

Otakar GALAS<sup>1</sup>, Jiří LABUDEK<sup>2</sup>, Lubomír MARTINÍK<sup>3</sup>,  
Lenka MICHNOVÁ<sup>4</sup>, Irena SVATOŠOVÁ<sup>5</sup>

## AKUMULACE TEPLA V PODZEMNÍM ZÁSObNÍKU TEPLA

### HEAT ACCUMULATION IN UNDERGROUND HEAT STORAGE FACILITIES

#### Abstrakt

V současné době se výzkumný tým katedry Prostředí staveb a TZB v rámci Institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj intenzivně zabývá možnostmi dlouhodobé akumulace tepla v zemních zásobnících. Tato oblast výzkumu je řešena zejména v Německu a také v Kanadě, kde zemní zásobníky jsou využívány vždy na rozsáhlé objekty, které jsou zdrojem tepla a současně spotřebičem. Směr výzkumu, je vytvořit alternativu zemního zásobníku s modelovou strukturou pro komplex max. 3 rodinných domů a přitom využívat materiály, které lze lehce recyklovat.

#### Klíčová slova

Podzemní zásobník tepla, tepelný zisk, recyklovaná betonová drť.

#### Abstract

At present, the research team of the department of buildings environment and HVAC is intensively engaged in the long-term heat storage in the ground tanks within long-term strategic development options. This research area is primarily solved in Germany and also in Canada, where ground heat storages are always applied to large objects and are the source and consumer of heat at once. Direction of research, is to create an alternative heat ground storage for the complex of 3 houses and to use the materials that can easily recycle.

#### Keywords

Underground heat storage, heat gain, recycled concrete chippings.

## 1 ÚVOD

V překotné době vrcholné ekonomické krize je nutné se orientovat na levné a efektivní směry v zajišťování energií. Tohoto cíle je možno dosáhnout především pomocí tzv. nulové bilance energií, což v praxi znamená, že objekt v zimním období energie spotřebovává a v letním období pomocí fotovoltaických panelů vyrábí. Tento princip ale v zásadě neřeší problém snižování spotřeby

---

<sup>1</sup> Ing. Otakar Galas, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 909, e-mail: otakar.galas@vsb.cz.

<sup>2</sup> Ing. Jiří Labudek, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 345, e-mail: jiri.labudek@vsb.cz.

<sup>3</sup> Ing. Lubomír Martiník, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 32 975, e-mail: lubomir.martinik@vsb.cz.

<sup>4</sup> Ing. Lenka Michnová, Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 975, e-mail: lenka.michnova@vsb.cz.

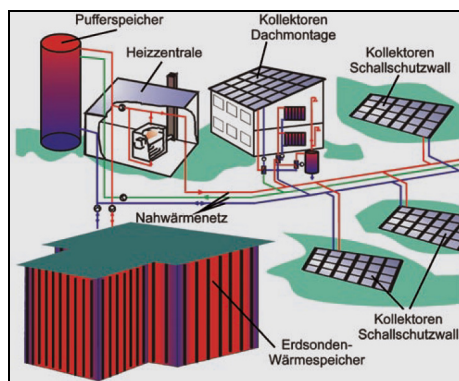
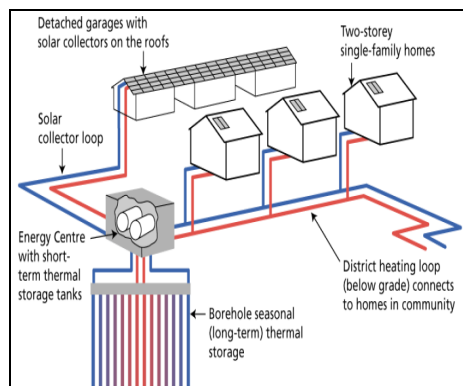
<sup>5</sup> Ing. Irena Svatošová, PhD., Katedra prostředí staveb a TZB, Fakulta stavební, VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ludvíka Podéště 1875/17, 708 33 Ostrava-Poruba, tel.: (+420) 597 321 365, e-mail: irena.svatosova@vsb.cz.

v daném čase. Cena elektrické energie má vzrůstající tendenci a navíc se zhoršují výkyvy v zásobování rozvodné sítě elektrické energie v letních slunečných dnech. Další možností k dosažení potřebného cíle je využití akumulace tepla v zemních zásobnících. K nabíjení se nabízí takový systém, který je levný, efektivní a sezónní. V případě navrženého řešení se jako zdroj energie uvažuje se systémem solárních kolektorů. Solární systémy využívají sluneční energii, která je nejdostupnějším, nečistším a prakticky nevyčerpatelným zdrojem tepla a světla [5].

Tyto cíle jsou plně v souladu se směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU - O energetické náročnosti budov – tzv. EPBD II nebo EPBD Recast [4], která byla v květnu 2010 schválena. Členské země Unie jsou povinny nové požadavky implementovat do svých národních předpisů. V souvislosti s novým zněním evropské směrnice o energetické náročnosti budov EPBD je nutné do roku 2020 projektovat budovy s výrazně nižší energetickou spotřebou. V článku č. 9 [4] se výslovně říká, že členské státy zajistí, aby do 31. prosince 2020 všechny nové budovy byly budovami s „téměř nulovou spotřebou energie.“ V souvislosti se zavedením tohoto termínu do české legislativy se v odborné veřejnosti významněji debatuje o možnostech dosažení tohoto cíle. To vše souvisí se souborem opatření, která si kladou za cíl do roku 2020 snížit emise skleníkových plynů o 20% oproti úrovni z roku 1990, zvýšit podíl obnovitelných zdrojů energií v celkové spotřebě v EU na 20% a zvýšit energetickou účinnost v Evropě o 20%.

## 2 STÁVAJÍCÍ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Ve světě je již v provozu několik obdobných zemních zásobníků. Některé jsou založeny na principu ukládání tepla do vody (zásobníky typu ATES), jiné do horninového masivu (zásobníky typu BTES - Drake landing solar community, Okotoks - Kanada, Projekt Solaranlage stadtwerte Crailsheim - Německo, GreenGas Paskov – Česká republika) viz. obr. 1 a 2. V rámci spolupráce VŠB – TU Ostrava jsme se zabývali návrhem dnes už stávajícího zásobníku firmy GreenGas Paskov, který je momentálně jediný v České republice [2]. Jeho koncepce je zaměřena podobně jako v Kanadě nebo Německu na rozsáhlejší objekty.



Obr. 1, 2: Schémata podzemních zásobníků v Drake landing a Crailsheimu [4,6]

Výše zmíněné zemní zásobníky tzv. BTES (Borehole Thermal Energy Storage), využívají akumulaci tepla v horninovém masivu. V současné době je horninové prostředí tvořeno nejrůznějšími materiály – horninami. Z toho vyplývá, že zásobník může být v zásadě vytvořen takovými materiály, které jsou běžně na zemi dostupné. Je třeba je však rozdělit podle měrné tepelné kapacity  $c$  [ $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ], která vyjadřuje, jaké množství tepla přijme 1 kg látky, pokud ji ohřejeme o 1 °C. Příklady měrné tepelné kapacity některých materiálů jsou uvedeny v tab. 1. Z jednotlivých hodnot je patrné, že ideálním materiálem pro akumulaci tepla je voda. Z tohoto důvodu byl hledán takový materiál, který by přibližně odpovídal měrné tepelné kapacitě vody. Během výzkumných aktivit v oblasti akumulace se jako nejlepší řešení jevílo ukládat teplo do prefabrikovaného modulového podzemního zásobníku s výplní z betonového recyklátu viz. obr. 3. Vedle k tomu skutečnost, že beton má lepší tepelnou kapacitu než zemský masiv obecně. Je to dáno tím, že zemina je zatížena nekompatibilitou a nestejnorodostí materiálového složení.

Tab. 1: Příklady měrné tepelné kapacity různých materiálů

Materiál	Měrná tepelná kapacita [J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
Voda	4 180
Suchý vzduch	1 010
Cihly plné	920
Beton	1020



Obr. 3: Recyklovaný beton

### 3 BTES VERSUS STES ZÁSObNÍK - ZÁKLADNÍ SROVNÁNÍ

Zásobníky tepla označované jako BTES jsou oproti vodním zásobníkům tvořeny soustavou řádově desítek až stovek zemních vrtů obdobných, jako jsou běžné vrty pro tepelná čerpadla (max. však do 30 m). Tyto vrty jsou rozmístěny v pravidelné síti a jejich prostřednictvím je možné přenášet teplo do hornin. BTES zásobníky jsou stále v oblasti výzkumu. Cílem této práce je dosáhnout více než 90% podílu sluneční energie na celkové spotřebě tepla v objektech v zimních měsících. Kromě toho je cílem dosáhnout, aby BTES zásobníky byly z ekonomického hlediska v podmínkách ČR použitelné pro vytápění a ohřev teplé vody v zástavbě rodinnými domy. Návrh zásobníku vycházel z podkladů systému, který je provozován již několik let ve městě Okotoks, ležící v provincii Alberta v Kanadě. Tato instalace je z hlediska vzájemné provázanosti dlouhodobého BTES zásobníku, vyrovnávacích nádrží, solárních panelů a otopné soustavy v současné době technicky nejdokonalejším systémem svého druhu na světě [2]. Tento zásobník je založen na principu ukládání tepelné energie do zemského masivu.

Záměr kanadského zásobníku byl dimenzován a projektován jako energetický celek současně se zástavbou. Nebyl členěn na žádné dílčí etapy. Na lokální rozvodnou síť v Okotoksu je napojeno celkem 52 rodinných domů. Jedná se o dřevostavby splňující požadavky přísnějšího standardu dle R-2000 (obdobna vyhlášky č.268/2009 – Základní požadavky na výstavbu). Celková spotřeba tepla pro vytápění a pro přípravu teplé vody se podle velikosti domu pohybuje v rozmezí 20-30 MWh ročně [3].

Navrhovaný zásobník STES (Synthetic Thermal Energy Storage) je založen na podobném principu jako například zásobník v Kanadě. Podnebí a povětrnostní podmínky jsou srovnatelné. Kanada má akorát vyšší počet dnů se slunečním svitem než Česká Republika. Rozdíl mezi STES zásobníkem a BTES zásobníkem je, že tepelná energie se ukládá ve vrstvách vyplněných recyklovaným betonem. Rozhodujícími faktory je efektivní vzdálenost od místa nabíjení akumulátoru a druhotná spotřeba tepelné energie. Dalším faktorem je tvar, který bude kopírovat nevhodnější půdorys a členění sousedních objektů (struktura 3 rodinných domů viz. obr. 4). Celý komplex je orientován směrem na jih.

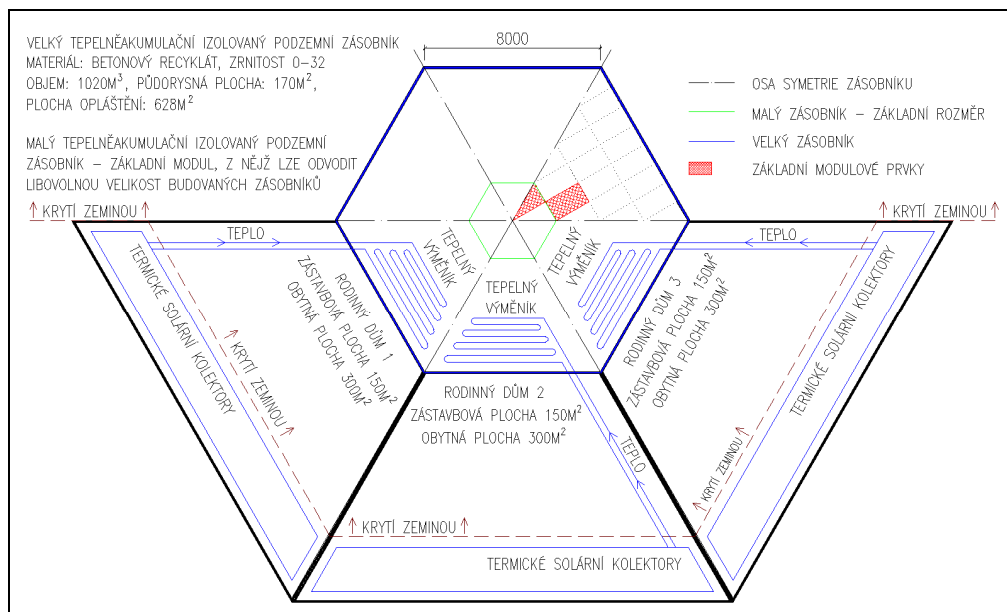
#### 3.1 Popis STES systému

Velké sezónní zásobníky vyžadují značné množství energie a tím i dobu nabíjení a dosažení konečné účinnosti (i několik let). Řešený systém se oproti Okotoksu nebo Crailsheimu skládá pouze ze dvou částí:

- Solární kolektory
- Energetické centrum včetně STES zásobníku

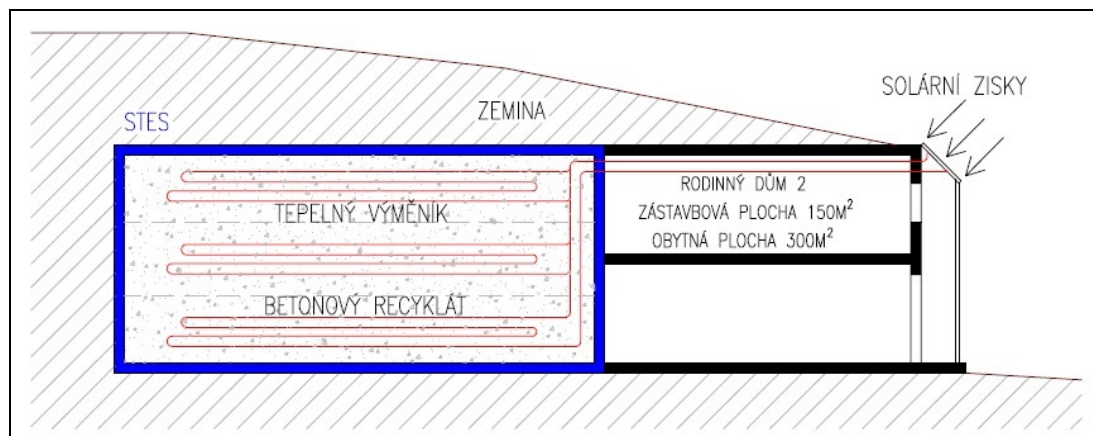
STES zásobník využívá přibližně 1020 m<sup>3</sup> betonového recyklátu a stratifikační výměníky tepla. Úložný systém je navržen tak, aby udržoval střed zásobníku v nejvyšších teplotách a vnější hrany naopak při teplotách nejnižších [1]. Právě tímto způsobem se dají minimalizovat ztráty rozvodů a maximalizovat dopravovaný tepelný potenciál. Základní tvar STES je tvar šestiúhelníku. Jeho velikost je natolik variabilní, že se dá libovolně měnit a tím přizpůsobovat daným podmínkám.

Zásobník je rozdělen na několik stratifikačních vrstev. Tyto vrstvy mají účelovou funkci nerovnoměrného ukládání energie po celé výšce zemního zásobníku. Tepelná energie ze slunečních kolektorů je pak prostřednictvím krátkých rozvodů distribuována do stratifikačních polí STES (viz. obr. 5), kde předávají energii do výplňového materiálu. Protože se jedná o podpovrchový zásobník, je STES zakryt po celé geometrické ploše povrchu izolační vrstvou, která zabraňuje nežádoucím únikům tepla. Domy, využívající tuto energii musí být navrženy na hranici nízkooenergetického a pasivního standartu. Tyto rodinné domy jsou tzv. podzemní (kryté ze tří stran a na střeše zeminou, s orientací okenních otvorů na jih). Jejich efektivní energetická spotřeba je menší ve srovnání s běžnými stavbami, které jsou volně stojící.



Obr. 4: Schéma STES zásobníku a komplexu zástavby rodinnými domy

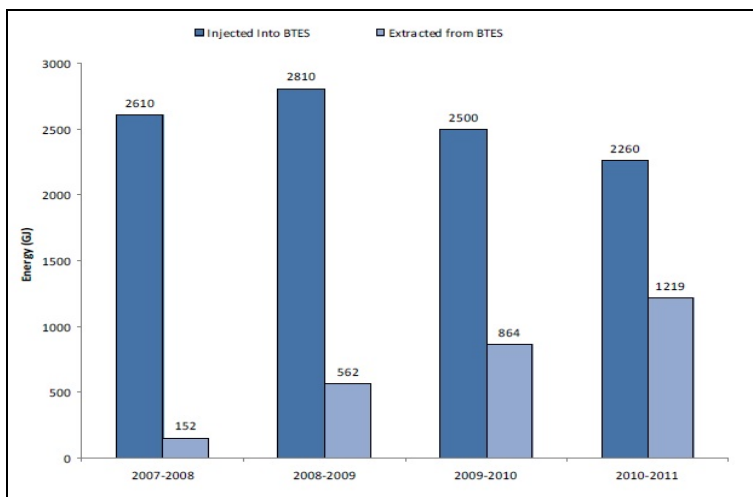
Solární kolektory a jejich umístění je zřejmé z obr. 4. Jednotlivé kolektory jsou umístěny vždy tak, aby plnily architektonický účel objektu a nenarušovaly ráz stavby. Současně svoji plochou budou plnit energetickou potřebu pro přípravu teplé vody v letních měsících na 100%, v zimních měsících a v období zatažené oblohy na 20%. Zbývající kapacitu tepla budou kolektory předávat do akumulačního zásobníku STES.



Obr. 5: Schéma rozvodů ve stratifikačních vrstvách rodinného domu

#### 4 EFEKTIVITA PROVOZU STES ZÁSObNÍKU

Celková kapacita kolektorů reprezentuje přibližně 200% potřeby na pokrytí ohřevu teplé vody a vytápění. Pro nízkoenergetické domy platí poměr mezi potřebou tepla na ohřev teplé vody a potřebou tepla na vytápění 100:100. Pro pasivní domy je pak tento poměr 100:50. Výsledná tepelná kapacita STES zásobníku by měla pokrýt 100 % spotřeby tepelné energie na ohřev teplé vody a 80% spotřeby tepelné energie na vytápění tří rodinných domů. Dvacetiprocentní rezerva, která takto vzniká, je základní potřeba pro nabití akumulátoru a postupnou expanzi tepla v zásobníku, což je obdobou zásobníku v Okotoks. Dle kanadských podkladů se jeví takovéto hospodaření s tepelnou energií efektivnější než vybití zásobník na výchozí hodnotu nového zásobníku.



Graf 1: Průběh nabíjení a vybíjení BTES zásobníku v Kanadě [3]

V grafu č.1 je znázorněno množství energie dodané do zásobníku BTES a množství energie odebrané v každém roce provozu. Graf jasně dokládá postupné zlepšování efektivitu akumulátoru. Účinnost zemního zásobníku má stoupající tendenci díky zvyšující se teplotě akumulčního materiálu.

Na účinnost akumulátoru má značný vliv vlhkost, uzavřená uvnitř zásobníku. Teplota jádra se tak odvíjí podle množství vlhkosti v jednotlivých stratifikačních vrstvách. S každým rokem provozu se dají předpokládat konstantní hodnoty vlhkosti, což významně souvisí s průměrnou teplotou jádra. Tato teplota v zásobníku lze stanovit ze vzorce č.1.

$$T_{core} = \frac{T_t + 2 \times T_m + T_b}{4} \quad [^{\circ}C][3] \quad (1)$$

kde:

$T_t$  –teplota nahoře BTES zásobníku [ $^{\circ}C$ ],

$T_m$  –teplota uprostřed BTES zásobníku [ $^{\circ}C$ ],

$T_b$  –teplota na dně BTES zásobníku [ $^{\circ}C$ ],

$T_{core}$  –teplota jádra BTES zásobníku [ $^{\circ}C$ ].

Obecně lze říci, že stanovení účinnosti energetických zásobníků je nejproblematictější oblast ve výzkumu a ve sledování těchto zařízení. Prostředí, které je modelováno za tímto účelem, není ideálně vytvořeno tak, aby efektivita provozu byla vyvážena s nárůstem energie, která bude v zásobníku skladovaná.

## 5 ZÁVĚR

Významným obsahem příspěvku je nová ucelená koncepce ukládání tepelné energie z alternativního zdroje tepla, tj. ze solárních kolektorů. Celkový přínos je vyvinutí koncepce energetického tepelně izolovaného zásobníku (STES zásobník). Zásobník má prokazatelné homogenní tepelně-fyzikální parametry. Homogenní struktura vnitřního objemu zásobníku tvořena betonovým recyklátem se strmou ale limitně přímou křivkou zrnitosti, se jeví v chování v konečném důsledku jako horninový masiv. Izolaci tohoto prostředí se získává zásobník s měřitelnou tepelnou kapacitou, čímž je možné reálně vypočítat hodnotu akumulovaného tepla. Tato cesta je progresivně účelná a cenově efektivní s titulu minimalizace jeho objemu.

Značnou výhodou možnosti vybudování umělého zásobníku, který bezprostředně navazuje na spotřebič (v tomto případě rodinný dům) jsou téměř nulové rozvody tepla a tím maximální využití tepelného potenciálu STES. Průlomovou devizou je rovněž skutečnost, že obdobný zásobník STES lze realizovat na jakémkoliv místě s max. variabilitou nárůstu nebo ponížení tepelně energetických potřeb. Na rozdíl od zásobníku BTES, které jsou závislé na měrné tepelné kapacitě horninového masivu, lze zásobník STES konstruovat v jakémkoliv prostředí nebo místě.

Vývojová etapa tohoto úkolu není zdaleka ukončena. Je nutno sestavit matematický model zásobníku STES, který bude v jednotlivých fázích stanovovat tepelné toky ve stratifikačních vrstvách. Tímto se dostane zásobník na úroveň, která je nutným předpokladem pro vytvoření fyzického modelu.

## 6 PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek byl zpracován členy výzkumné skupiny prostředí staveb projektu CZ.1.07/2.3.00 /20.0013 – „Tvorba a internacionalizace špičkových vědeckých týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB-TUO“ v rámci Institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj na katedře Prostedí staveb a TZB.

## LITERATURA

- [1] NAKORCHEVSKII, A. I., Dynamics of discharging of a heat accumulator in an infinite grand massif. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2005, roč. 78, č. 6. ISSN 1062-0125. Dostupné z: <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s10891-006-0042-0>
- [2] ROZEHNAL, Zdeněk. Sezónní zásobník tepla šetří energii. *Stavitel: Měsíčník Hospodářských novin*. Praha: Economia, a.s, 2011, č. 10, s. 16. ISSN 1210-4825. Dostupné z: <http://www.dpb.cz/soubor/sezonni-zasobnik-tepla/sezonni-zasobnik-tepla.pdf>
- [3] SIBBITT, Bruce and all., Measured and simulated performance of a high solar fraction district heating system with seasonal storage. In: *Www.ises.org* [online]. [cit. 2012-09-20]. Dostupné z: [http://www.dlsc.ca/reports/ISES\\_SWC\\_2011\\_final.pdf](http://www.dlsc.ca/reports/ISES_SWC_2011_final.pdf)
- [4] Směrnice 2010/31/EU of the european parliament and of the council of 19 May 2011 on the energy performance of buildings
- [5] TYMOVÁ, P., *Solární systémy v architektuře*. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební, 2007, roč. 7, č. 1. Ostrava : VŠB-TUO, 207, s. 233-236. ISSN 1213-1962.
- [6] Wohnen mit der sonne. In: [online]. [cit. 2012-09-20]. Dostupné z: <http://www.stw-crailsheim.de/fileadmin/images/web-service/pdfs/Solarbroschuere.pdf>

### Oponentní posudek vypracoval:

Doc. Ing. Toman Zdeněk, CSc., Katedra tepelné techniky, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, VŠB-TU Ostrava.

Doc. Ing. Karel Papež, CSc., Katedra technických zařízení budov, Fakulta stavební, ČVUT v Praze.