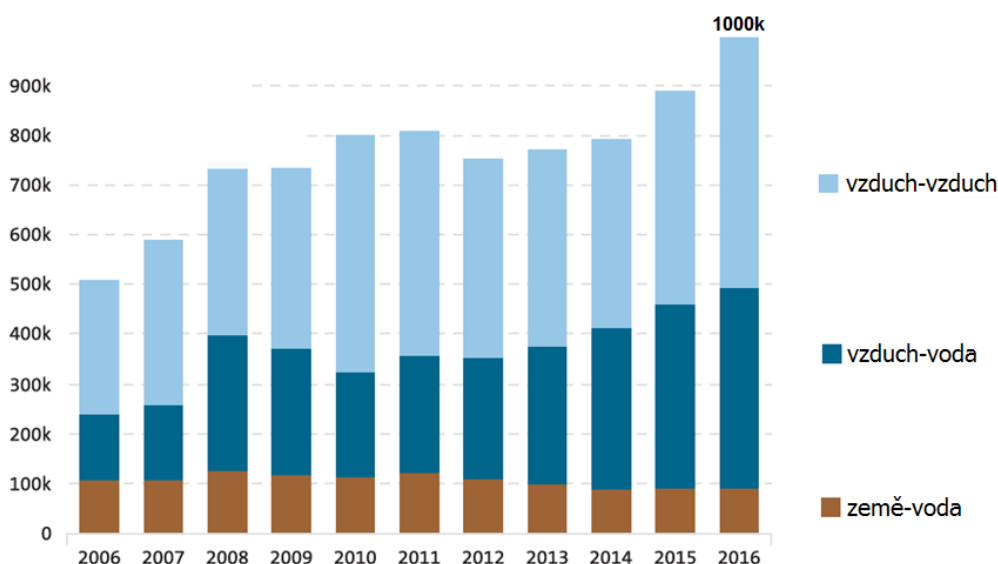
Asociace pro využití tepelných čerpadel, z.s.
straka@avtc.cz

ANOTACE

Tepelná čerpadla (TČ) přecházejí do nové fáze pohledu společnosti. Už to nejsou jakési drahé technologie pro nadšence nebo pro bohaté, ale běžné zařízení pro vytápění a ohřev vody, spojené s případnou akumulací do vody, do základů budovy nebo zemského masivu. V blízké budoucnosti se ještě více rozvinou technologie, které se již používají, jako je využití odpadního tepla (větrání, odpadní vody, technologické procesy), energetická nezávislost - nulové budovy, integrace tepelných čerpadel do staveb, decentralních zdroje tepla pro sídliště s využitím tepelných čerpadel apod.

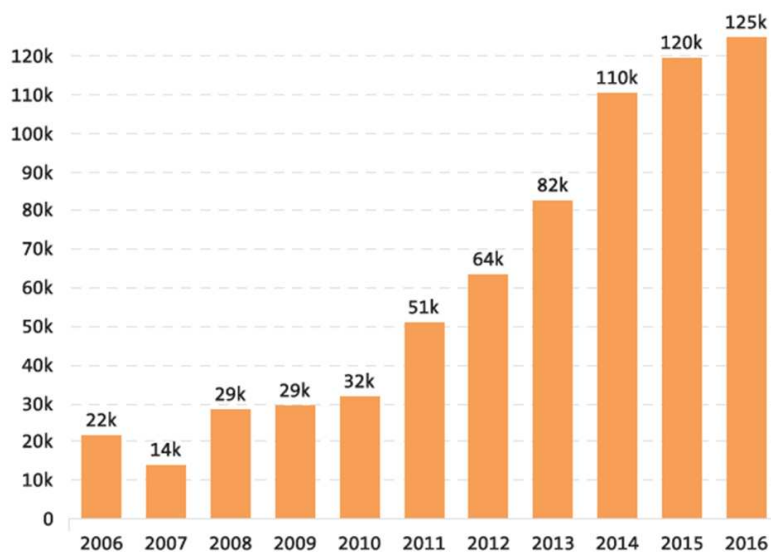
PŘEHLED VÝVOJE INSTALACÍ TČ V EVROPĚ

Ve svém příspěvku čerpám ze statistik [1] vydávaných Evropskou asociací tepelných čerpadel, jejíž součástí je také naše Asociace pro využití tepelných čerpadel. V grafu na Obr. 1 je znázorněn vývoj počtu instalací s rozdělením podle jednotlivých systémů. Po krátkém zaváhání kolem krize se segment tepelných čerpadel dále rozvíjí. Poslední 4 roky roste evropský trh s tepelnými čerpadly každoročně o 15 %. Již v roce 2016 se přiblížil hranici 1 miliónu ročně nainstalovaných čerpadel a 6. prosince minulého roku Evropská asociace oslavila překročení miliónu instalací ročně, a pak zejména dosažení 10 miliónu nainstalovaných tepelných čerpadel v Evropě. Jistě, jednalo se o propagační akci, ale i ta ukazuje, jak se obor úspěšně rozvíjí. Na grafu je dále vidět současný příklon k tepelným čerpadlům se zdrojem tepla ze vzduchu. Graf na Obr. 3 ukazuje rozdělení instalací mezi jednotlivé státy.

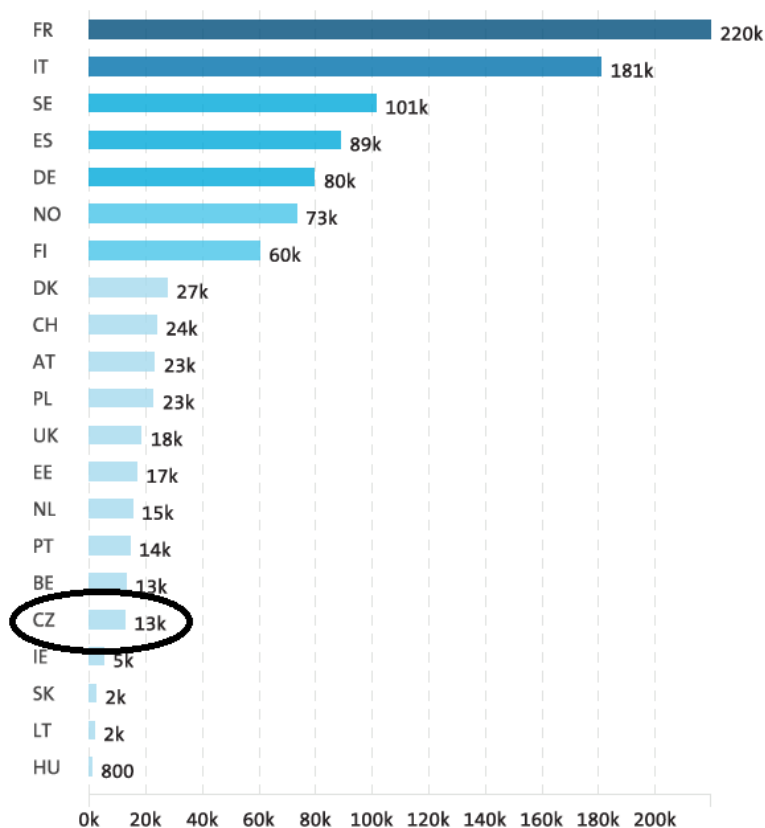


Obr. 1 Vývoj počtu instalací TČ v Evropě [1]

V grafu na Obr. 2 je vývoj počtu instalací tepelných čerpadel pro ohřev vody, tedy jednotek, které jsou v posledních letech populární i u nás.



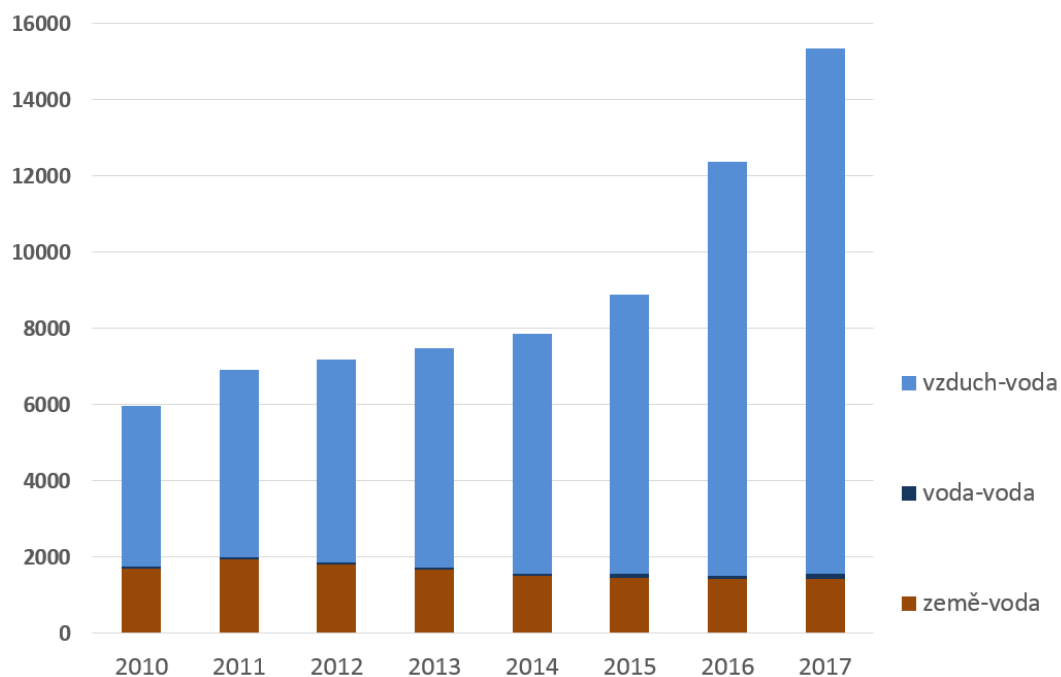
Obr. 2 TČ pro ohřev vody - vývoj počtu instalací v Evropě



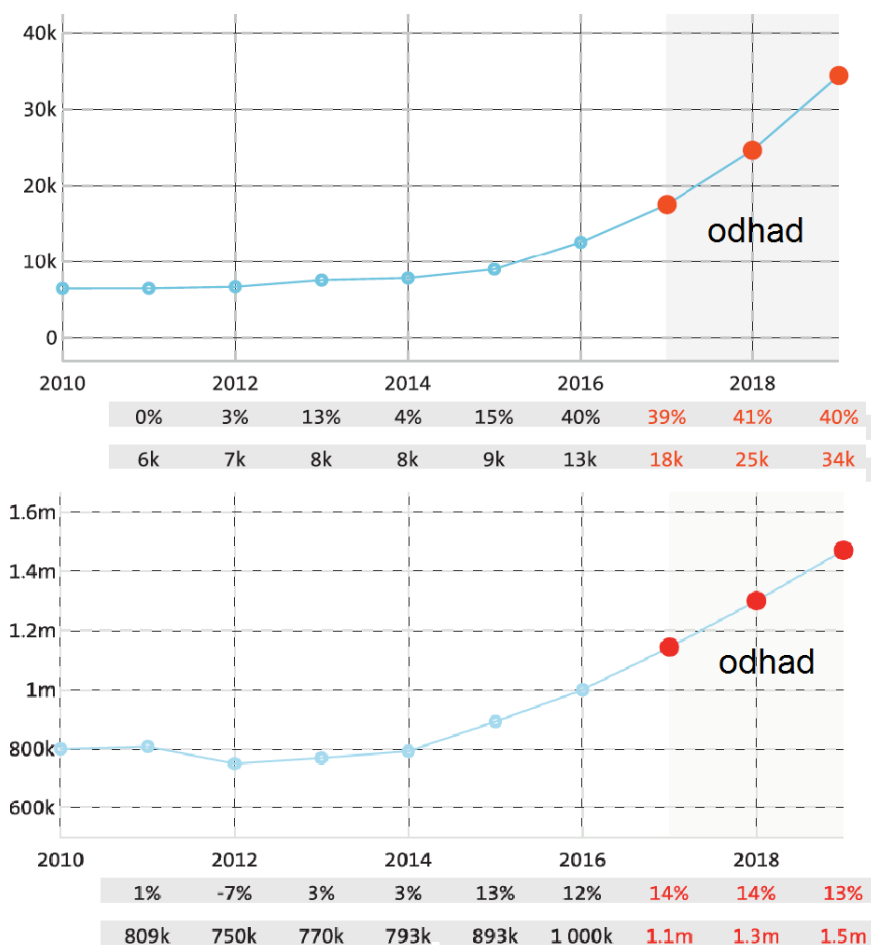
Obr. 3 TČ instalovaná v roce 2016 – státy Evropy

VÝVOJ INSTALACÍ TČ V ČR

Podle statistiky Ministerstva průmyslu a obchodu [2] bylo v roce 2016 nainstalováno necelých 13 tis. tepelných čerpadel a v loňském roce necelých 16 tis. jednotek, viz Obr. 4. Meziročně došlo k celkovému nárůstu prodaných tepelných čerpadel o 24 %, z čehož tepelná čerpadla vzduch-voda tvořila asi 88 % celého trhu s nárůstem prodeje o 27 %. Prodej tepelných čerpadel země-voda stagnuje. V současné době je v České republice v provozu přes 80 tis. tepelných čerpadel.



Obr. 4 Vývoj počtu instalací v ČR [2]



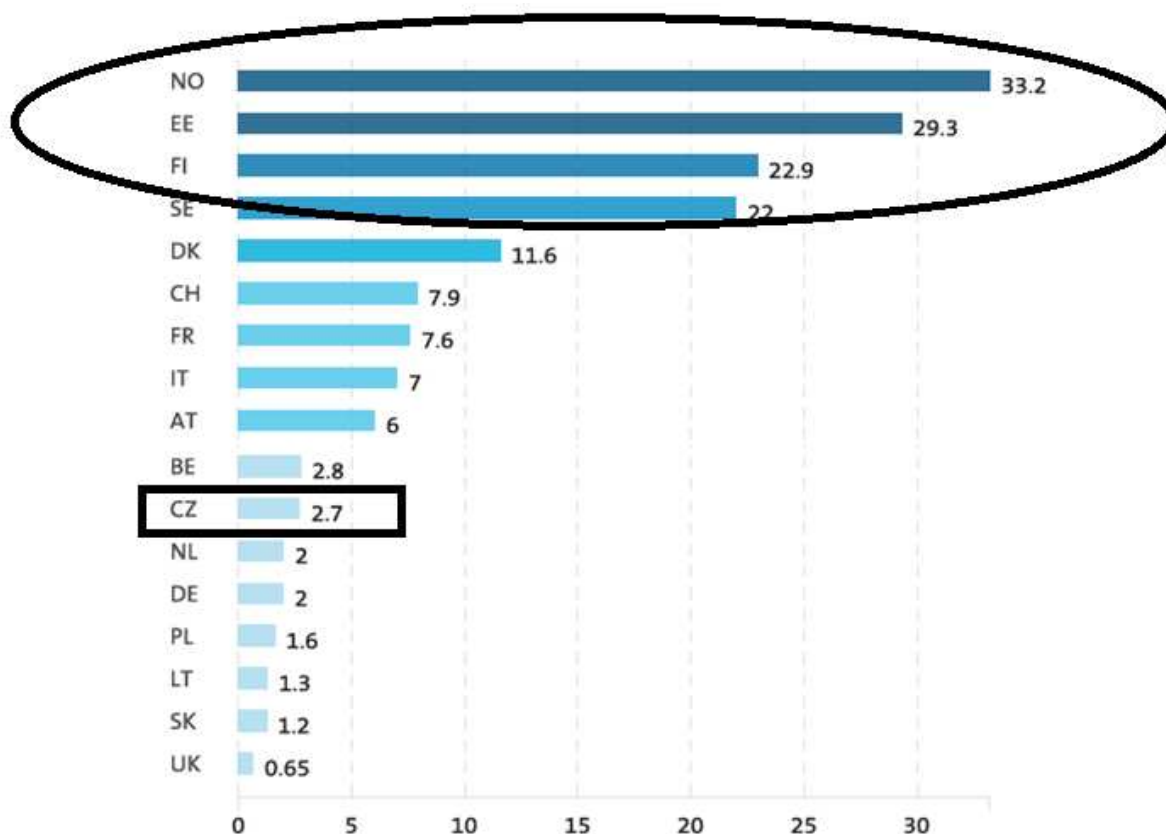
Obr. 5 Odhad vývoje instalací v ČR a v Evropě (dole)

PROGNÓZA VÝVOJE

Odhad vývoje trhu s tepelnými čerpadly vychází z posouzení budoucího vývoje cen energií, vývoje stavebnictví a ekonomického růstu v jednotlivých zemích. Pro tyto podmínky Evropská asociace vytvořila předpokládané průběhy prodeje v příštích letech, znázorněné na Obr. 5.

Ve skandinávských zemích „budoucnost už nastala“, poučme se u nich.

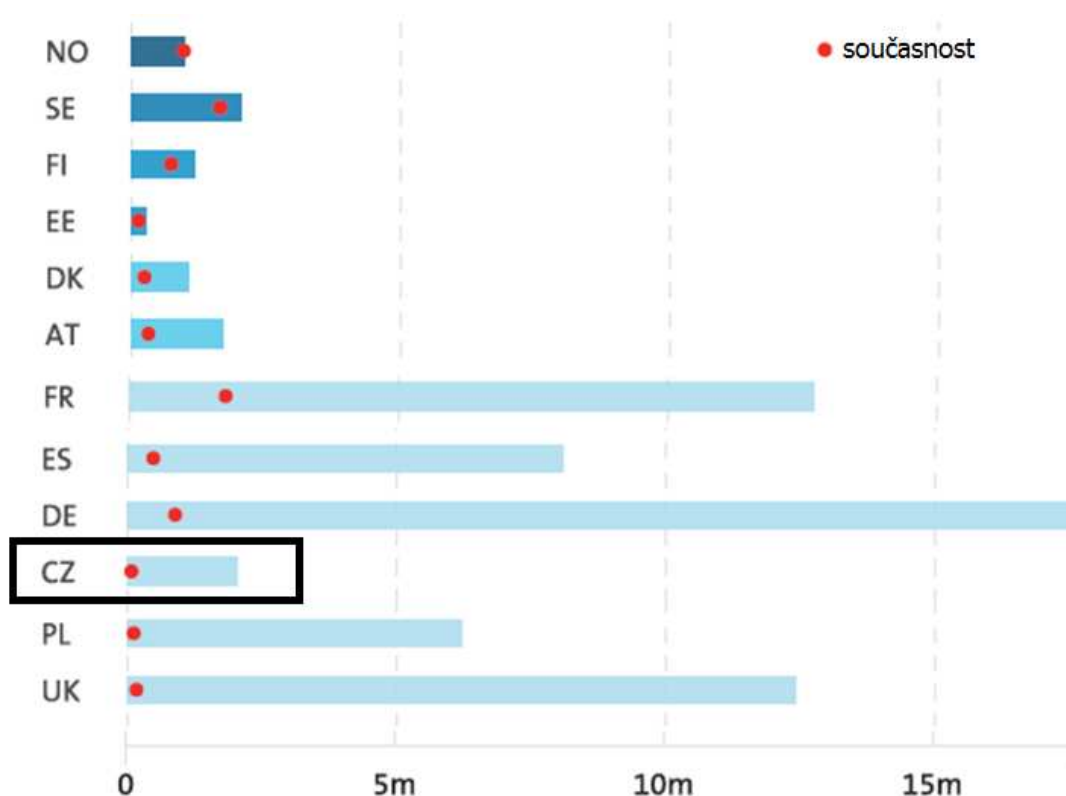
Ve skandinávských zemích se každoročně instaluje kolem 30 tepelných čerpadel na 1000 domácností, u nás je to jen desetina této hodnoty (viz Obr. 6). Celkově je například v Norsku nainstalováno skoro 440 jednotek na 1000 domácností, tedy 44% domácností má TČ. Proč je v zemích se studenými a dlouhými zimami technologie tepelných čerpadel tak populární? Možná proto, že potomci Vikingů byli vždy chytří.



Obr. 6 Počet prodaných TČ v roce 2016 na 1 000 domácností ve státech Evropy

Potenciál vývoje trhu s TČ

Odborníci v Evropské asociaci provedli takový malý myšlenkový experiment a aplikovali situaci právě v Norsku na jednotlivé státy Evropy. Jak by to vypadalo, kdyby byla celá Evropa jako Norsko - neboli jaký je, i když teoretický, potenciál pro obor tepelných čerpadel. Výsledek je na následujícím grafu. Vzdálenost tečky od konce sloupečku ukazuje, jak daleko je ten který stát od jeho potenciálu (vodorovný sloupeček). Z grafu je patrné, že počet instalací by se v České republice mohl zdesetinásobit.



Obr. 7 Potenciál rozvoje TČ

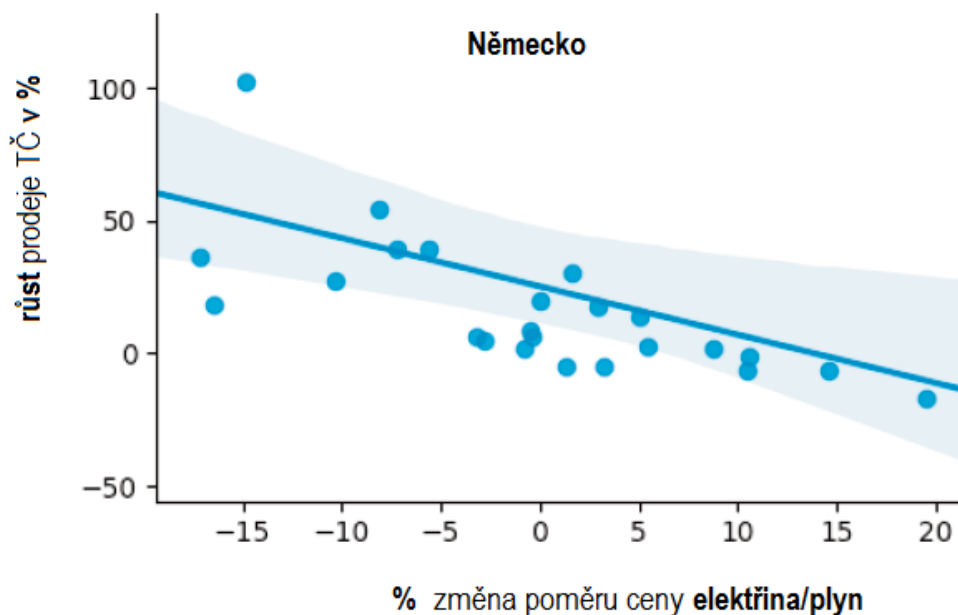
Z této úvahy je vidět obrovský potenciál ve velkých evropských zemích tj. v Německu, Francii, Španělsku a Velké Británii. Rychlé nasazení tepelných čerpadel na těchto vyspělých trzích by vedlo k poměrně revolučním změnám s nečekanými výhodami v oboru zaměstnanosti a přínosy pro životní prostředí.

Tab. 1 Potenciál rozvoje tepelných čerpadel v Evropě – možné dopady

	rok 2016	POTENCIÁL
Počet instalací ročně	1 mil.	6,8 mil.
Počet TČ celkem	9,5 mil.	89,9 mil.
Vyrobena obnovitelná energie	106 TWh	1 001 TWh
Snížení emisí CO ₂	27 Mt	257 Mt
Ušetřená energie	135 TWh	1 277 TWh
Počet pracovních míst	54 098	512 634

Vliv cen energií

Výše uvedené úvahy předpokládají poměrně optimistický vývoj dalších ukazatelů. Jedním z nich jsou i ceny energií na trhu a jejich poměr. Na Obr.8 je uvedena závislost předpokládaného růstu prodeje na změně poměru cen elektřiny a zemního plynu v Německu. Zemní plyn je jak v Německu tak u nás relativně levný a zpomaluje rozvoj oboru tepelných čerpadel. Jeho cena v budoucnosti je proto důležitá a z grafu si můžeme vytvořit představu o jejím vlivu.



Obr. 8 Růst trhu TČ v závislosti na ceně energií – příklad Německa

PŘEKÁŽKY V ROZVOJI TEPELNÝCH ČERPADEL V ČESKÉ REPUBLICE

V České republice je stále hlavním zdrojem vytápění rodinných a bytových domů plynové kotle a kotle na pevná paliva.

Úřady

Rozvoj tepelných čerpadel brzdí špatná práce stavebních úřadů. Stavební úřady mají v některých regionech zprísněné požadavky na doložení úrovně hluku u tepelných čerpadel systému vzduch-voda a někde je získání stavebního povolení k zahájení vrtů pro zemní tepelná čerpadla složitý proces.

Chladiva

Nepříjemností je také důsledek snižování množství skleníkových plynů omezováním či zákazem použití některých chladiv.

Dotace

Další překážkou většího rozšíření tepelných čerpadel je nastavení systému státní podpory. Program „Nová zelená úsporám“ zaměřený na stavbu nových domů čisté energetice příliš nepomáhá. Podporuje spíše zateplování a k instalacím obnovitelných zdrojů tepla motivuje výrazně méně. Podání žádostí není jednoduché a žadatelé často naráží na administrativní překážky při žádosti o státní podporu. Významným zdrojem podpory TČ tak zůstává jen takzvaná kotlíková dotace, která je určená pro domácnosti, které stále ještě používají kotle na pevná paliva.

Propagace

K horší pozici tepelných čerpadel v rámci obnovitelných zdrojů přispívá i menší propagace těchto zdrojů. Například v porovnání se spalováním biomasy nebo větrnými elektrárnami je o tepelných čerpadlech daleko méně slyšet.

Vzdělávání

V mnohých zahraničních firmách se technici dozví jen základní pokyny k instalaci zařízení bez toho, aby hlouběji porozuměli problematice tepelných čerpadel.

Všechny tyto překážky se snažíme v naší Asociaci pro využití tepelných čerpadel odstraňovat a přispívat k dalšímu rozvoji oboru.

BUDOUCNOST

V současné době lze sledovat velký rozvoj hybridních tepelných čerpadel, tedy zařízení kombinující elektricky poháněné TČ s dalším zdrojem energie. Roste prodej malých jednotek specializovaných na přípravu teplé vody. Obecně se provedení tepelných čerpadel přizpůsobuje snižování tepelné ztráty v budovách rozšířením nabídky k menším výkonům. Trendem je integrování všech funkcí potřebných pro dům, tedy vytápění, ohřev vody, chlazení a větrání, při zachování minimálních rozměrů zařízení. Výhodná je kombinace tepelného čerpadla s fotovoltaickou elektrárnou na střeše budovy.

V budoucnosti bude pokračovat zlepšování parametrů tepelných čerpadel. Jistě se rozšíří využití odpadního tepla (větrání, odpadní vody, technologické procesy). Obecně se bude snižovat energetická závislost budov, tzv. „nulové domy“. Zásobování teplem bude stále více doplňováno tepelnými čerpadly a vzniknou decentrální zdroje tepla pro sídliště s využitím tepelných čerpadel.

LITERATURA

- [1] EHPA *European Heat Pump Market and Statistics Report 2017*, EHPA, Brussels, Belgium, 2018.
- [2] MPO, *Statistika prodeje tepelných čerpadel za rok 2017*, Oddělení analýz a datové podpory koncepcí MPO, Praha, květen 2018.

TESTOVÁNÍ VZDUCHOVÝCH KOLEKTORŮ

Bořivoj Šourek¹, Viacheslav Shemelin²

¹ Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze

² Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT v Praze
borivoj.sourek@cvut.cz

ÚVOD

V současné době existuje na tuzemském a zahraničním trhu velké množství solárních vzduchových kolektorů a dodavatelé ke každému z nich musí uvádět technické parametry. Na rozdíl od kapalinových kolektorů však dlouhou dobu v Evropě neexistovala standardizovaná metoda zkoušení vzduchových kolektorů. V roce 2014, v rámci přechodu ze zkušební normy ČSN EN 12975-2 [1] na ČSN EN ISO 9806 [2], došlo k zavedení metod zkoušení i pro vzduchové kolektory. Experimentální zkoušení je spolehlivý způsob, jak získat reálný pohled na funkci daného kolektoru, tzn. jeho účinnost či tepelný výkon, s definovanou nejistotou závislou na metodice měření, použitých čidlech a způsobu zpracování naměřených dat.

Pro komplexní popis chování solárního kolektoru je nutné znát obecně čtyři parametry:

- tepelná účinnost nebo tepelný výkon (určuje, jak kolektor pohlcuje záření a ztrácí teplo);
- účinná tepelná kapacita (určuje tepelnou setrvačnost kolektoru);
- časová konstanta (určuje vliv tepelné kapacity kolektoru);
- modifikátor úhlu dopadu (určuje vliv úhlu dopadu slunečního záření).

Pro technické a inženýrské výpočty v projekci je nutné znát především charakteristiku účinnosti, resp. tepelného výkonu kolektoru.

ÚČINNOST VZDUCHOVÉHO SOLÁRNÍHO KOLEKTORU

Solární vzduchové kolektory lze obecně rozdělit podle řady hledisek [3]. Pro účely zkoušení a vyhodnocení výkonu vzduchových kolektorů je základním rozdílem druh kolektorového okruhu. Rozlišují se kolektory uzavřené, u kterých vzduch proudí v uzavřeném vzduchovém okruhu a otevřené, kdy se do kolektoru nasává venkovní vzduch z okolí kolektoru.

Pro posouzení energetické efektivity kolektoru a pro výpočty tepelných přínosů se experimentálně vyhodnocuje a používá charakteristika účinnosti. Účinnost solárního kolektoru η je za ustálených podmínek měření obecně definována jako poměr užitečného tepelného výkonu odváděného teplonosnou látkou z kolektoru $\dot{Q}_u$ [W] k "solárnímu příkonu", tzn. součinu slunečního ozáření G [W/m²] a hrubé plochy kolektoru A_G [m²] podle vztahu

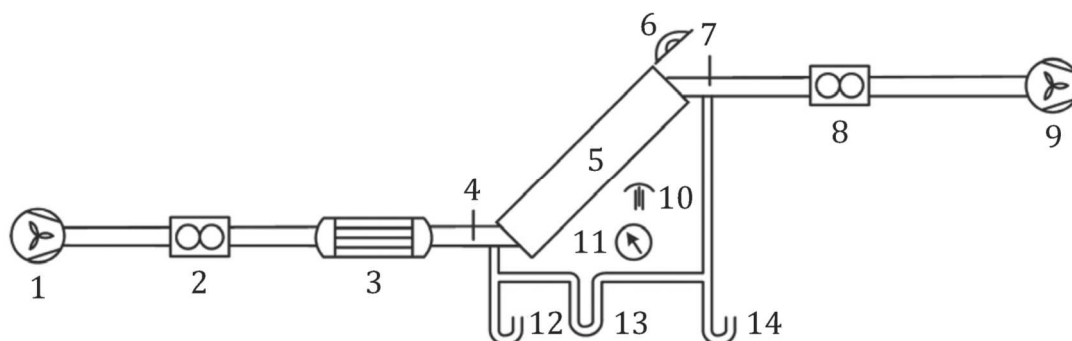
$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{A_G G} \quad (1)$$

S ohledem na odlišnost použití uzavřených a otevřených vzduchových kolektorů jsou postupy zkoušek i jejich vyhodnocení odlišné.

Uzavřené vzduchové kolektory

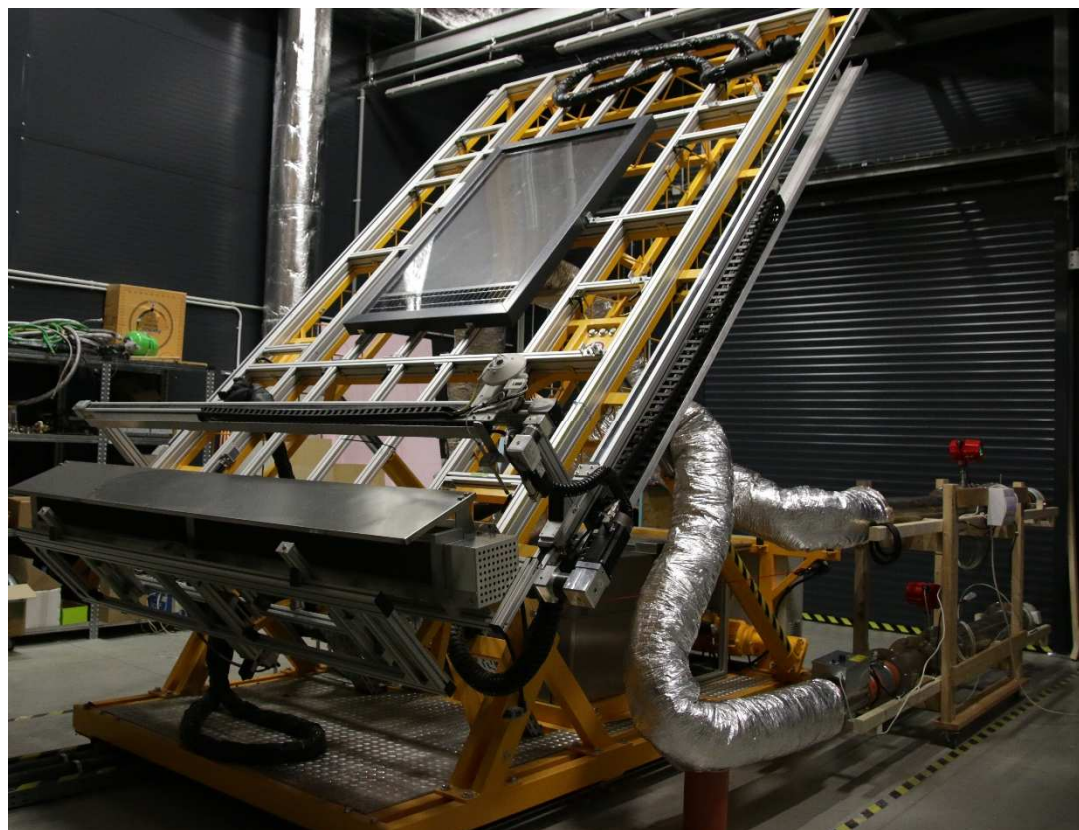
Při zkoušení výkonu uzavřených vzduchových kolektorů se solární kolektory vystaví účinkům slunečního záření a měří se vstupní teplota t_{in} a výstupní teplota t_e teplonosné látky spolu s jejím hmotnostním průtokem $\dot{m}$. Dále jsou měřeny veličiny: sluneční ozáření G v rovině kolektoru, venkovní teplota t_a a rychlost vzduchu u proudícího v okolí kolektoru. Měření se provádí za ustáleného stavu, za jasného počasí (přímé sluneční záření) při přibližně kolmém dopadu

paprsků na kolektor. Do kolektoru se během zkoušky nasává vzduch o konstantní teplotě a konstantním průtoku. Příklad schématu zkušebního okruhu je uveden na obr. 1.



Obr. 1 Příklad zkušebního okruhu pro zkoušení uzavřených solárních kolektorů [2]

Kromě solárního kolektoru (5) jsou součástí měřicího okruhu také ventilátor (1, 9) a ohřívač vzduchu (3), kterým se nastavuje teplota na vstupu do kolektoru. Veličiny potřebné pro vyhodnocení účinnosti jsou měřeny čidly s definovanou nejistotou: globální sluneční ozáření – pyranometr (6), teplota teplotnosné látky – čidla teploty (4, 7), průtok teplotnosné látky – průtokoměry (2, 8), tlak teplotnosné látky (vzduch) – manometry (12, 14), teplota venkovního vzduchu – čidlo teploty (10), tlak okolního vzduchu – barometr (11), rozměr kolektoru – měřítko. Na Obr. 2 je zobrazena zkušební trať pro solární vzduchové kolektory s umělým slunečním zářením (Solární laboratoř v UCEEB, ČVUT v Praze).



Obr. 2 Zkušební trať pro solární vzduchové kolektory

Na základě naměřených hodnot lze stanovit užitečný tepelný výkon kolektoru z bilance

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_e c_e t_e - \dot{m}_{in} c_{in} t_{in} - (\dot{m}_e - \dot{m}_{in}) c_a t_a \quad (2)$$

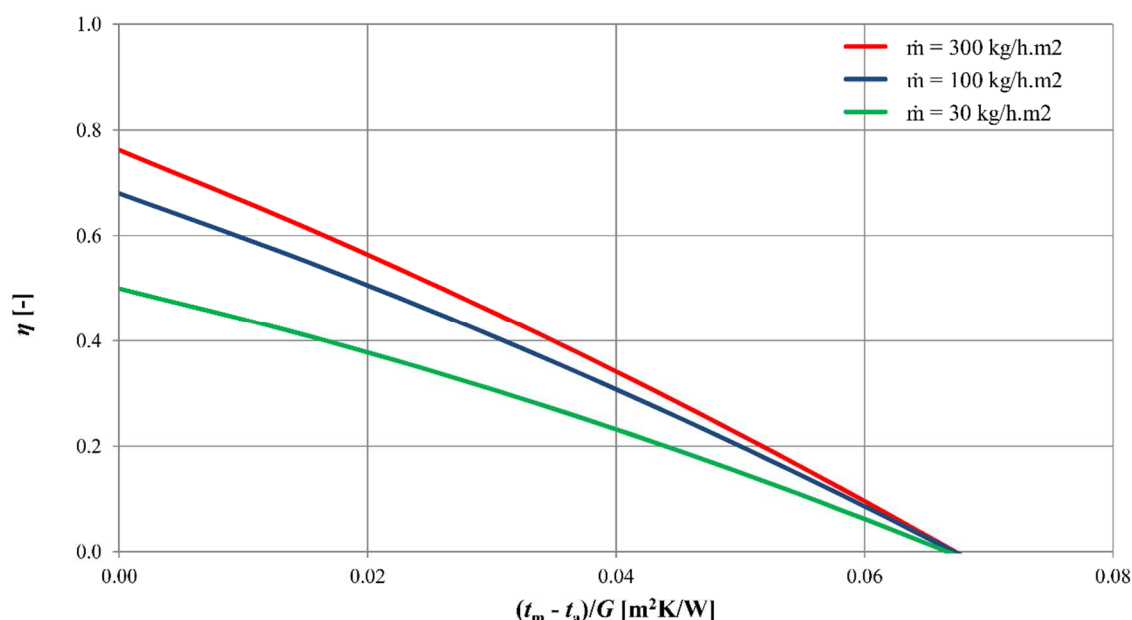
kde je

$\dot{m}_e$	hmotnostní průtok vzduchu na výstupu z kolektoru [kg/s];
c_e	tepelná kapacita vzduchu na výstupu z kolektoru [J/kg.K];
t_e	teplota vzduchu na výstupu z kolektoru [°C];
$\dot{m}_{in}$	hmotnostní průtok vzduchu na vstupu do kolektoru [kg/s];
c_{in}	tepelná kapacita vzduchu na vstupu do kolektoru [J/kg.K];
t_{in}	teplota vzduchu na vstupu do kolektoru [°C];
c_a	tepelná kapacita okolního vzduchu [J/kg.K];
t_a	teplota okolního vzduchu [°C].

Okamžitou účinnost vzduchového kolektoru lze vyjádřit pomocí rovnic (1) a (2), přičemž účinnost je vztažena k hrubé ploše kolektoru

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{A_G G} = \frac{\dot{m}_e c_e t_e - \dot{m}_{in} c_{in} t_{in} - (\dot{m}_e - \dot{m}_{in}) c_a t_a}{A_G G} \quad (3)$$

Okamžitá účinnost se graficky znázorňuje jako funkce redukovaného teplotního rozdílu $(t_m - t_a)/G$. Účinnost vzduchového kolektoru, na rozdíl od běžného kapalinového kolektoru, je významně závislá na průtoku teplotnosné látky kolektorem a proto se stanovuje při různých průtocích. Pokud výrobce určuje pracovní rozsah průtoku vzduchu, vzduchový kolektor se zkouší při maximálním, minimálním a středním průtoku vzduchu. V případě, že výrobce neuvádí rozsah pracovního průtoku, zkouška se provádí pro 3 hodnoty průtoku rovnoměrně rozložené mezi 30 až 300 kg.h⁻¹.m⁻² hrubé plochy kolektoru. Zkoušení probíhá v rozsahu teplot vzduchu na vstupu do kolektoru od teploty okolí t_a do maximálního teplotního rozdílu při zkoušce +30 K s krokem 10 K. Výsledkem zkoušky jsou 3 křivky účinnosti vzduchového kolektoru získané pro jednotlivé průtoky (viz Obr. 3).



Obr. 3 Křivky účinnosti vzduchového kolektoru získané pro různé průtoky

Z hodnot účinnosti stanovených z měření v závislosti na redukovaném rozdílu teplot se získá metodou nejmenších čtverců křivka okamžité účinnosti ve tvaru polynomu 2. řádu

$$\eta(\dot{m}) = \eta_0(\dot{m}) - a_1(\dot{m}) \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right) - a_2(\dot{m}) \left(\frac{t_m - t_a}{G} \right)^2 \quad (4)$$

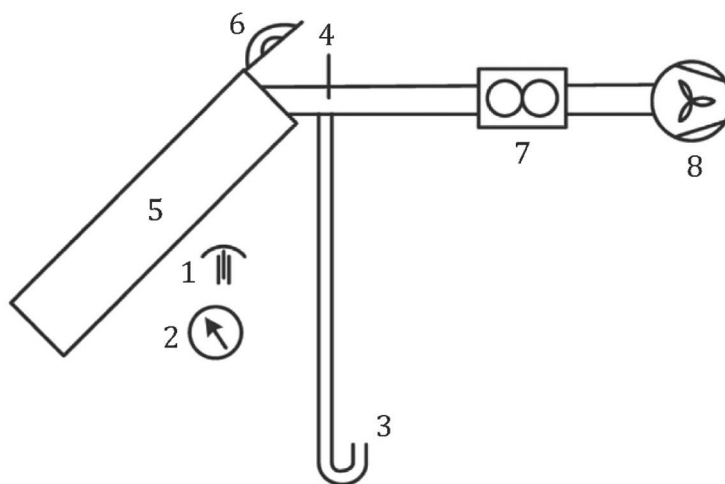
kde je

- η_0 účinnost solárního kolektoru při nulových tepelných ztrátách, tzv. optická účinnost kolektoru [-];
 a_1 lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [W/m²K];
 a_2 kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru [W/m²K²].

Součinitele křivky účinnosti η_0 , a_1 a a_2 definují křivku účinnosti solárního kolektoru v celém rozsahu provozních podmínek. V protokolu o zkoušce musí být uvedena křivka a tedy i její součinitele pro každý hmotnostní průtok. Křivka účinnosti slouží pro porovnání kvality dvou obdobných konstrukcí kolektoru z hlediska tepelných a částečně optických vlastností. Dodavatel, který nedokáže křivku účinnosti prokázat protokolem ze zkoušky v akreditované laboratoři, vlastně zákazníkovi nemůže podat zaručenou informaci o tepelném výkonu solárního kolektoru a jeho energetické kvalitě.

Otevřené vzduchové kolektory

V případě zkoušení solárních vzduchových kolektorů otevřených do venkovního prostředí, tzn. kolektorů nasávajících vždy okolní venkovní vzduch, se používá odlišný okruh pro zkoušení kolektorů a liší se i způsob vyhodnocení účinnosti kolektorů. Při zkoušce se podobně měří výstupní teplota t_e teplotonosné látky spolu s měřením jejího hmotnostního průtoku $\dot{m}$, sluneční ozáření G v rovině kolektoru, venkovní teplota t_a a rychlost proudění vzduchu u v okolí kolektoru. Schéma zkušebního zařízení s uzavřeným okruhem se však liší a je uvedeno na Obr. 4. Podobně jako u uzavřených kolektorů se měří za ustáleného stavu, za jasného počasí (přímé sluneční záření) při přibližně kolmém dopadu paprsků na kolektor. Do kolektoru by se měl nasávat okolní vzduch o přibližně konstantní teplotě.



Obr. 4 Příklad zkušebního okruhu pro testování otevřených solárních kolektorů [2]

Základními částmi okruhu jsou vzduchový solární kolektor (5), ventilátor (8), pyranometr (6), čidlo teploty teplotonosné látky (4), průtokoměr (7), manometr (3), čidlo teploty okolního vzduchu (1), barometr (2). Přičemž v případě otevřených kolektorů se měří hmotnostní průtok vzduchu pouze na výstupu z kolektoru. Teplota teplotonosné látky na vstupu do kolektoru je teplota okolního vzduchu.

Vlastní stanovení tepelného výkonu a účinnosti zkoušeného kolektoru z naměřených hodnot vyplývá ze základních fyzikálních vztahů. Na základě měření hmotnostního průtoku teplotonosné

látky a teploty na výstupu z kolektoru t_e v ustáleném stavu se stanoví tepelný výkon kolektoru podle vztahu

$$\dot{Q}_u = \dot{m}_e c_e (t_e - t_a) \quad (5)$$

Okamžitou účinnost vzduchového kolektoru otevřeného do venkovního prostředí lze potom vyjádřit pomocí vztahů (1) a (5):

$$\eta = \frac{\dot{Q}_u}{A_G G} = \frac{\dot{m}_e c_e (t_e - t_a)}{A_G G} \quad (6)$$

Stejně jako u uzavřených vzduchových kolektorů se účinnost stanovuje při 3 různých průtocích: maximálním, minimálním a středním. Ale na rozdíl od zkoušení uzavřených kolektorů, kde se mění teplota vzduchu na vstupu do kolektoru, u otevřených kolektorů je vždy nasáván venkovní vzduch ($t_{in} = t_a$), takže matematické vyjádření účinnosti jako funkce redukovaného teplotního rozdílu není vhodné.

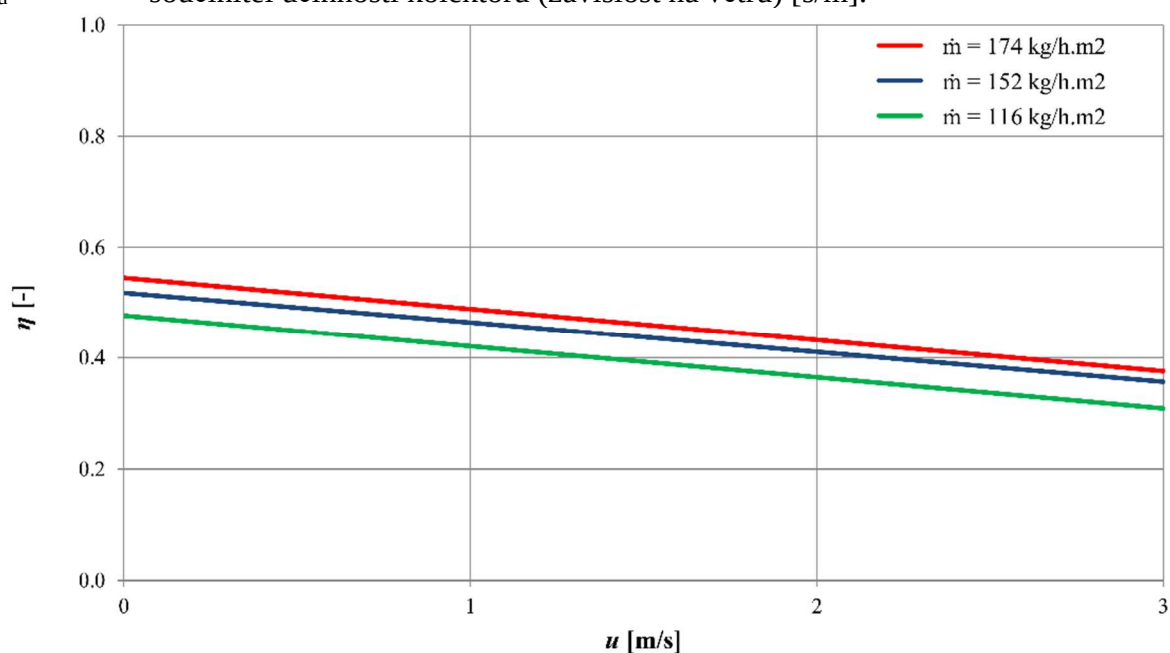
U otevřených kolektorů se však účinnost zobrazuje jako funkce rychlosti větru. Kvůli tomu se kolektor zkouší při rychlosti větru $u = 0$ m/s (nebo nejnižší rychlost při zkoušce), 1,5 m/s a 3 m/s. Z hodnot účinnosti stanovených z měření v závislosti na rychlosti větru se získá přímka účinnosti kolektoru ve tvaru lineární funkce:

$$\eta(\dot{m}) = \eta_0(\dot{m}) - b_u(\dot{m})u \quad (7)$$

kde je

η_0 maximální účinnost kolektoru (při rychlosti větru 0 m/s) [-];

b_u součinitel účinnosti kolektoru (závislost na větru) [s/m].



Obr. 5 Účinnost otevřeného vzduchového kolektoru jako funkce rychlosti větru

Součinitele η_0 a b_u definují přímku účinnosti solárního kolektoru. V protokolu o zkoušce musí být přímka účinnosti a tedy i součinitele η_0 a b_u uvedeny pro každý hmotnostní průtok vzduchu.

DALŠÍ PARAMETRY VZDUCHOVÝCH KOLEKTORŮ

Tepelná setrvačnost vzduchového solárního kolektoru

Tepelná setrvačnost solárního kolektoru ovlivňuje jeho okamžitý výkon při proměnlivých podmínkách. Solární kolektor může být uvažován jako soubor prvků o různé hmotnosti, z nichž každý má rozdílnou teplotu. Je-li kolektor v provozu, každá jeho součást reaguje rozdílně na změnu provozních podmínek. Je však možné uvažovat tzv. účinnou tepelnou kapacitu pro kolektor jako celek.

Účinná tepelná kapacita obecně není konstantní hodnotou. Její hodnota závisí na součinitelích přestupu tepla mezi jednotlivými komponenty kolektoru, a tudíž na provozních podmínkách.

Časová konstanta se stanovuje experimentálně, za ustálených podmínek s konstantní vstupní teplotou teplonosné látky t_{in} blízkou teplotě okolí t_a . Průtok kolektoru musí být zvolen minimální z použitých při zkoušce účinnosti. Solární kolektor je náhle zastíněn od dopadajícího slunečního záření a je sledován pokles výstupní teploty jako funkce času nebo naopak stíněný kolektor v ustáleném stavu je náhle vystaven slunečnímu záření a sledován je nárůst výstupní teploty na novou ustálenou hodnotu. Časová konstanta kolektoru τ_c je potom čas, při kterém je dosaženo rovnosti

$$\frac{t_e(\tau=\tau_c)-t_{in}}{t_e(\tau=0)-t_{in}} = \frac{C}{A} = \frac{1}{e} = 0,368 \quad \text{při chladnutí kolektoru} \quad (8)$$

případně

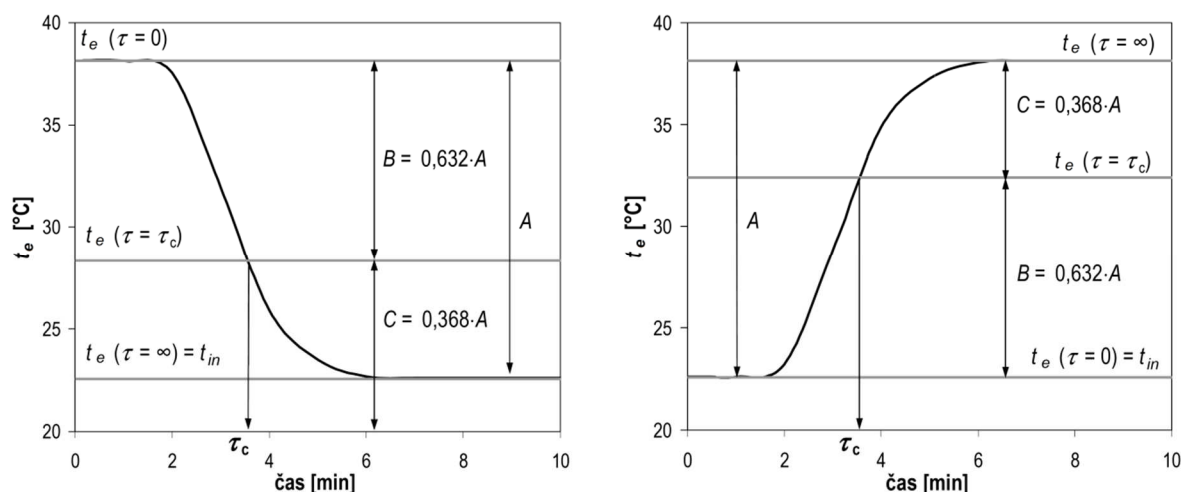
$$\frac{t_e(\tau=\tau_c)-t_{in}}{t_e(\tau=\infty)-t_{in}} = \frac{B}{A} = 1 - \frac{1}{e} = 0,632 \quad \text{při ohřívání kolektoru} \quad (9)$$

kde je

$t_e(\tau=0)$ teplota na výstupu z kolektoru v době začátku zkoušky (zakrytí nebo odkrytí kolektoru [$^{\circ}\text{C}$];

$t_e(\tau=\tau_c)$ teplota na výstupu z kolektoru v čase τ_c [$^{\circ}\text{C}$];

$t_e(\tau=\infty)$ nová ustálená teplota na výstupu z kolektoru [$^{\circ}\text{C}$].



Obr. 6 Stanovení časové konstanty při chladnutí (vlevo) a ohřívání (vpravo) kolektoru

MODIFIKÁTOR ÚHLU DOPADU

Křivky účinnosti vycházejí z výsledků zkoušky chování solárního kolektoru v ustáleném stavu za definovaných podmínek: jasný den s výraznou přímou složkou slunečního záření a kolmý úhel dopadu slunečního záření na rovinu kolektoru. Takové podmínky však v běžném provozu

solárního kolektoru nejsou časté, úhel dopadu slunečních paprsků na kolektory je obecně různý vlivem proměnlivé geometrie slunečního záření během dne a roku a podíl přímého záření je proměnlivý a závislý na oblačnosti. Křivka účinnosti, resp. výkonu solárního kolektoru pro komplexní charakterizaci jeho celoroční výkonnosti (schopnosti produkovat tepelný zisk) proto nestačí. Vzhledem k tomu, že propustnost slunečního záření zasklením kolektoru τ i pohltivost α absorpčního povrchu jsou optické vlastnosti závislé na úhlu dopadu slunečního záření, je nutné doplnit křivku účinnosti závislostí, vyjadřující změnu optické účinnosti kolektoru η_0 s úhlem dopadu přímého (směrově závislého) slunečního záření oproti kolmému dopadu. Takovou závislostí je křivka modifikátoru úhlu dopadu K_θ , vhodněji nazývaná jako optická charakteristika kolektoru. Modifikátor úhlu dopadu je definován jako poměr

$$K_\theta = \frac{\eta_0(\theta)}{\eta_0(0^\circ)} \quad (10)$$

kde je

$\eta_0(\theta)$ optická účinnost při obecném úhlu dopadu θ [-];
 $\eta_0(0^\circ)$ optická účinnost při kolmém úhlu dopadu ($\theta = 0^\circ$) [-].

Experimentální stanovení K_θ se provádí buď v solárním simulátoru s kolimovaným (rovnoběžným) svazkem paprsků slunečního záření (velmi obtížné) nebo ve venkovním prostředí, v obou případech s použitím pohyblivého zkušebního stojanu s možností orientace solárního kolektoru vůči slunci. Kolektor je natáčen podle požadovaného úhlu dopadu. V obou případech se používá jeden ze třech použitých průtoků při zkoušce účinnosti. Střední teplota vzduchu je regulována v nejužším možném rozsahu (alespoň ± 1 K) vzhledem k teplotě okolního vzduchu, neboť potom stanovená tepelná účinnost kolektoru je rovna optické účinnosti.

Pro běžný plochý vzduchový kolektor s plochým absorberem, tzv. osově symetrický kolektor, postačuje stanovení modifikátoru pro jediný úhel dopadu 50° , neboť jeho optickou charakteristiku lze predikovat podle vztahu

$$K_\theta = 1 - b_0 \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \quad (11)$$

a při znalosti hodnoty modifikátoru $K_\theta(0^\circ) = 1$ (platí vždy) a stanovené hodnoty $K_\theta(50^\circ)$ lze stanovit konstantu (směrnici přímkové charakteristiky) b_0

$$b_0 = \frac{1 - K_{50^\circ}}{\frac{1}{\cos 50^\circ} - 1} \quad (12)$$

OSTATNÍ ZKOUŠKY SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ UVÁDĚNÉ NORMOU

Norma ČSN EN ISO 9806 dále předepisuje zkoušky spolehlivosti vzduchových solárních kolektorů, jmenovitě zkoušku na těsnost u uzavřených kolektorů, zkoušku na prasknutí kolektoru, odolnosti vysokým teplotám společně s určením klidové teploty, zkoušku vystavení vlivům prostředí, zkoušku vnějšího a vnitřního tepelného rázu, průniku deště (pouze pro zasklené vzduchové kolektory), mechanického zatížení a odolnosti proti nárazu (nepovinná).

ZÁVĚR

Zavedení společné mezinárodní normy pro zkoušení vzduchových solárních kolektorů je základním předpokladem pro rozvoj trhu vzduchových kolektorů, protože umožňuje

certifikovat jednotlivé výrobky a porovnat jejich energetickou kvalitu. Kromě toho zavedení jednotného postupu zkoušení a hodnocení vlastností vzduchových kolektorů dává možnost i charakterizovat zlepšování parametrů vzduchových kolektorů v rámci jejich výzkumu a vývoje.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 12975-2 Tepelné solární soustavy a součásti – Solární kolektory – Část 2: Zkušební metody. ČNI, 2006.
- [2] ČSN EN ISO 9806. Solární energie - Solární tepelné kolektory – Zkušební metody, ÚNMZ, 2014.
- [3] SHEMELIN V., MATUŠKA T. Vzduchové solární kolektory. *Energie 21*, 2016, roč. IX, č. 4, s. 24-26. ISSN 1803-0394.

Tento příspěvek vznikl za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č. LO1605 - Univerzitní centrum energeticky efektivních budov – Fáze udržitelnosti a projektu SGS16/212/OHK2/3T/12 - Modelování, řízení a navrhování zařízení techniky prostředí.

GEOTERMÁLNÝ ENERGETICKÝ SYSTÉM PRE ZÁSOBOVANIE TEPLOM V MESTE VEĽKÝ MEDER

Ján Takács, Soňa Gažíková, István Derzsi

¹Slovenská Technická Univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, katedra TZB
Radlinského 11, 810 05 Bratislava
jan.takacs@stuba.sk, sonka.gazikova@gmail.com, xderzsii@stuba.sk,

ANOTACE

Na území Slovenska je zrealizovaných cca 170 geotermálnych vrtov s teplotou geotermálnej vody (GTV) na hlave vrtu od $\theta_0 = 15,7$ do $126,0$ °C. Väčšina oblastí s výskytom GTV má teplotu GTV vhodnú na zabezpečenie vykurovania a prípravu teplej vody pre byty, občiansku vybavenosť, poľnohospodárstvo resp. priemyselných priestorov ako aj pre rekreačné účely v areáloch termálnych kúpalísk.

V príspevku chceme poukázať na príkladné riešenie problematiky rekonštrukcie zdroja tepla pre obytný súbor na báze geotermálnej energie, pričom vychladená odpadová GTV sa využije následne pre vykurovanie polikliniky a ďalej čiastočne vychladená GTV sa využije pre termálne kúpalisko, kde sú plnené bazény riedenou GTV.

ÚVOD

Pri riešení zásobovania teplom obytného okrsku boli použité moderné prvky: špičkové zdroje tepla na zemný plyn, ktoré sú taktiež využívané ako záložný zdroj tepla, dva rozoberateľné doskové výmenníky tepla pre vykurovanie a dva výmenníky tepla pre prípravu TV a ochladená GTV sa využije pre potreby termálneho kúpaliska. Prepojenie zdroja tepla a kúpaliska je riešené pomocou predizolovaných potrubí s minimálnymi tepelnými stratami. Príkladným riešením prispejeme k plneniu záväzkov smernice EU 31/2010 o energetickej hospodárnosti v časti využívania obnoviteľných zdrojov energie a znižovaniu tvorby skleníkových plynov a zvýšeniu energetickej účinnosti.

Sledovaný otvorený geotermálny energetický systém vo Veľkom Mederi je príkladom ako sa má optimálne účinne riešiť zásobovanie teplom obytného okrsku s využitím geotermálnej energie s následným využitím pre termálne kúpalisko, pričom zálohový zdroj tepla tvorí teplovodná plynová kotolňa spaľujúca zemný plyn.

Zdroj geotermálnej energie

V meste Veľký Meder bol v roku 2015 realizovaný geotermálny vrt VM-1, priamo na nádvorí pôvodného zdroja tepla teplovodnej Kotolne Stred. Tento zdroj vybudovaný v 70-tych rokoch minulého storočia už nevyhovoval súčasným požiadavkám a potrebám, a preto sa uskutočnila jeho rekonštrukcia s tým, že dominantné postavenie dostal obnoviteľný zdroj tepla – geotermálny vrt VM-1 s energetickými parametrami, ktoré sú zobrazené v Tab. 1, pričom mineralizácia GTV je 3 600 mg/l. Hlava vrtu je zobrazená na Obr. 1.

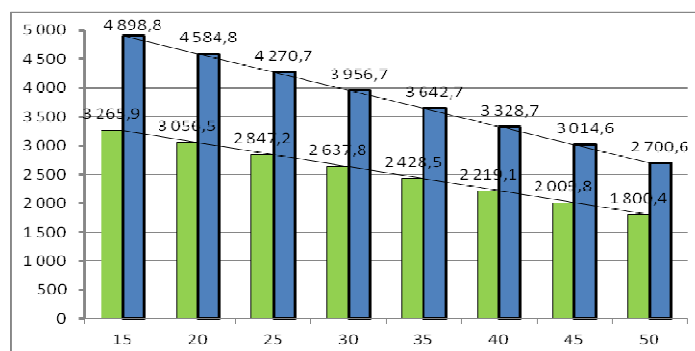
Predpokladané vychladenie GTV je uvádzané v dvoch rovinách. Z energetického hľadiska je to teplota vychladenia + 15 °C, čo sa pokladá za teplotu nulovej exergie. Z hľadiska ochrany okolitého životného prostredia ochranári vyžadujú vychladenie GTV na teplotu 25 °C. Skutočné vychladenie GTV (od 15 do 50 °C) je však rôzne a získaný tepelný výkon v kW je zobrazený na Obr. 2. Prvý stĺpec platí pre GTV voľným prelivom a druhý pre ťažbu GTV čerpaním.

Tab. 1 Energetické parametre geotermálneho vrtu VM-1

Lokalita	Označenie vrtu	Hĺbka vrtu (m)	Výdatnosť		Teplota GTV na hlave vrtu (°C)	Teplota vychladenia GTV (°C)	Využitelný energetický potenciál (kW)
			Voľným prelivom (l/s)	Čerpaním (l/s)			
Veľký Meder	VM-1	2 450	10	-	93	25	2 847,2
Veľký Meder	VM-1	2 450	-	15	93	25	4 270,7
Veľký Meder	VM-1	2 450	10	-	93	40	2 219,1
Veľký Meder	VM-1	2 450	-	15	93	40	3 328,7



Obr. 1 Hlava geotermálneho vrtu VM-1 vo Veľkom Mederi

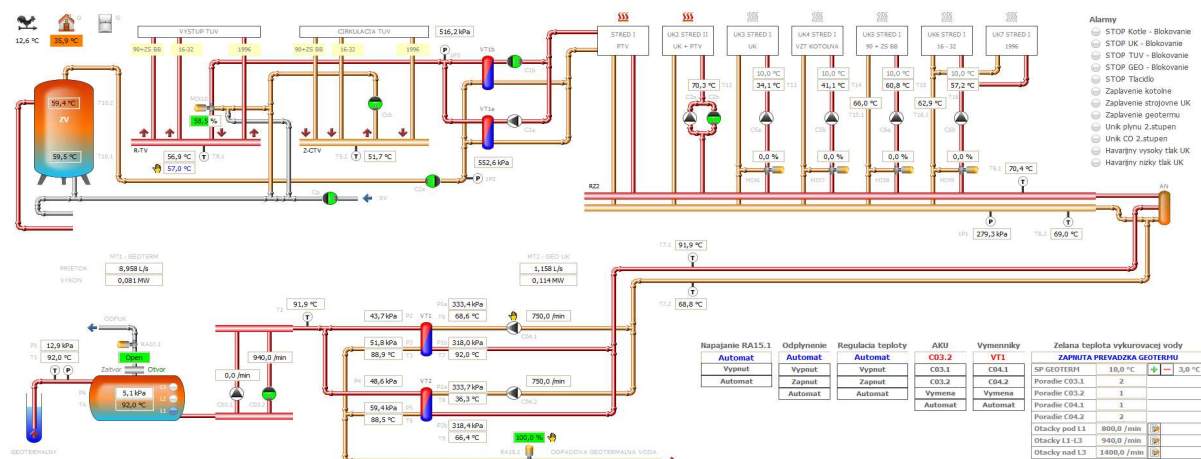


Obr. 2 Využitelný energetický potenciál v závislosti od vychladenia GTV

Technické riešenie

Geotermálna voda z vrtu je zo začiatku voľným prelivom a vlastným tlakom dopravovaná do akumulácie a odplynovacej nádrže s objemom 10 m³, v ktorej sa následne odplyní a ďalej je dopravovaná do dvoch doskových výmenníkov tepla G-MART s tepelným výkonom 1 549 kW. Vo výmenníkoch tepla VT1 a VT2 GTV odovzdáva svoju energiu teplonosnej látke – vykurovacej vode, ktorá zásobuje rozdeľovač a zberač, z ktorého sú napojené jednotlivé odberné miesta podľa Obr. 3.

Sekundárna teplonosná látka vystupuje z výmenníkov tepla VT1 a VT2 a zabezpečuje teplom rozdeľovač a zberač, z ktorého sú napojené jednotlivé odberné miesta, 1 600 bytov, materská škôlka, základná škola, detský domov, kultúrne stredisko, poliklinika. Predohrev teplej vody sa uskutočňuje v dvoch doskových výmenníkoch tepla VT1a a VT1b, podľa Obr. 4 s tepelným výkonom 400 kW a potom sa akumuluje v stojatej akumulácii nádrže s objemom 4000 litrov. Z nej je zásobované sídlisko teplou vodou. Ležatá odplynovacia a akumulácia nádrža umiestnená v najnižšom podlaží je zobrazená na Obr. 4. Pohľad na výmenníky tepla VT1 a VT2 je zobrazený na Obr. 5.



Obr. 3 Dráha GTV od vrtu až ku výmenníkom tepla VT1 a VT2 a do odberných miest



Obr. 4 Ležatá odplyňovacia a akumulčná nádrž s objemom 10 m³



Obr. 5 Pohľad na doskové výmenníky tepla VT1 a VT2 v popredí obehové čerpadlá

GTV po ochladení v doskových výmenníkoch tepla VT1 a VT2 vystupuje na poschodie do doskových výmenníkov tepla VT1a a VT1b, ktoré slúžia na predohrev teplej vody a takto ochladená GTV sa vedie potrubným rozvodom do areálu termálneho kúpaliska, pričom pred vstupom do areálu kúpaliska sa potrubie rozvetvuje a je na neho napájané potrubie, ktoré zásobuje teplom blízku polikliniku. V termálnom kúpalisku je GTV využitá v dvoch bazénových hospodárstvach.

Koncepcia návrhu zdroja tepla

Zdrojom tepla pre obytný okrsok je teplovodná kotolňa na zemný plyn umiestnená v dvojpodlažnom objekte. Jej úlohou je zabezpečiť potrebu tepla pre vykurovanie a prípravu teplej vody. Pôvodný zdroj teda aj vykurovacie sústavy boli dimenzované na teplotný spád 90/70 °C. Praktické skúsenosti však potvrdzujú že po stavebných úpravách na zabezpečenie potreby tepla postačujú aj nižšie teplotné spády s teplotou prírodnej vody do vykurovacieho systému na úrovni 70 až 75 °C.

V kotolni po rekonštrukcii sú inštalované 3 teplovodné skriňové kotle na zemný plyn s tlakovým horákom a tepelným výkonom 1 000 kW a dva moderné skriňové kotle na zemný plyn s s tlakovým horákom a tepelným výkonom 1 600 kW. Pohľad na kotle je zobrazený na Obr. 6.



Obr. 6 Pohľad do zrekonštruovanej teplovodnej kotolne na zemný plyn

Okrem toho posledné dva kotle s tepelným výkonom 1600 kW sú opatrené spalinovými výmenníkmi tepla, ktoré zvýšia stupeň využitia týchto kotlov. Pohľad na samotný objekt kotolne resp. energocentra je zobrazený na Obr. 7



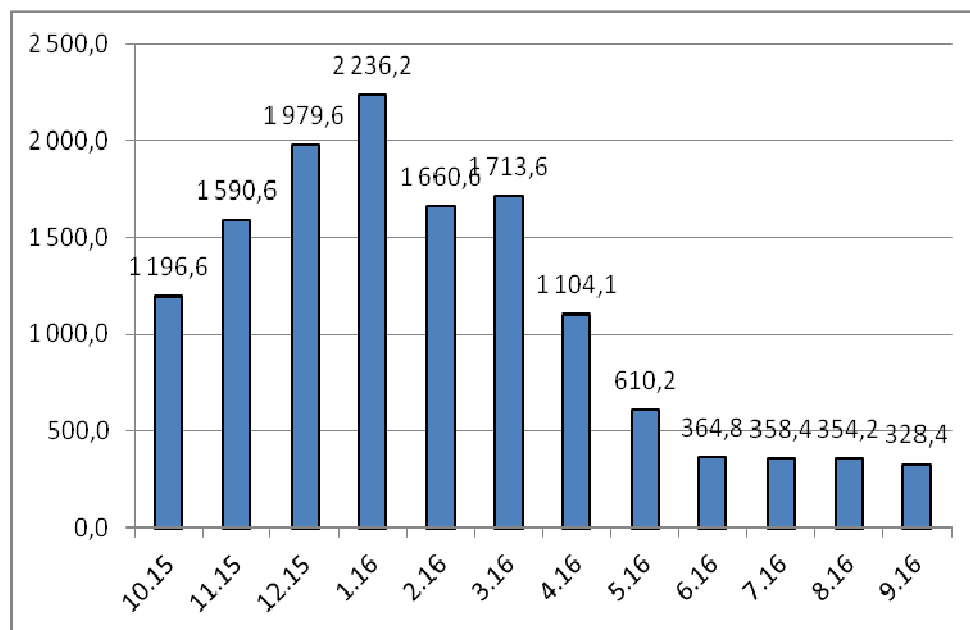
Obr. 7 Pohľad na zrekonštruovaný zdroj tepla - teplovodnej kotolne na zemný plyn

Výroba tepla v kotolni

Rekonštruovaná teplovodná kotolňa na zemný plyn bola uvedená do činnosti 15. októbra 2015. Od tohto obdobia sú zaznamenané spotreby zemného plynu resp. množstvo vyrobeného tepla, čo zachytáva Tab. 2, grafické zobrazenie je na Obr. 8.

Tab. 2 Množstvo tepla a spotreba zemného plynu počas vykurovacej sezóny 2015/2016

obdobie	Plynová kotolňa bez GTV		
	(MWh)	(m ³)	(eur)
10.2015	1 196,60	111 043	47 539
11.2015	1 590,64	148 104	60 242
12.2015	1 979,64	183 776	72 759
1.2016	2 236,17	208 016	72 898
2.2016	1 660,56	154 370	56 977
3.2016	1 713,64	159 068	58 445
4.2016	1 104,05	102 236	41 584
5.2016	610,16	56 288	27 923
6.2016	364,78	33 451	21 136
7.2016	358,35	32 952	20 958
8.2016	354,23	32 714	20 844
9.2016	328,35	30 313	20 128
spolu	13 497,17	1 252 331	521 433



Obr. 8 Množstvo vyrobeného tepla (MWh) vo vykurovacej sezóne 2015/2016

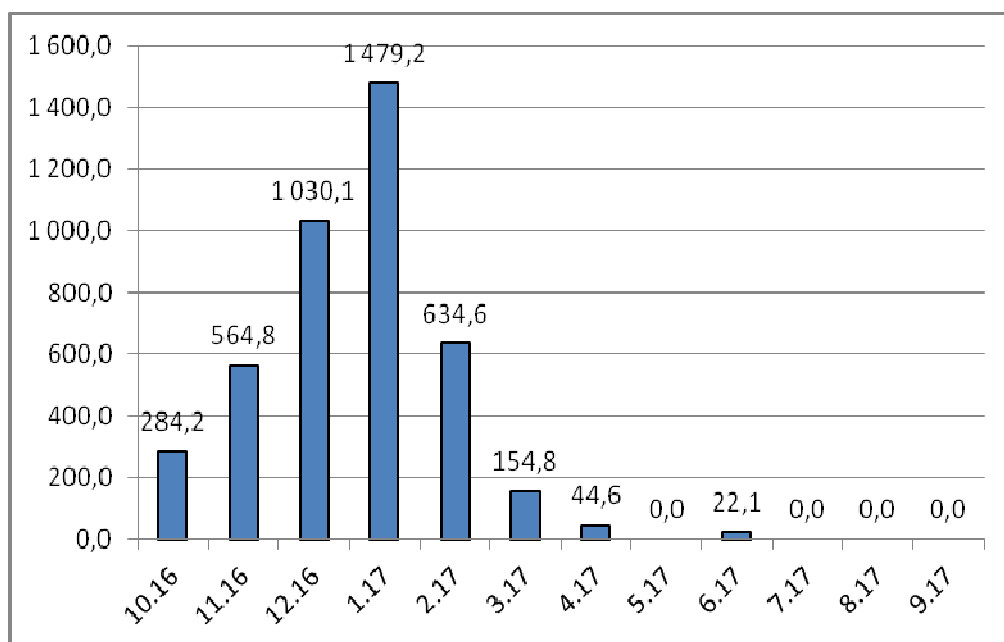
Z Tab. 2 a Obr. 8 je zrejmé, že vo vykurovacej sezóne 2015/2016 bola najväčšia výroba resp. potreba tepla pre obytný súbor zásobovaný z rekonštruovanej kotolne. Za sledované vykurovacie obdobie 2015-2016 bola nameraná spotreba tepla 12 091,45 MWh (43 529,2 GJ) resp. 1 122 901 m³ zemného plynu. Pre ďalšie analýzy táto hodnota bude predstavovať porovnávací základ.

Na jeseň v nasledujúcom roku 2016 už bol úspešne uvedený do prevádzky geotermálny zdroj VM-1, čo malo za následok, že určitá časť vyrobenej tepelnej energie bola zabezpečená z geotermálneho zdroja. Zaznamenané hodnoty vyrobeného tepla z geotermálnej vody sú v Tab. 3, grafické zobrazenie je na Obr. 9. V dôsledku využívania GTV sa dosiahla znížená

požiadavka na zemný plyn, čím sa plnili aj predpoklady využívania obnoviteľného zdroja tepla na báze geotermálnej energie. GTV sa využívala v doskových výmenníkoch tepla VT1 a VT2 a následne v doskových výmenníkoch tepla VT1a a VT1b pre prípravu teplej vody pre obytný súbor 1 600 bytov. Čiastočne vychladená GTV sa ešte využije v poliklinike a končí v areáli termálneho kúpaliska, kde zabezpečuje chod bazénových hospodárstiev dvoch bazénov. Využitá bazénová voda je zneškodňovaná v Ižopskom kanáli.

Tab. 3 Množstvo tepla a spotreba zemného plynu počas vykurovacej sezóny 2016/2017

Plynová kotolňa v účinnosti s GTV			
obdobie	(MWh)	(m ³)	(eur)
10.16	284,15	26 455	18 906
11.16	564,85	52 588	26 670
12.16	1 030,08	95 982	35 594
1.17	1 479,19	137 766	38 514
2.17	634,64	59 108	19 556
3.17	154,76	14 396	10 025
4.17	44,57	4 128	7 655
5.17	0,00	0	6 696
6.17	22,11	2 048	7 172
7.17	0,00	0	6 696
8.17	0,00	0	6 696
9.17	0,00	0	6 696
spolu	4 214,35	392 471	190 874

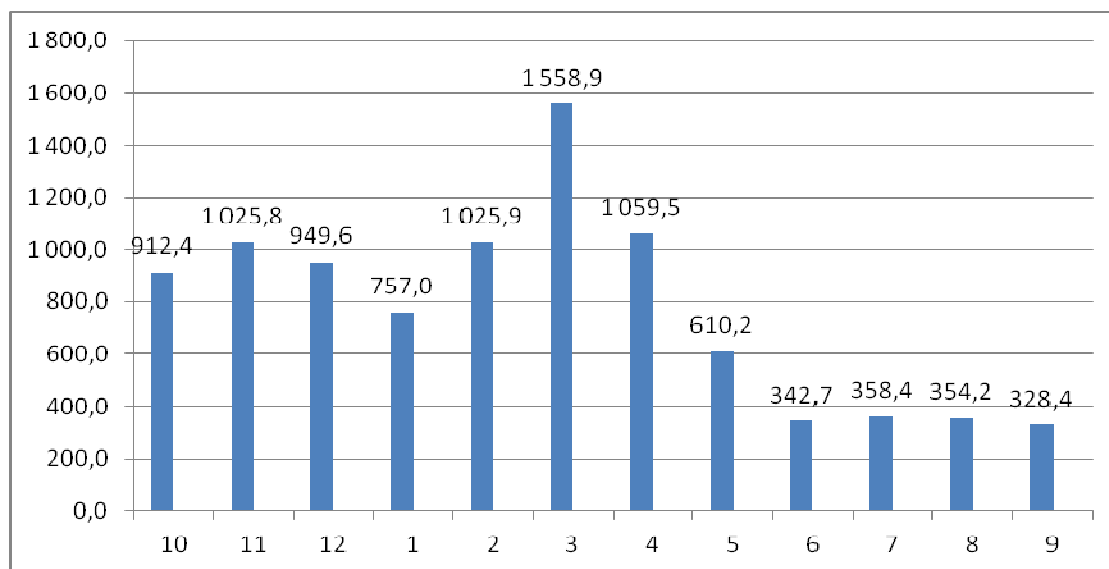


Obr. 9 Množstvo vyrobeného tepla (MWh) v období október 2015 až máj 2016

Z Tab. 3 a Obr. 9 je zrejmé, že vo vykurovacej sezóne 2016/2017 bola najväčšia výroba resp. potreba tepla pre obytný súbor zásobovaný z rekonštruovanej kotolne v mesiaci január 2017. Za sledované vykurovacie obdobie 2016/2017 bola nameraná znížená výroba tepla 4 214,35 MWh (15 171,66 GJ) zo zemného plynu resp. čo zodpovedá 392 471 m³ zemného plynu, (31,22 % zo spotreby v predchádzajúcom roku). Porovnanie prevádzok kotolne vo vykurovacej sezóne 2015/2016 a 2016/2017 je v Tab. 5, grafické zobrazenie je na Obr. 10.

Tab.4 Rozdiel spotreby zemného plynu počas vykurovacej sezóny 2015/2016 a 2016/2017

Rozdiel spotreby zemného plynu			
obdobie	(MWh)	(m ³)	(eur)
10.	912,45	84 588	28 633
11.	1 025,79	95 516	33 573
12.	949,56	87 794	37 165
1.	756,98	70 250	34 385
2.	1 025,92	95 262	37 421
3.	1 558,88	144 672	48 420
4.	1 059,48	98 108	33 929
5.	610,16	56 288	21 227
6.	342,67	31 403	13 964
7.	358,35	32 952	14 262
8.	354,23	32 714	14 148
9.	328,35	30 313	13 432
Spolu	9 282,82	859 860	330 559



Obr. 10 Ušetrený zemný plyn počas vykurovacej sezóny 2015/2016 a 2016/2017

Z Tab. 4 a Obr. 10 je zrejmé, že porovnaním vykurovacej sezóny 2015/2016 a 2016/2017 najväčšia úspora resp. potreba tepla pre obytný súbor zásobovaný z rekonštruovanej kotolne bol v mesiaci marec 2017. Z pohľadu celého roka môžeme konštatovať, že zároveň sme ušetrili množstvo zemného plynu 859 860 m³. Z pohľadu okolitého životného prostredia to zodpovedá zníženiu emisií resp. nevytvorených emisií v Tab. 5.

Tab. 5 Vyčíslenie nevypustených škodlivín

Škodlivina	Ušetrené množstvo ZP	Škodlivina	
(kg/10 ⁶ m ³)	(10 ⁶ m ³)	(kg)	
CO ₂	1 920	0,85986	1 650,9
NO _x	320	0,85986	275,2
Spolu			1 926,1

Z Tab. 5 je zrejmé, že ušetrením 859 860 m³ zemného plynu sa do okolitého prostredia nevypustilo 1 650,9 kg CO₂ za rok a 275,2 kg NO_x rok, čo spolu činí 1 926,1 kg/rok.

ZÁVER

V lokalite Veľký Meder bol cielene vybudovaný geotermálny vrt na dvore miestnej teplovodnej kotolne. Zároveň sa uskutočnila rekonštrukcia zdroja tepla a základné zaťaženie zdroja prebral obnoviteľný zdroj energie na báze geotermálnej energie. Porovnaním vykurovacích období 2015/2016 a 2016/2017 môžeme konštatovať, že navrhované riešenie zásobovania teplom obytného okrsku je správne. Znížila sa spotreba zemného plynu, využíva sa obnoviteľný zdroj energie a podstatne sa znížila produkcia škodlivín v podobe vypúšťaného CO₂. Toto môže byť príklad ako plniť záväzky, ktoré nám predpisuje smernica Európskeho parlamentu a rady 2010/31/EÚ z 19. mája 2010 o energetickej hospodárnosti budov.

Táto práca bola podporovaná Ministerstvom školstva, vedy, výskumu a športu SR prostredníctvom grantu VEGA 1/0807/17.

LITERATURA

- [1] PETRAŠ, D. a kol.: *Obnoviteľné zdroje energie pre nízкотеплотné systémy*. JAGA, Bratislava 2009, 223 str., ISBN 978-80-8076-075-5
- [2] FRIČOVSKÝ, B. – MARCIN, D. – ČERNÁK, R. - BENKOVÁ K.: *Obnoviteľnosť a trvalo udržateľné využitie a využívanie zdrojov geotermálnej energie: potreby a princípy v podmienkach Slovenska*. In *Obnoviteľné zdroje energie 2017* [elektronický zdroj]: zborník prednášok zo 17. vedecko-odbornej konferencie so zahraničnou účasťou na tému "Budovy s takmer nulovou potrebou energie". Štrbské Pleso, SR, 9. - 10. 5. 2017. 1. vyd. Bratislava: SSTP, 2017, CD-ROM, s. 61-66. ISBN 978-80-89878-10-9
- [3] HALÁS O.: *Využitie geotermálnej energie na vykurovanie mesta Veľký Meder*. In *Obnoviteľné zdroje energie 2017* [elektronický zdroj]: zborník prednášok zo 17. vedecko-odbornej konferencie so zahraničnou účasťou na tému "Budovy s takmer nulovou potrebou energie". Štrbské Pleso, SR, 9. - 10. 5. 2017. 1. vyd. Bratislava: SSTP, 2017, CD-ROM, s. 73-76. ISBN 978-80-89878-10-9.
- [4] KOŠČO, J. - KUDELAS, D. - TAUŠ, P. - ANTOLÍKOVÁ, S.: *Possibilities of using thermal water from well G-4 in Košice* / Ján Koščo : [et al.] - 2015. In: SGEM 2015. - Sofia: STEF92 Technology, 2015 P. 517-522. - ISBN 978-619-7105-36-0 - ISSN 1314-2704
- [5] KONTRA, J.: *Hévízhasznosítás*. Műegyetemi könyvkiadó, Budapest 2004
- [6] HALÁSZ Gy.-né. - KALMÁR F.: *Különböző hőtermelővel ellátott fűtési rendszerek exergetikai összehasonlítása I.-II. rész*, Magyar Épületgépészet, vol. L VI. 12 sz. vol. L VII. 1-2 sz., 2007
- [7] MALINOVÁ K.: The decisive factor on the reconstruction of the heat source, TZB Haustechnik, ročník VII, č.4/2014, str. 38-39, ISSN 1803-4802
- [8] Podklady z prevádzky kotolne Stred vo Veľkom Mederi MPBH spol. s r.o.

EKOLOGICKÁ VESNICE NEBŘENICE – PROJEKT OAKS – ZÁSOBOVÁNÍ TEPEM A CHLADEM

Milan Trs

GEROtop spol. s r.o.
m.trs@gerotop.cz

ANOTACE

Při dimenzování velkých systémů využívání geotermální energie tepelnými čerpadly jako v případě ekologické vesnice Nebřenice je nutný jak detailní průzkum horninového masivu, tak matematické 3D modelování budoucího chování celé lokality.

ÚVOD

Nebřenice jsou malá vesnice ve Středočeském kraji v okrese Praha-východ 6 km jižně od okraje Prahy. Pro svou polohu byla vybrána tato lokalita jako místo, kde vznikne nový koncept moderní ekologické vesnice s důrazem na kvalitu života. Odlehlost místa pro městské inženýrské sítě umožnilo využít nové technologie.

Moderně řešené stavby jsou svou koncepcí nízkoenergetické, ale vzdušné konstrukce plná skleněných velkoformátových prvků mají požadavky jak na vytápění, tak na chlazení. Technologie tepelných čerpadel s vrty poskytuje komfortní a levnou dodávku tepla a chladu. Celý projekt OAKS vsadil po detailním průzkumu lokality na využití právě tepelných čerpadel systému země – voda s hlubinnými vrty. V konečné fázi bude v místě realizováno 500 hlubinných vrtů, které budou zásobovat jak rodinné domy, tak obecní infrastrukturu.

Myšlenku, využít vrty jako hlavního a pro většinu objektů jediného zdroje tepla a chladu, bylo nutné podložit pečlivým průzkumem. GEROTOP realizoval zatím nejsložitější výzvu ve své profesně obsáhlé historii v oblasti využití mělké geotermie.

Prezentace projekčních prací představuje průběh průzkumu, testovacích prací a následných doprůzkumech, které mají zabezpečit udržitelnost vrtů po dobu živostnosti staveb. Numerické výpočty byly doplněny o 3D modelace šíření tepla a chladu v horninovém masivu v průběhu 25 – 50 let do budoucna. Výstupy následně sloužily zpět architektům k zapracování změn, které se projeví na tepelně izolačních vlastnostech objektů. Díky těmto postupům bude zajištěné bezpečné zásobování teplem a chladem celého nově vznikajícího projektu OAKS.

MĚŘENÍ TEPELNÉ ODEZVY VRTŮ

Vzhledem k rozsahu celé akce, byly pro celou lokalitu vybrány 3 body pro umístění průzkumných vrtů. Byla snaha zmapovat geologický profil celé lokality. Průzkumné vrty tvoří téměř rovnostranný trojúhelník. Toto uspořádání je ideální pro přesnější data následného 3D modelu.

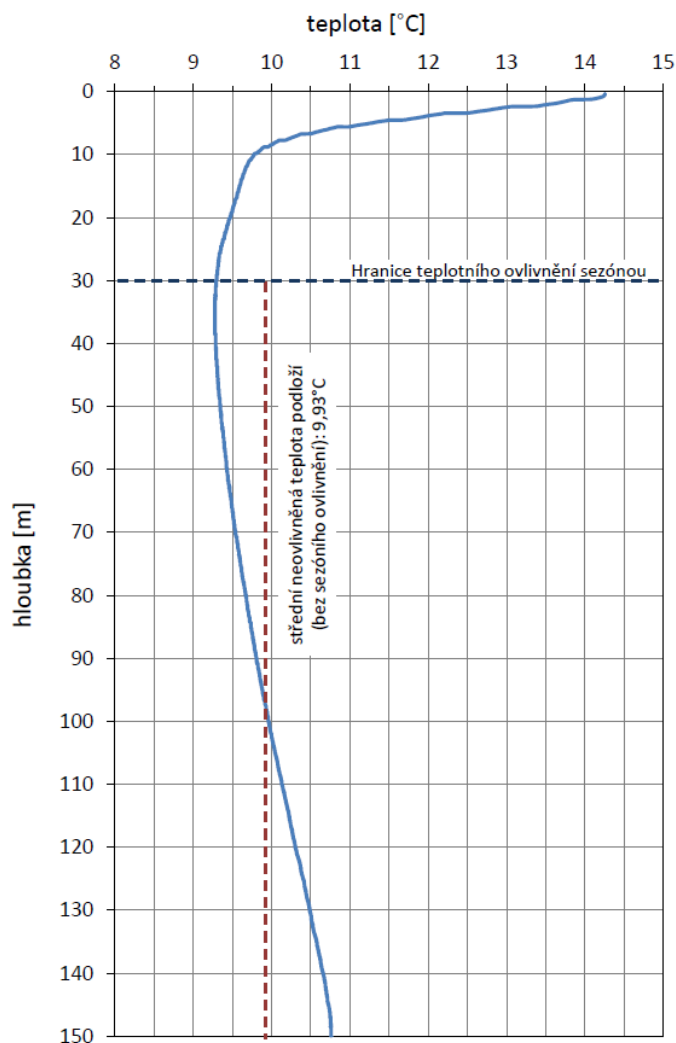
Průzkumné vrty

Průzkumné vrty se realizují se záměrem získat přesnou představu o geologickém profilu, počtu zasažených zvodní, jejich mocnosti. Vrtání musí být také efektivní a musí mít ekonomický smysl. Proto pokud se při průzkumu narazí na geologické anomálie, které vrty prodražují a zpomalují vrtání, zvažuje se, zda pokračovat dále, nebo průzkumné práce zastavit a pracovat pouze s efektivně realizovanou hloubkou vrtů.

Na lokalitě Nebřenice se podařilo všechny 3 průzkumné vrtý dokončit do plánované maximální hloubky 150 m. Současné dostupné technologie v ČR již umožňují vrtat vrtý pro TČ do hloubek 200 – 300 m. U tohoto projektu se tak hluboké vrtý neplánovaly.

Teplotní profil

Návrhy systémů zemního tepla se opírají z velké míry o těžení tepelné energie, která je naakumulovaná v zemním masivu. Pro výpočty je tedy velmi zásadní původní neovlivněná teplota. Pro zjištění této hodnoty se vrt „loguje“ v celém svém profilu a z průměrných naměřených hodnot vychází neovlivněná teplota podloží, která je zásadní hodnotou pro další dimenzování vrtů.



Obr. 1 Graf teplotního profilu zkušební vrtu 02

Tepelná vodivost horninového masivu

Průzkumné vrtý jsou plnohodnotné vrtý pro tepelné čerpadlo včetně vystrojení výměníkem z PE 100-RC a tlakové injektáže. Vrt musí být proveden ve vysokém standardu tak, aby výkon vrtů byl maximální. Průzkumné vrtý jsou vystrojeny systémem GEROtherm 4 x 32 mm a meziprostor mezi výměníkem a stěnou vrtu je tlakově vyplněn směsí se zvýšenou tepelnou vodivostí Calidutherm EKO (2,0 W/m.K).



Obr. 2 Měřicí aparatura pro polní zkoušku tepelné vodivosti hornin – Thermal Response Test

Každý z vrtů byl postupně napojen na měřicí aparaturu, která vrty zatížila tepelným výkonem 7 150 W. Záznam průběhu Thermal Response Testu se dále vyhodnocuje a výsledkem je průměrný tepelný odpor vrtu.

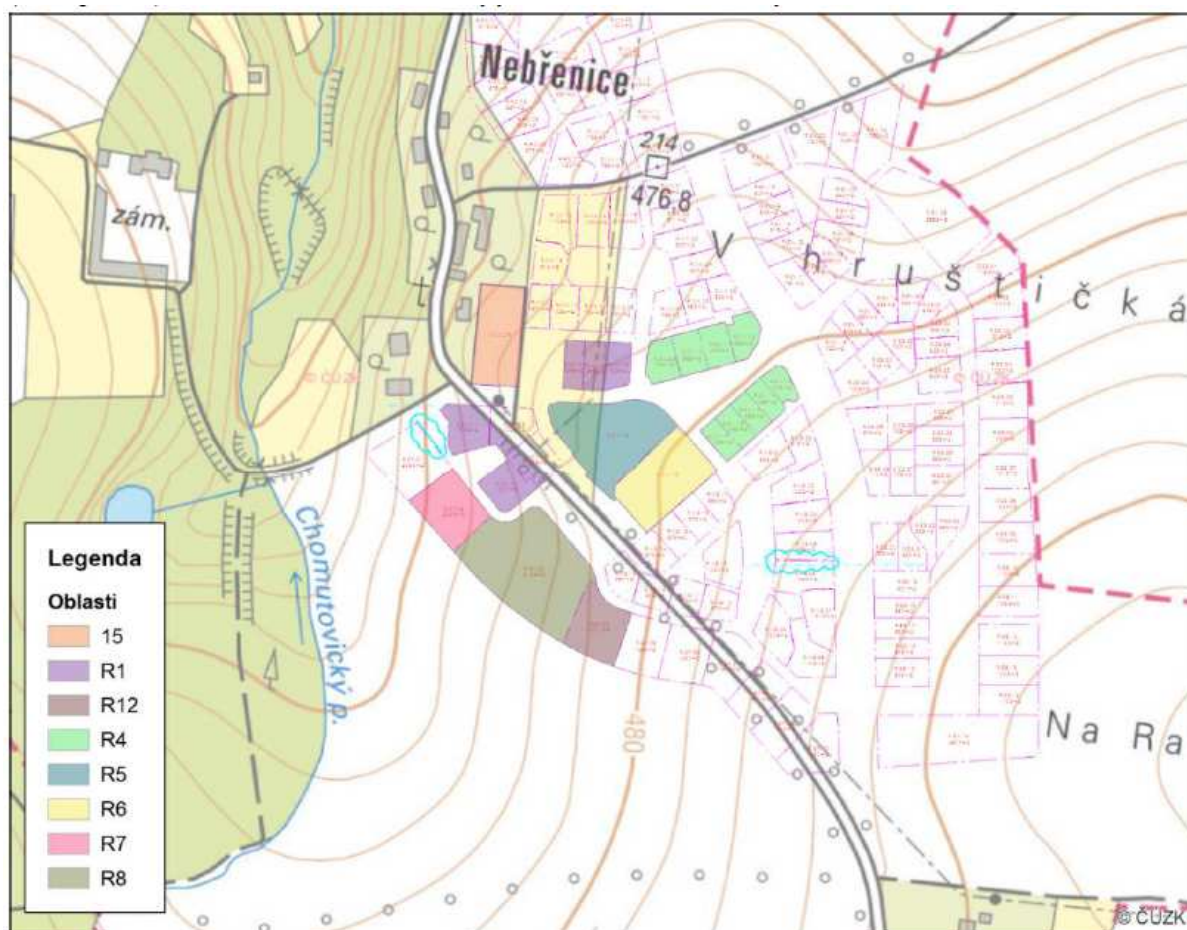
Tab. 1 Naměřené vlastnosti průzkumných vrtů

Popis	Ø teplota podloží [°C]	Odpor vrtu [mK/W]	Tep. vodivost [W/mK]
Vrt 01	10,5	0,11	2,65
Vrt 02	10,3	0,06	2,50
Vrt 03	10,5	0,09	2,75

3D MODEL

Data z průzkumných vrtů posloužila jako vstupní informace pro návrh 3D modelu celé lokality. Plánovaná výstavba projektu OAKS obsahuje mnoho solitérních budov, ale také soubory objektů, jako řadové domy, bytové domy a objekty občanské vybavenosti. Každý z objektů má zcela jiné energetické potřeby tepla, chladu a energie pro přípravu teplé vody (TV). Aby zemský masiv pod lokalitou Nebřenice zůstal energeticky udržitelný, bylo zapotřebí celou oblast simulovat ve 3D prostředí. Jedině tak bylo možné zanást všechny objekty s vrty a porovnávat vzájemné ovlivňování různě používaných vrtných polí. 3D model je stále „živým“ podkladem, který se neustále doplňuje o objekty, které se na lokalitě teprve plánují. Současný simulovaný stav je vidět na Obr. 3.

3D model odhalil ohrožená místa, která by s výhledem na 25 až 50 let provozu, vykazovala značné snížení teploty v okolí vrtných polí. Jednalo se především o vrtná pole R5 a R6, která slouží bytovým domům. U bytových domů je výrazně větší odběr tepla než u standardních smíšeně využívaných objektů. Hlavní měrou se podílí požadavek na přípravu TV.

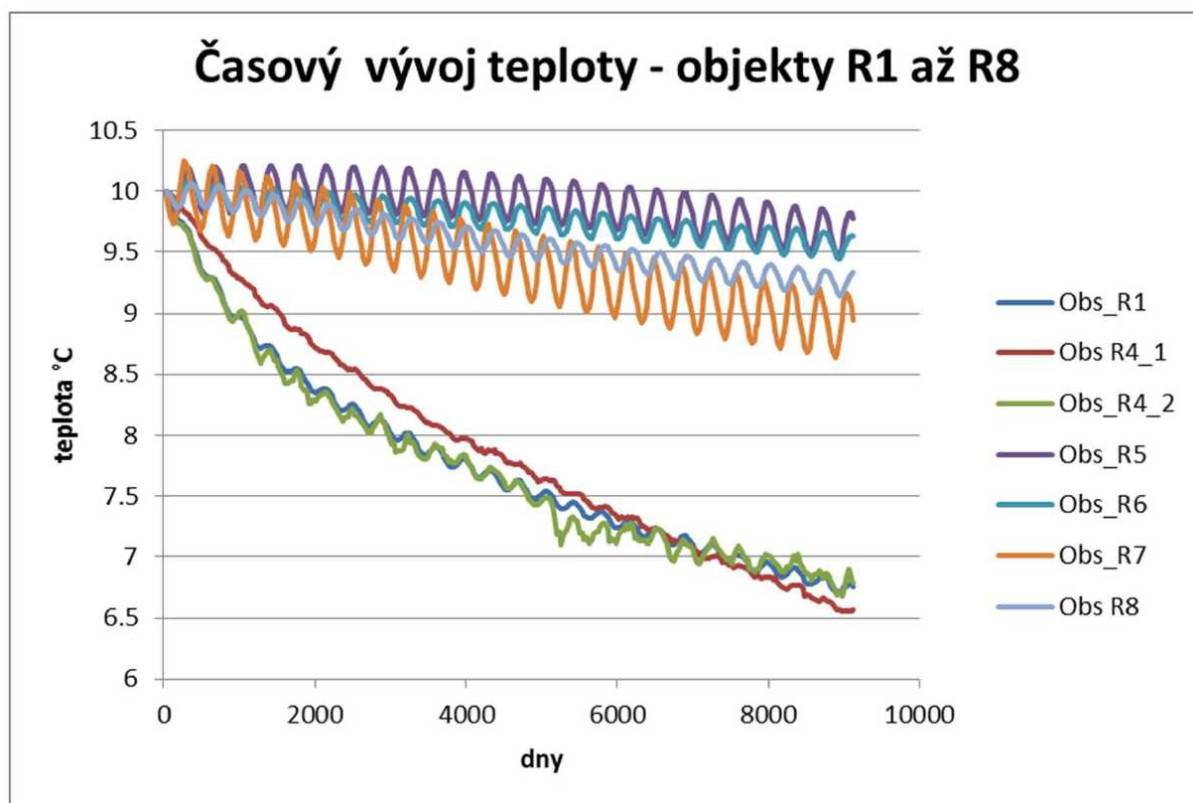


Obr. 3 Oblasti vrtných polí které simuloval 3D model

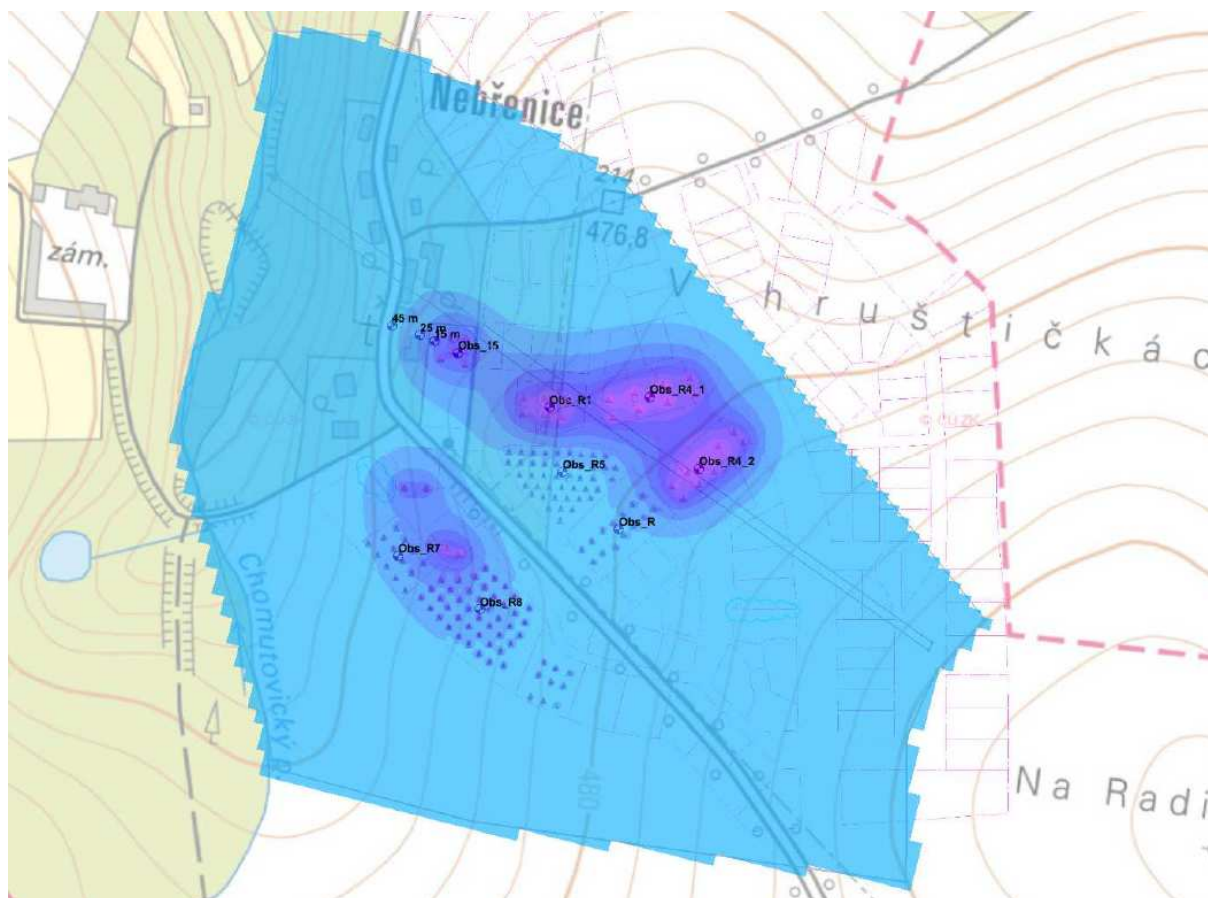
Díky výstupu z 3D modelu bylo možné optimalizovat vrtná pole tak, že vysoce podchlazená místa se podařilo eliminovat. Změnilo se rozmístění vrtů jejich vzájemné rozestupy. Zpětný požadavek na architekty a stavební projektanty byl na optimalizaci obálky budov tak, aby vrty umístěné zpravidla pod objekty byly využívány správně. Došlo i k navýšení požadavku na letní chlazení, a tedy zpětný zisk energie do vrtů.

Z výsledků, prezentovaných na Obr. 4 a Obr. 5, je patrné, že v centru vrtných polí jednotlivých objektů se výrazně projevuje cyklický odběr a zpětné ukládání (dotace) tepla během provozu TČ. Roční rozsah kolísání teploty dosahuje cca 1 - 2 °C. V centru vrtného pole každé skupiny BHE se projevuje nejvýraznější poklesový trend. Po 25 letech provozu lze předpokládat pokles průměrné teploty hornin v centru o přibližně 3 °C. Oblast s výrazným snížením teploty o více než 6 °C po 25 letech se omezuje pouze na bezprostřední okolí exploatačních vrtů. S rostoucí vzdáleností od centra vrtného pole postupně zaniká kolísání vlivem cyklického provozu TČ a snižuje se rovněž míra celkového tepelného ovlivnění hornin. Ve vzdálenosti 15 m od centra vrtného pole objektu č. 15 dosahuje pokles teploty cca 2 °C, ve vzdálenosti 25 m cca 1 °C a ve vzdálenosti 45 m se jedná o zhruba 0,5 °C.

Nejvyšší míru ovlivnění tepelného pole v rámci simulované lokality po 25 letech vykazují oblasti R1 a R4 (rodinné vily), kde průměrný pokles teploty v hloubce 20 m nepřesahuje 3,5 °C – oproti současné neovlivněné teplotě 10 °C. To je dáno tím, že u lokalit R1 a R4 se v rámci modelu nepočítalo s chlazením – tedy regenerací vrtných polí.



Obr. 4 Průběhy teploty v okolí vrtného pole v okolí objektů R1 až R8 (°C) – simulace 25 let



Obr. 5 Plošné rozložení teploty v okolí vrtného pole po 25 letech

I přes velmi optimistické výsledky modelového řešení je třeba upozornit, že ani po 25 letech nedojde k úplnému ustálení tepelného pole, ale bude pokračovat proces postupného ochlazování tepelného masivu. Další pokles teploty již však bude velice pozvolný a celkové konečné snížení teploty po ustálení tepelných poměrů může být o cca 1/3 vyšší než je prezentovaný stav po 25 letech provozu.

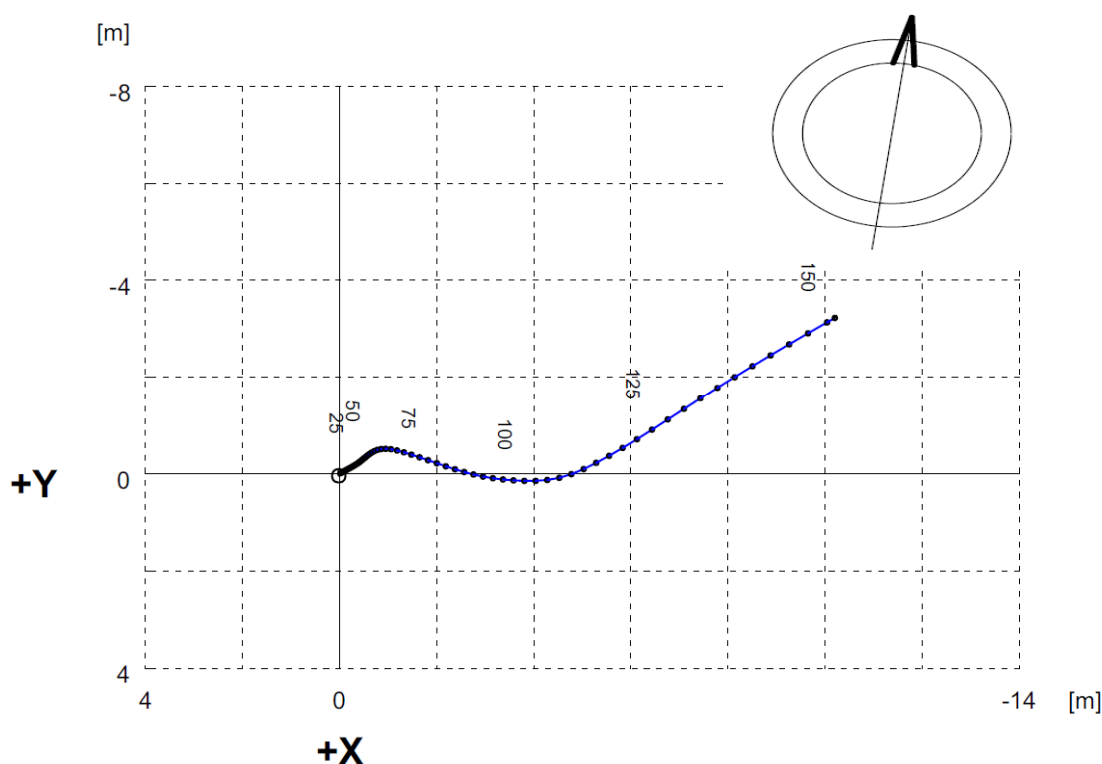
Dosah ovlivnění tepelného pole po 25 letech provozu TČ je zároveň patrný z Obr. 5. Jedná se o třetí modelovou vrstvu, tj. stav v hloubce cca 20 m pod 0,5 °C od výchozího stavu. Oblast se sníženou teplotou má asymetrický tvar, je mírně protažena ve směru proudění podzemní vody, což indikuje přítok relativně teplé vody do oblasti vrtů a odtok vychlazené vody.

Vliv tektonicky porušené zóny ve směru JV-SZ, situované v severovýchodní části modelového území, na teplotní pole horninového prostředí, je možné označit za zanedbatelný.

INKLINOMETRIE VRTŮ

Dimenzování a návrhy vrtů pracují s předpokladem, že vrty jsou ve svislici. To v praxi při realizaci není možné zajistit. Při vrtání maloprofilových vrtů pro tepelné čerpadlo (průměr 120 – 140 mm) dochází k odklonu vrtů od svislice.

Na lokalitě Nebřenice se v průběhu vrtání vrtů měří na vybraných vrtech inklinometrie vrtů, tedy odklon od svislice. Naměřené hodnoty vykazují odklon vrtů mezi 4 – 10 metrů. Tento odklon není nijak výjimečným a dochází k němu díky vrstvení horninových vrstev, směru a úhlu vrstvení, po kterém vrták při hloubení vrtů „klouže“. Všechny měřené vrty mají shodný směrový odklon od svislice směrem na severovýchod. Nehrozí tedy, nebo jenom s malým rizikem, vzájemné provrtání vrtů. Tento stav nemá výrazný vliv ani na dimenzování vrtného pole. Na Obr. 6 je znázornění odklonu vrtu od svislice. Je patrné, že ze vzrůstající hloubkou je odklon výraznější.



Obr. 5 Horizontální projekce vrtu a jeho odklonu od svislice

ZÁVĚR

Na projektu Nebřenice OAKS proběhl zatím nejpodrobnější a nejkomplexnější průzkum v historii využívání zemního tepla a chladu na území ČR. Podařilo se vytvořit vysoce sofistikované modelové řešení pro bezpečné a udržitelné dimenzování geotermálních vrtů v rámci lokality.

Simulace potvrdila, že rodinné vily R1 a R4 – tedy menší vrtná pole není pro dlouhodobou udržitelnost nutné regenerovat zpětnou dodávkou tepla do vrtů při letním období. Naopak u velkých vrtných polí R5, R6, R7, R8 a R12 je nutné regeneraci vrtů zajistit, a to optimálně v hodnotě rovnající se odběru tepla z vrtů v zimních měsících. Tato vrtná pole tak budou pracovat do jisté míry akumulčně.

Sestrojený nástroj je „živý“ model, který se postupným zpřesňováním bilancí jednotlivých objektů ladí a slouží jako nástroj pro bezpečné dimenzování v dané lokalitě v rámci dílčích projektových dokumentací pro provedení stavby DPS.

MALÁ VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA SE SVISLOU OSOU ROTACE, TROJÚHELNÍKOVÝMI RAMENY A PRUŽNÝMI LOPATKAMI

Ing. Jaroslav Vlk

ROLIZO s. r. o.

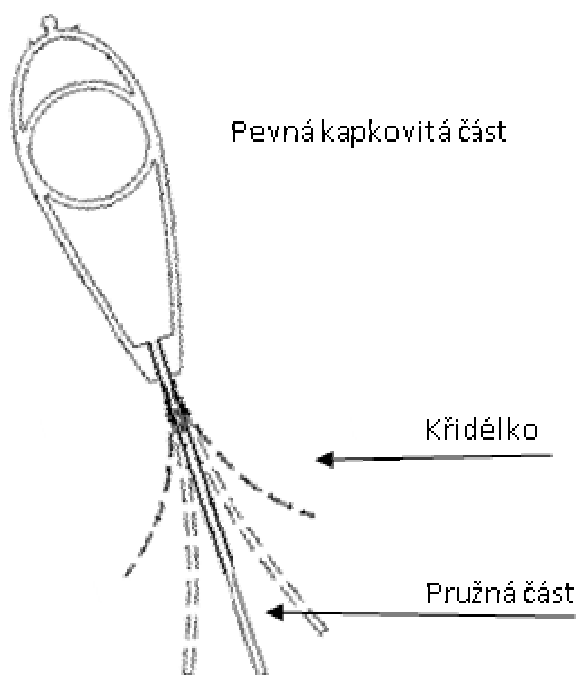
Jaroslav.vlk@rolizo.cz

ANOTACE

Článek popisuje vývoj zařízení pro využití větrné energie se svislou osou rotace.

PRINCIP

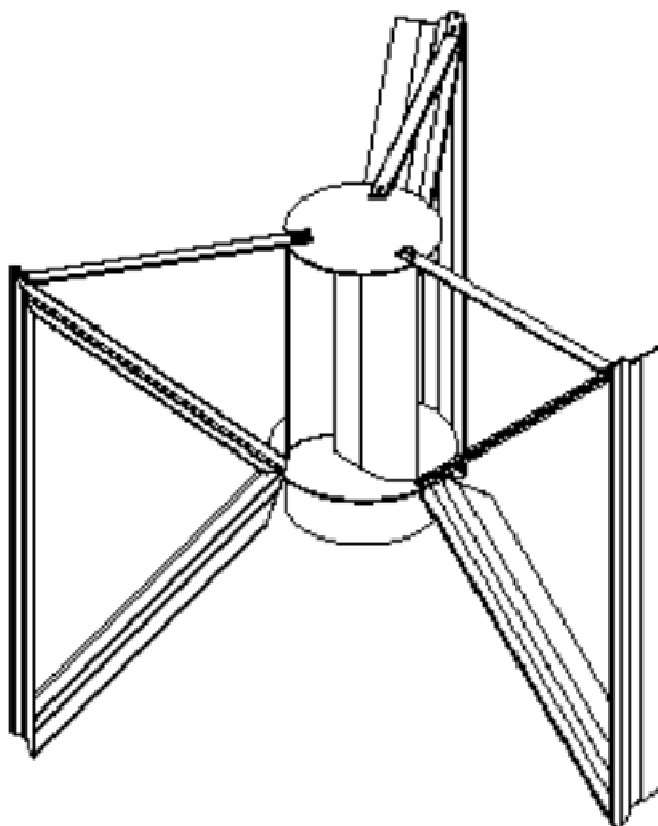
Rotor zařízení pro využití větrné energie se svislou osou rotace sestává z otočného středu, trojúhelníkových ramen kotvených jedním vrcholem k rotujícímu středu. Druhý vrchol trojúhelníku je kotven napínákem k vrcholu vloženého Savoniova rotoru. Ramena tvořená lopatkami se zdrsňenou náběhovou hranou, v aerodynamickém uspořádání jsou ve všech částech výkonová. Zařízení využívá větrné energie přímou reakcí na vítr vztlakem a skluzem, pevnou i pružnou částí lopatky. Část energie větru absorbovaná do pružné části lopatky změnou tvaru - prohnutím se při dalším pootočení soustavy vyrovnáním předává rameny zpět do rotujícího středu v tzv. nevýkonové oblasti. Část větru je usměrněna vnějšími lopatkami do středu k Savoniovu rotoru.



Obr. 1 Řez lopatkou

Lopatka určená pro malé rychlosti větru může být doplněna o soustavu pružných a podsoustavou pružnějších prvků v provedení „ptačí brko“. Rotující střed je nosičem celého rotoru a současně částí sloužící k přenosu energie do jiné, spotřební soustavy. Je doplněn o pevné - nepropustné, případně pružné, polopropustné středové lopatky (např. v uspořádání – Savoniův rotor), využívá energii větru přímo a také části větrné energie usměrněné vnějšími

lopatkami do středu. Lépe roztáčí celou soustavu a zvyšuje výkon. Zařízení lze použít jako větrnou elektrárnu v napojení na alternátor, čerpadla a jiná zařízení. Kolo může být ponořené do tekoucí vody (přílív, odliv, říční proud).



Obr. 2 Rotor tvořený trojúhelníkovými rameny napojený na generátor, uvnitř vložený Savoniův motor

HISTORIE VZNIKU

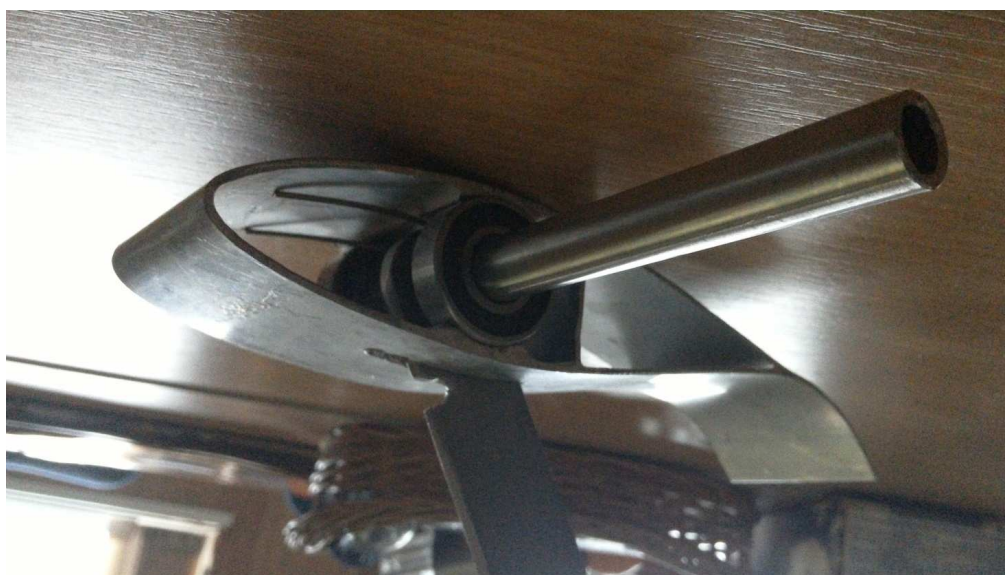
V roce 1987 jsem si v Brně u Rohlenky přečetl jména autorů větrné elektrárny s vodorovnou osou rotace. Oslovil jsem pana Ing. Kyliána. Ukázal mi na dvoře svou větrnou elektrárnu a dohodli jsme se na spolupráci. Ing. Kylián a jeho syn, který studoval na VUT Brno vyvíjeli rotor. Já jsem měl za úkol vyrobit sloup a generátor. Spojil jsem se s Ing. Ježem MEZ Nedvědice, který zabezpečil úpravu generátoru z lokomotivy. Tento jsem zakoupil v depu Frýdek Místek. Upravil jej na 32 pólový generátor, který pracoval v rozsahu 0-150 ot/min při výkonu 1-5 kW. Zařízení bylo testováno na Fy. Mineco v Ostravě, kde jsem v roce 1991 byl společník a jednatel. Ing. Kylián vyvíjel lopatky o výšce 3 m zavěšené nad středem, tedy delší polovinou dolů tak, aby se při vysokých otáčkách sklápěly odstředivou silou, až téměř do vodorovné roviny. Tříramenný rotor byl doplněn o tlumiče a testován. Při první vichřici došlo k utržení jedné lopatky. Tato byla nalezena cca 1,5 km od elektrárny. Tím naše spolupráce skončila.

V roce 1991 jsem založil spol. Mineco se 14 společníky. Tato vyráběla stroje a zařízení pro důlní provoz. Po dlouhodobých rozepřích a ztrátovém provozu jsem společnost majoritně odkoupil a společně s Ing. Milatou byla zahájena výroba a montáž stožárů pro stanice Nokia. V Roce 1995 jsme se rozešli po dohodě a já jsem založil společnost Rolizo, ve které jsem majitelem a jednatelem dodnes. Základem výroby jsou nerezové a hliníkové, převážně

svařované konstrukce a polykarbonátové stavby. Firma má vysoce kvalifikované zaměstnance. K větrné elektrárně jsem se vrátil v roce 2009 experimenty s polykarbonátovými lopatkami. V roce 2010 jsem nechal v Alucan (dříve Aluminium) Děčín extrudovat první sérii lopatek pro Dariovo kolo. Původní alternátor již nebyl magnetický, a tak jsem zakoupil 2 ks s nominálním napětím 48 V z Číny. První sestava byla umístěna v Žabni vedle fy Rolizo v roce 2015.



Obr. 3 Standardní Dariovo kolo přímo napojené na alternátor 48 V



Obr. 4 AL lopatky jsem upravil na pružně výklopné

Pokračoval jsem ve vývoji lopatky se schopností sklápění konce ke středu a vyklápění konce lopatky nad tečnu – brzdění. Pružná zarážka, umístěná ve výřezu držáku řešila omezené brzdění, pak teprve následovala její deformace. Základem bylo dopředné zavěšení pružně sklopné lopatky. Elektrárna pracovala, ale byla velmi hlučná, “klapala”. Namísto ložisek a pružiny uvnitř lopatky jsem použil gumový silenblok. Výkon byl o něco vyšší, ale po

třech měsících došlo k narušení gumového držení a elektrárnu jsem demontoval. V roce 2013 jsem se přestěhoval na větrné místo na Ostravici a začal testovat lopatku **pružným koncem**.



Obr. 5 Lopatka s vloženým pružným polykarbonátovým koncem a křídélky

Postupnými úpravami jsem postavil model, který při průmětu výkonové plochy 4 m^2 dosahuje s alternátorem $3 \times 48 \text{ V}$ až $1,3 \text{ kW}$, Otáčky narůstají až na $130/\text{min}$. Pak jsou konstantní, měřeno i při vichřici 31 m/s . Soustava je elektricky napojena přímo na topnou spirálu a ohřívá topnou vodu. Cílem mojí práce je dořešit rotor, proto se nezabývám elektro regulacemi a měřím pouze výstupy.



Obr. 6 Elektrárna na vozíku před dopravou na místo

Současně s výrobou sloupu o výšce 6 m jsem řešil i montáž, metodou sklápění sloupu pomocí lana a osobního auta. Postavit elektrárnu dokážou 3 lidi. Stabilizaci sloupu na betonovém základě $60 \times 80 \times 120 \text{ cm}$ jsem řešil čtveřicí lan o průměru 8 mm . Lana se postupně protahují, je nutná rektifikace. Napnutí musí být citlivé tak, aby účinně tlumilo poryvy z různých stran.



Obr. 7 Centrování lopatek, elektrárna ve sklopeném stavu

Stroj se roztácel až při 7 m/s, proto jsem přilepil boční křídélka a do středu horní poloviny instaloval Savoniův rotor.

Po instalaci první sestavy s AL eliptickými lopatkami, prodlouženými o pružné – polykarbonátové lamely a boční přídatná křídélka jsem musel vše nastříkat maskovací barvou, protože rotující soustava blýskala ve slunci i v měsíčním světle. Současně jsem na doporučení pana Profesora Filakovského naness na náběhové hrany písek, pro zvýšení turbulence. Výkon této soustavy, měřený ručně, se pohybuje od 100 W do 1,3 kW. Při rychlosti větru nad 20 m/s se otáčky téměř nezvyšují, pružné lopatky vyklopené odstředivou silou nad tečnu brzdí, výkon se drží okolo 1,3 kW.

Na základě diskusí s prof. Filakovským a prof. Kozubkovou jsme se dopracovali k nové aerodynamické lopatce v podobě kapky. (s vloženým pružným koncem připomíná rybí ocas, nebo spermii). Cílem je vývoj, prototypu, jeho otestování, vylepšení, povrchová úprava, schválení, hlavně pak výroba rotoru - sestavení prototypu s vybraným alternátorem. Celá soustava bude optimalizována (výška lopatek, průměr rotoru, nastavení lopatek, délka a tuhost pružné čisti), tak aby soustava dosahovala **v součinnosti s alternátorem optimálních otáček**. Je samozřejmé, že pokračování této vývojové fáze bude spolupráce rotoru s inteligentním alternátorem.



Obr. 8 Savoniův rotor před instalací. Těmito úpravami se elektrárna roztáčí již při rychlosti větru 3 m/s.



Obr. 9 Model větrné elektrárny Rolizo. Na sloupu 6 m kotvený 4 lany. Na snímku je ještě zavěšeno stavěcí lano.



Obr. 10 Překlápění pružných lopatek nad tečnu na odběhové straně. Návětrná lopatka je tlačena do středu.

Dne 10. a 11. prosince řádila v Beskydech vichřice. Lysá Hora zaznamenala 135 km/hod, tj. 37,5 m/s. Na svém anemometru jsem zaznamenal 32 m/s – měřeno z ruky ve výši 2 m. Těsně před uvedeným datem jsem na rotor namontoval otáčkoměr z bicyklu. Nárazy jsem měřit

nedokázal, ale zaznamenal jsem 125-130 ot/min. Při této rychlosti docházelo evidentně k překlápění lopatek nad tečnu a brždění.

Model tak v průběhu 2 let přežil 2. vichřici. Po 2 letech došlo také k popraskání a odlomení horních a dolních konců pružných částí některých lopatek. Vloženou polykarbonátovou lamelu UV nestabilní, jsem nahradil silnější UV oboustranně stabilní! Provedl jsem zaoblení horních a dolních pružných konců lopatek. Lana sloupu jsem převázal a dotáhnul. Konstatuji, že elektrárna pracuje téměř nehlukně a spolehlivě v oblasti, 0 - 130 otáček za minutu, brzdí se sama. Nikdy nedošlo k namrzání ledu, překlápění pružné části to neumožní.

Tab. 1 Závislost otáček rotoru na výkonu alternátoru na rychlosti větru.

Rychlost větru m/s	Otáčky/min	Výkon W
3	9	50
9	120	1000
26	130	1200

ZÁVĚR

Rotor větrné elektrárny je jednoduchý, tichý, roztáčí se již při malých rychlostech větru, při velkých rychlostech se brzdí sám (nemá mechanickou ani elektrickou brzdu), překlápěním pružných částí lopatek nad tečnu odstředivou silou. Díky překmitům částí lopatka nenamrzá, Je vhodný i do sibiřských podmínek.

PŘÍMÝ OHŘEV VODY POMOCÍ FOTOVOLTAIKY – TEORIE A PRAXE

Petr Wolf, Pavel Hrzina

ČVUT v Praze, Univerzitní centrum energeticky efektivních budov (UCEEB)
petr.wolf@cvut.cz, hrzinap@fel.cvut.cz

ANOTACE

Príspevek se zabývá regulátory pro přípravu teplé vody pomocí energie získané z fotovoltaických modulů. Regulátory byly podrobeny provozním testům s užitím simulátoru fotovoltaického pole. Kromě výsledků těchto testů je popsáno i provedení regulátorů a některá jejich další specifika a funkce.

ÚVOD

Ohřev vody s užitím elektrické energie získané z fotovoltaických (FV) modulů je relativně nově rozšířená alternativa ke klasickému přímému ohřevu pomocí termických panelů. Oproti termickému systému má řadu výhod i nevýhod, které byly podrobně diskutovány v mnoha předchozích publikacích [1-3]. Jako výhody lze uvést jednoduchou instalaci a přenos energie pomocí kabeláže, v řadě případů též menší nároky na údržbu, vyšší efektivitu během chladného počasí (vztaženo k nominálnímu výkonu systému). Elektrickou energii lze navíc užít i jinými způsoby (napájení spotřebičů v domácnosti, nabíjení akumulátorů, prodej do sítě). Hlavní nevýhodou je pak nutnost větší plochy pro instalaci FV modulů a vyšší cena v případě požadavků na velké tepelné výkony. FV systém je tudíž vhodný obzvláště pro aplikace s celoročním provozem (příprava teplé vody) a v případech dodatečné montáže ve stávajících objektech.

V následující části se budeme zabývat porovnáním systémů s primárním užitím pro ohřev vody bez paralelního připojení na síť. Tyto systémy se začaly ve velké míře instalovat na domech v době tzv. stop stavu FV elektráren v České republice. Řada firem jako alternativu vyvinula regulátor, který umožní efektivní předávání energie z FV modulů do topného tělesa. Často zahrnuje další funkce jako měření energií, řízení ohřevu dle teploty v zásobníku, kombinování s ohřevem ze sítě, případně přepnutí na jiné využití elektrické energie. Hlavní funkcí regulátoru vsazeného mezi FV moduly a topné těleso v ohřívači však zůstává sledování bodu maximálního výkonu (MPP), což během roku zvýší dodanou energii o minimálně 30 % [3].

Od počátku roku 2017 je možné připojovat FV systémy s výkonem do 10 kW_p bez nutnosti licence, což je v řadě případů vhodnější řešení. Získaná elektrická energie je pak za využití měniče primárně užita pro provoz spotřebičů v domácnosti, pro ohřev vody lze užít přebytky energie (zásobník tak slouží jako řízený spotřebič). Přímý ohřev vody pomocí FV systému s regulátorem však zůstává vhodný v případech, kdy není pro elektrickou energii jiné využití (resp. ohřev vody tvoří převážnou část spotřeby energie) nebo není k dispozici rozvodná síť.

TEST REGULÁTORŮ

Testované regulátory

V rámci měření byli osloveni výrobci a dodavatelé regulátorů do České republiky. Celkem bylo testováno 5 produktů, Tab. 1. Provedení jednotlivých regulátorů je patrné z Obr. 1.

Tab. 1 Přehled testovaných regulátorů pro ohřev pomocí FV modulů.

Typové značení	Označení výrobku v textu	Jmenovitý (maximální) výkon, rozsah napětí (max. DC napětí)*	Výrobce	Dodavatel, který regulátor zapůjčil
KERBEROS 320.B	KERB	2,1 kW (×), 140-310 V (340 V)	UNITES Systems, a.s., Česká republika	UNITES Systems, a.s., Česká republika
LOGITEX POWER BOX 1-2,3 kW DC	LXDC	2 kW (×), 85-350 V (350 V)	LOGITEX spol. s.r.o., Slovenská republika	LOGITEX spol. s.r.o., Slovenská republika
NECTAR Typ:S	SUN, NECT	1,5 kW (2 kW), 110-230 V (350 V)	LTD Super Solem, Litva	SOLVIS, s.r.o., Česká republika
CONTROL 2.0	BOX SUNW	× (3,4 kW), 100 – 230 V (350 V)	SUNNYWATT GROUP a.s.	SUNNYWATT GROUP a.s.
MARKO 2kW	MARK	1-1,5 kW, (2,6 kW), 200 - 300V (400 V), možno nastavit i na nižší startovací napětí	Ostrovni elektrárny s.r.o.	Ostrovni elektrárny s.r.o.

* dle datového listu, × není uveden

Měření

Měření bylo orientováno na zjištění chování a účinností při provozu pomocí zvolených typizovaných zkoušek. Během měření byl vstup regulátor připojen k solárnímu simulátoru, výstup k topnému tělesu (přímotopný ohřívač). Solární simulátor řízený pomocí PC sloužil jako zdroj V-A charakteristiky, kterou mají FV moduly při definovaných provozních podmínkách (osvit, teplota). Pomocí analyzátoru výkonu byly měřeny a logovány vstupní i výstupní hodnoty napětí, proudu a výkonu, viz Obr. 2.



KERB



LXDC



MARK

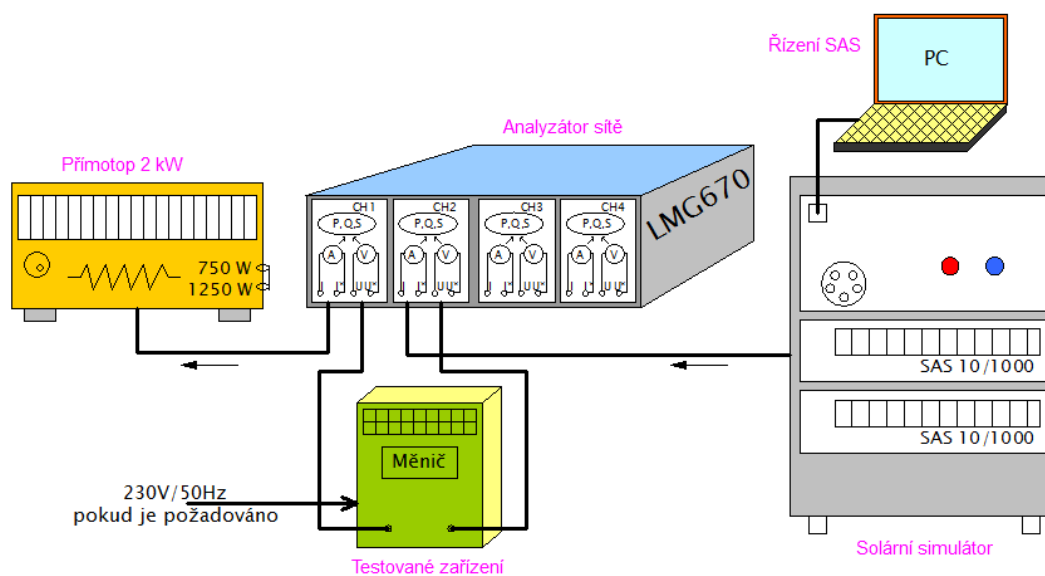


NECT



SUNW

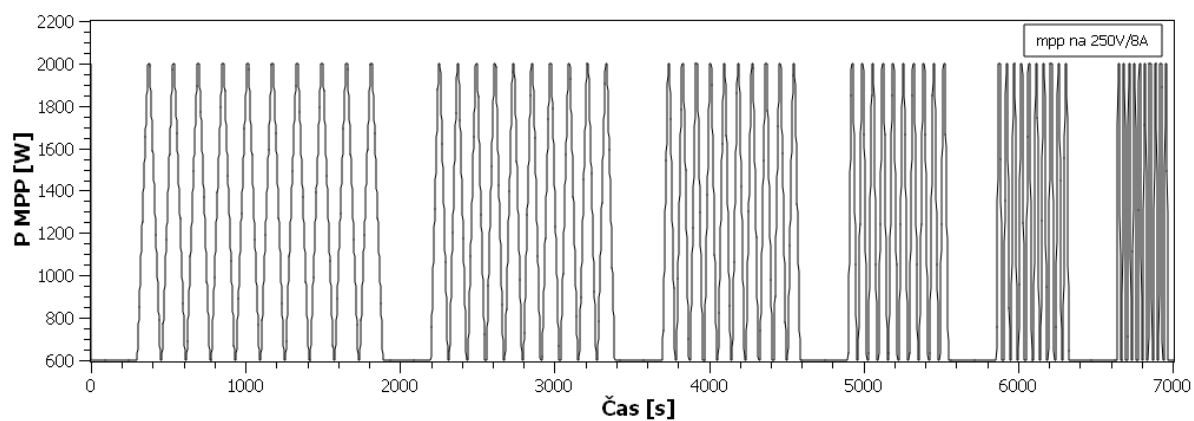
Obr. 1 Provedení testovaných regulátorů



Obr. 2 Měřicí sestava

Cílem testů bylo zhodnotit

- 1) schopnost sledovat MPP v jednotlivých osvitových profilech
- 2) průběh okamžité hodnoty účinnosti měniče v jednotlivých osvitových profilech
- 3) schopnost využití dostupné energie z FV systému při změnách osvitu (profil B2 EN 50530)

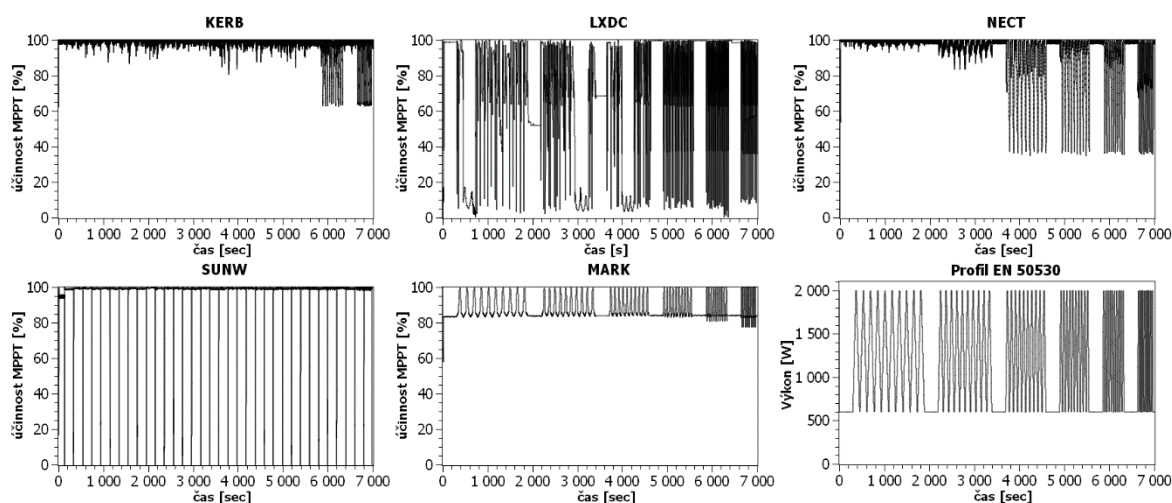


Obr. 3 Osvitový profil B2 dle EN 50530

VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Schopnost sledovat MPP

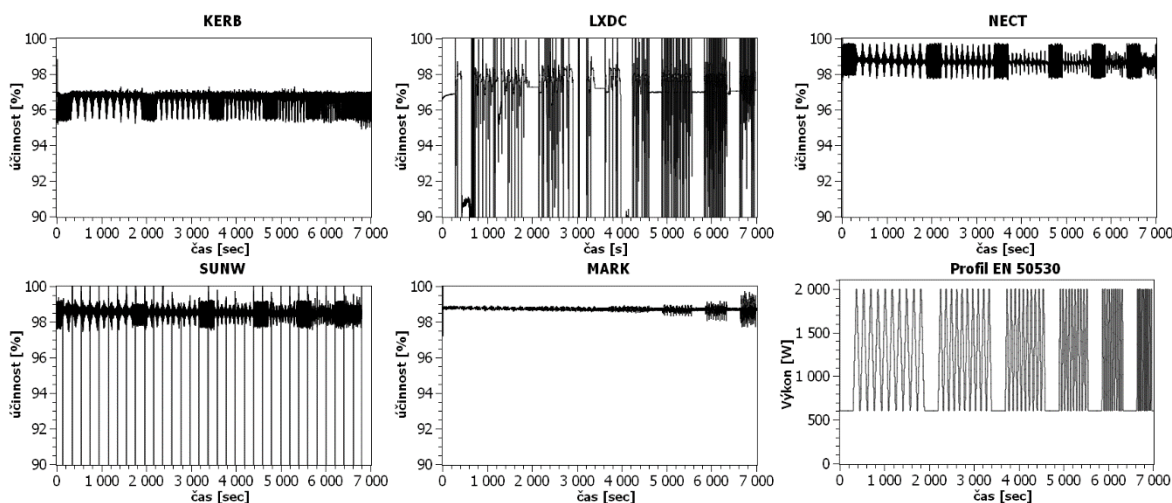
Účinnost sledování MPP u všech uvedených regulátorů při vstupním profilu B2 dle EN 50530 je ukázána na Obr. 4. Nejlépe se choval regulátor SUNW, který držel hodnotu účinnosti nad 98 % v celém profilu (s tím, že občas po krátkou dobu kontroloval VA charakteristiku). Velmi dobrý výsledek získal i regulátor KERB a NECT, jen při rychlých změnách simulované intenzity záření již nestíhal MPP sledovat. U regulátoru LXDC již pomalejší změny intenzity záření znamenaly odchýlení od MPP, regulátor MARK sice držel hodnotu MPP v rozsahu 85 – 100 %, nicméně ani na pomalé na změny intenzity v testovaném rozsahu nereagoval.



Obr. 4 Schopnost sledovat bod maximálního výkonu při testovacím profilu B2 dle EN 50530

Účinnost konverze měniče

V případě konverzní účinnosti regulátorů se nejlépe chovaly MARK, NECT a SUNW (cca 98,5 %). KERB dosahoval mírně nižších hodnot (cca 96,5 %). Účinnost u LXDC nebyla stabilní, nicméně v průměru se pohybovala také kolem vysokých hodnot (97 %) viz Obr. 5.

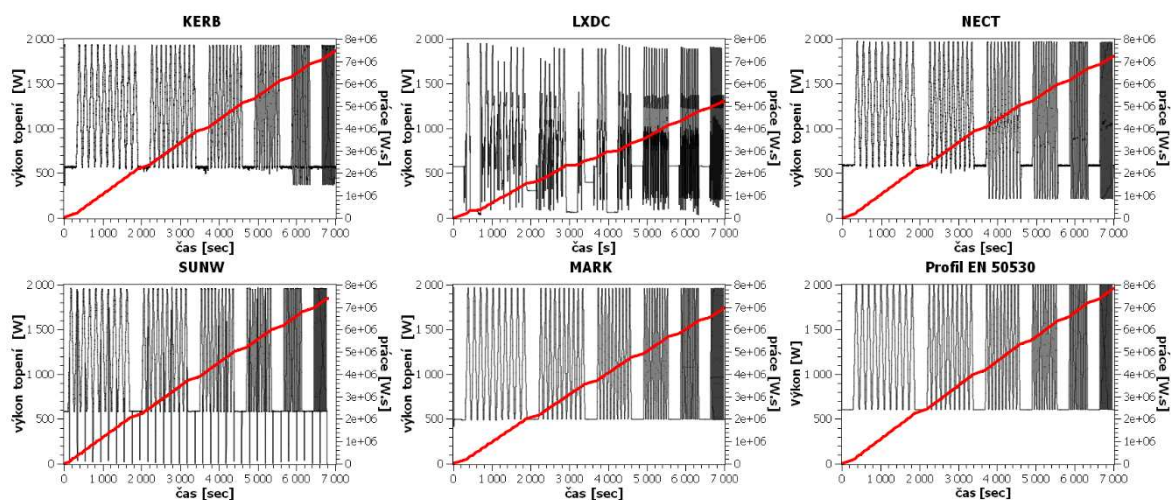


Obr. 5 Průběh okamžité hodnoty účinnosti měniče při testovacím profilu EN 50530

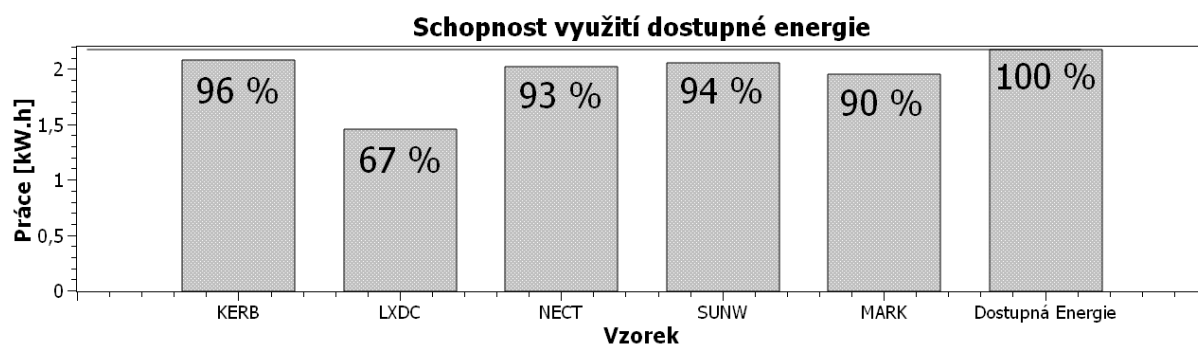
Využití dostupné energie z FV systému

Na základě měření možného výkonu FV simulátoru (výkonu v MPP) a skutečně dodávaného do odporové zátěže byl zjištěna celková schopnost měniče využít dostupnou energii. Hodnoty v sobě zahrnují jak účinnost měniče, tak účinnost sledování bodu maximálního výkonu při dynamickém profilu B2 EN 50530. Práce je počítána jako integrální veličina a jejím porovnáním s integrálem testovacího profilu je možno odhadnout kombinované ztráty na měniči při dynamickém chování viz Obr. 6.

Nejvyšší dosaženou účinnost při testovacím provozu dosáhl regulátor KERB, následně s mírným odstupem SUNW, NECT a MARK. Regulátor LXDC dosáhl výrazně nižších hodnot celkové předané energie viz Obr. 7.



Obr. 6 Schopnost měniče využít dostupnou energii



Obr. 7 Porovnání měničů z hlediska schopnosti využití dostupné energie.

Další zhodnocení regulátorů (provedení, doplňkové funkce)

KERB

Regulátor KERB se na první pohled od ostatních odlišuje svými většími rozměry (395×322×105 mm). Nabízí kromě přímého ohřevu další funkce jako sledování vyrobené a spotřebované energie, řízený ohřev na základě měřené teploty v zásobníku, možnosti přepnutí

FV výkonu v rozšířené variantě. Funguje i bez elektrické sítě. Kabeláž se připojuje přes průchodky na dnu přístroje, nevýhodou je nutnost odkrytování přístroje během montáže.

LXDC

Regulátor je proveden v masivním hliníkovém pouzdru (montážní krabici), provozní stav je indikován LED diodou. Toto provedení zajišťuje vyšší stupeň krytí (výrobce udává IP45). Tudíž se hodí do vlhkých prostor, nebo míst, kde by při havarijním stavu mohlo dojít k úniku vody. Připojení je jednoduché pomocí MC4 konektorů. Kromě regulace výkonu neposkytuje v základní variantě žádné další přidané funkce (např. měření energie či teploty).

NECT

Regulátor byl rozměry nejmenší z testovaných. Je proveden v plastovém pouzdru, s konektory MC4 a napevno připojenou laněnou kabeláží ve spodní části přístroje. Svrchu je displej ukazující provozní stav a měřenou teplotu, je též možná komunikace prostřednictvím WiFi. Výrobce udává možný provoz bez elektrické sítě, což bylo během měření vyvráceno (provoz přístroje je podmíněn přítomností napětí AC na vstupu sítě). Problémem přístroje je hluchost (pískání) tělesa při provozu, což vylučuje možnost instalace natápěného bojleru v místech zdržování se osob (např. přímo v koupelně).

SUNW

Vnější provedení regulátoru je velmi obdobné regulátoru LXDC, má jen o něco menší rozměry. LED dioda přímo indikuje v několika stupních dodávaný relativní výkon, žádná další komunikace či měření teplot přímo přístrojem není realizováno. Podobně jako regulátor NECT topné těleso při provozu vydává hluk, je však tišší. Výstupem je pulzní stejnosměrný proud. Proto musí být topná spirála v případě natopení či havarijního stavu odepnuta prvkem určeným pro stejnosměrný proud (např. DC stykačem).

MARK

Zajímavostí regulátoru jsou dva analogové měřiče proudu a napětí vestavěné do krytu přístroje, které okamžitě ukazují provozní stav. Připojení je realizováno komocí konektorů a průchodky na stranách přístroje. Podstatnou nevýhodou je nutnost přístroj během instalace správně seřadit. Provádí se to odkrytováním přístroje a nastavením několika vnitřních trimrů. Pokud se toto nevhodně provede, přístroj nepracuje v ideálních podmínkách (dochází k značným ztrátám).

ZÁVĚR

V rámci testů bylo měřeno 5 typů regulátorů určených pro ohřev vody pomocí FV modulů. Ukázalo se, že všechny regulátory jsou provozuschopné, nicméně jsou mezi nimi rozdíly, co se týče provozní účinnosti, požadavků na vlastní instalaci i doplňkových funkcí. Důležitá při výběru je též cena regulátoru včetně případného nutného dalšího příslušenství, která nebyla v uvedeném testu hodnocena.

Závěrem bychom rádi poděkovali všem výrobcům či dodavatelům za bezplatné zapůjčení regulátorů.

LITERATURA

- [1] BECHNÍK, B. Příprava teplé vody – fotovoltaika nebo solární tepelné kolektory? TZB-Info. 2013

- [2] MATUŠKA, T., ŠOUREK, B. Porovnání solárního fototermického a fotovoltaického ohřevu vody. TZB-Info. 2014
- [3] WOLF, P. Optimalizace fotovoltaického systému pro přípravu teplé vody. TZB-Info. 2013

Tato práce byla podpořena z Evropských strukturálních a investičních fondů, Operačního programu Výzkum, vývoj a vzdělávání, projektu CZ.02.1.01/0.0/0.0/15_003/0000464 Centrum pokročilé fotovoltaiky, a MŠMT v rámci programu NPU I č. LO1605 – Univerzitní centrum energeticky efektivních budov – Fáze udržitelnosti.