



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ**

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

**VYUŽITÍ REFERENČNÍHO KLIMATICKÉHO ROKU  
PRO HODNOCENÍ A NÁVRH TERMICKÉHO  
SOLÁRNÍHO SYSTÉMU**

EFFICIENCY TEST REFERENCE YEAR FOR THE EVALUATION AND DESIGN OF SOLAR THERMAL  
SYSTEM

**TEZE DISERTAČNÍ PRÁCE**

SHORT VERSION OF DOCTORAL THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Ing. Petr Jelínek**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. Jiří Sedlák, CSc.**

**BRNO 2019**

### **Klíčová slova**

Referenční klimatický rok, Meteonorm, solární termický systém, pasivní dům, numerická simulace

### **Key words**

Test reference year, Meteonorm, solar thermal systém, passive house, numerical simulation

### **Místo uložení rukopisu disertační práce**

Rukopis disertační práce je uložen v archivu pedagogicko-vědeckého oddělení Fakulty stavební VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno.

© Ing. Petr Jelínek, 2019

## OBSAH

OBSAH.....	3
A ÚVOD.....	4
B SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....	5
B.1 Stav solárních termických systémů v ČR.....	5
B.2 Návrh solárního termického systému .....	5
B.2.1 Zjednodušené výpočetní postupy .....	6
B.2.2 Numerické simulace .....	6
B.3 Klimatická data.....	6
B.3.1 Referenční klimatický rok dle ČSN EN ISO 15927-4 .....	7
B.3.2 Meteoronorm.....	8
C CÍLE PRÁCE.....	10
C.1 Specifikace cílů práce .....	10
C.2 Prostředky pro dosažení cílů.....	10
D MATERIÁL A METODIKA .....	10
D.1 Objekt RD v Rapoticích .....	10
D.2 Solární termický systém RD v Rapoticích.....	11
D.3 Monitoring solárního termického systému a GLB v Rapoticích .....	12
D.4 Software pro numerickou simulaci a klimatická data.....	13
E VÝSLEDKY A DISKUZE.....	13
E.1 Monitorování solárního termického systému, vnitřního prostředí a klimatických podmínek na vybraném objektu .....	13
E.1.1 Monitoring solárního termického systému .....	13
E.1.2 Globální sluneční záření.....	15
E.1.3 Model výpočtu difuzní složky globálního záření.....	16
E.2 Porovnání GLB jednotlivých klimatických roků použitých v numerických simulacích	17
E.3 Numerická simulace solárního termického systému pro různé okrajové podmínky.	19
E.3.1 Kontrola numerické simulace .....	19
E.3.2 Porovnání variant klimatických roků 2013/2014.....	19
E.3.3 Porovnání variant klimatických roků 2014/2015.....	22
E.4 Statistické porovnání měření a numerických simulací solárního termického systému	23
E.4.1 Roční statistické porovnání .....	23
E.4.2 Měsíční statistické porovnání .....	24
F ZÁVĚR.....	25
G SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	27
H PŘEDSTAVENÍ AUTORA .....	29
I ABSTRACT .....	31

## A ÚVOD

S technologickým pokrokem a rozvojem průmyslu po 2. světové válce rychle rostla spotřeba nerostných surovin. Závislost na této komoditě se silně projevila během 1. a 2. ropné cenové krize v 70. letech 20. století, které vyvolaly nejistotu a ekonomickou stagnaci (Quaschnig, 2010). V roce 1972 vydal Římský klub svoji zprávu - Meze růstu, kde upozorňoval na řadu problémů lidstva včetně přelidnění, znečištění životního prostředí, vyčerpání přírodních zdrojů, růstu životní úrovně a s tím spojených zvyšujících se energetických nároků (Meadows, 1972). Všechny tyto události a mnoho dalších vedly k celé řadě mezinárodních smluv a dohod - Kjótský protokol, Pařížská dohoda a další, které se snaží dílčí problémy řešit v celosvětovém měřítku. V rámci EU jsou úsporné strategie v budovách řešeny prostřednictvím směrnic Evropského parlamentu a Rady o energetické náročnosti budov - tzv. EPBD. V roce 2018 vyšla již 3. směrnice pod označení 2018/844/EU (EPBD III, 2018) formou změnového předpisu současně dvou stávajících směrnic - 2010/31/EU a 2012/27/EU. Dle EPBD budou od 1.1.2021 všechny nové budovy postaveny s téměř nulovou spotřebou energie a tato energie by měla být ve značném rozsahu pokryta z OZE.

Nynější spotřeby energie na vytápění u nových budov jsou na takové úrovni, že z hlediska energetických úspor je třeba se také zaměřit na ostatní spotřeby v budově (ohřev teplé vody, osvětlení, chlazení apod.). Dle Českého statistického úřadu bylo v roce 2015 17,4 % energie spotřebovaných v budovách pro bydlení použito na ohřev teplé vody (Spotřeba paliv a energií v domácnostech, 2017).

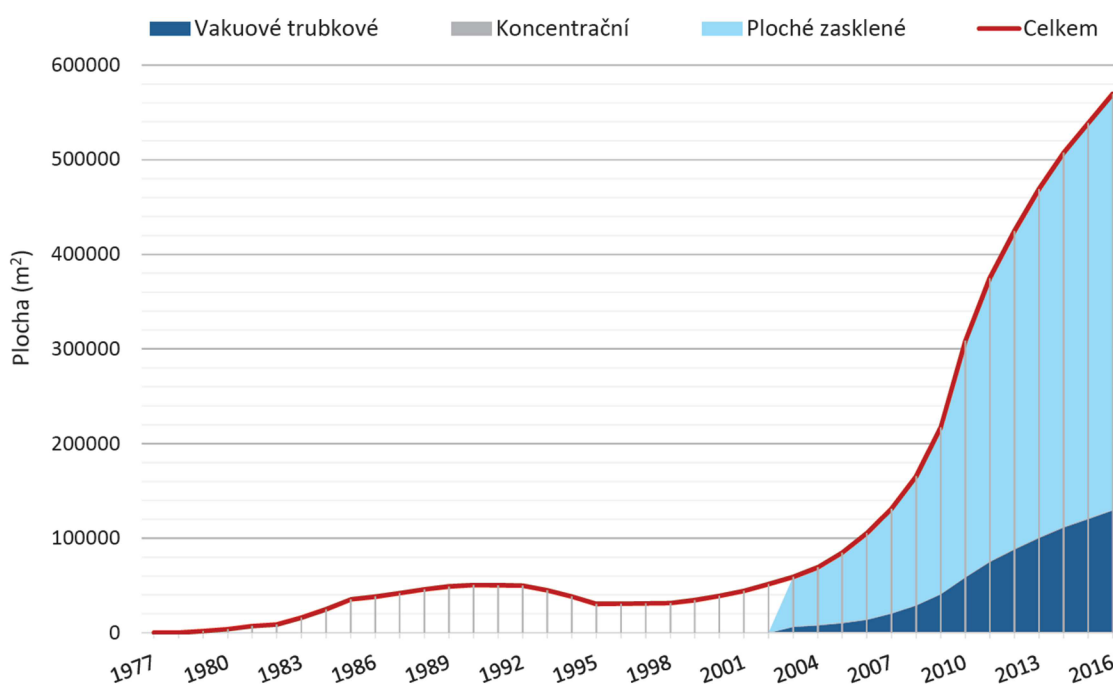
Globální rozvoj OZE v novém tisíciletí je zapříčiněn především rychlým snižováním finančních nákladů na vybudování a rostoucí elektrifikací společnosti. Oproti roku 2010 se náklady na baterie snížily o 40 % a na fotovoltaické panely o 70 % (World Energy Outlook 2018, 2017). Snížení finančních nákladů je tak výrazné, že se již některé OZE stali výhodnější než stávající velké energetické projekty dle analytické studie newyorské investiční banky Lazard (Lazard, 2018). Nevýhodou některých OZE je jejich klimatická závislost a tedy proměnlivá výroba energie. Z důvodu finanční návratnosti OZE je potřeba stanovit co nejpřesněji předpokládaný výnos systému a k tomu potřebujeme znát informace o klimatických podmínkách v dané lokalitě. S výhodou se pro to používají klimatické roky, které jsou sestavené tak, aby reprezentovaly dlouhodobý trend klimatu v dané lokalitě. Klimatické roky se kromě návrhu mohou použít i pro zpětné hodnocení systému OZE a k jejich následné optimalizaci, pokud nejsou k dispozici místní měření klimatických podmínek.

## B SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

### B.1 Stav solárních termických systémů v ČR

Převážná většina instalací solárních termických systémů v ČR je v rodinných domech. Jedná se o malé instalace určené zpravidla pouze pro 1 rodinu. Větší instalace pro bytové domy a ostatní budovy jsou velmi málo rozšířené.

Na Obr. 1 je vidět odhad vývoje instalované plochy činných solárních termických kolektorů. Největší skok proběhl v letech 2009 až 2011. Odhad využitelné tepelné energie pro rok 2016 je 218,6 MWh.



Obr. 1 - Vývoj plochy činných solárních termických kolektorů (Obnovitelné zdroje energie v roce 2016, 2017)

### B.2 Návrh solárního termického systému

Při návrhu malého solárního termického systému s krátkodobou akumulací se z důvodu ušetření ekonomických prostředků investora mnohdy navrhuje systém dle zkušeností montážní/projekční společnosti bez podrobnější projektové dokumentace či provedení výpočtů pro ověření funkčnosti systému.

Zásadní je stanovení objemu solárního zásobníku, který závisí na řadě parametrů, především na požadované funkci systému, navrhovaném solárním pokrytí, velikosti kolektorového pole a předpokládaného odběru TV. Pro krátkodobou akumulaci (v řádu několika dnů) se nejčastěji navrhuje objem solárního zásobníku o velikosti 50 až 70 litrů na 1 m<sup>2</sup> plochy apertury kolektorového pole, který nám zajistí optimální variantu mezi dostatečným solárním pokrytím a vynaloženými finančními

prostředky (Matuška, 2012). Při malém odběru teplé vody ale hrozí, že akumulační schopnost zásobníku bude malá a nevyužije se tedy potenciál solární termické soustavy. Velikost solárního zásobníku se pro běžný provoz navrhuje na 1,5 až 2 násobek denní spotřeby TV (Ladener, 2003). Obecný návrh solárního termického systému neřeší pouze velikost zásobníku TV a kolektorového pole, ale týká se řady dalších případných prvků navrhovaného systému. Především se jedná o důkladné provedení zateplení zásobníku TV včetně všech armatur (potrubí, čidla apod.) a minimalizování délky rozvodů a cirkulace TV, abychom omezili tepelné ztráty a zjednodušili hydraulické vyrovnání soustavy.

### **B.2.1 Zjednodušené výpočetní postupy**

Pro běžnou stavební praxi je použití simulačních nástrojů komplikované, z časové a finanční náročnosti a obtížně dostupných vstupních parametrů. Proto se často uchylujeme k použití zjednodušených výpočetních postupů. Zjednodušeným výpočtem lze těžko plně postihnout realitu provozu solárního termického systému, nicméně výpočet alespoň ukáže, zda vlastní návrh od počátku dává smysl při nízkém počtu vstupních údajů. Nástroje jsou zpravidla vybaveny jednoduchými solárními soustavami, které nám nedovolují jejich modifikaci. Údaje o klimatických datech jsou omezeny zpravidla na trvale definované polohy různého počtu.

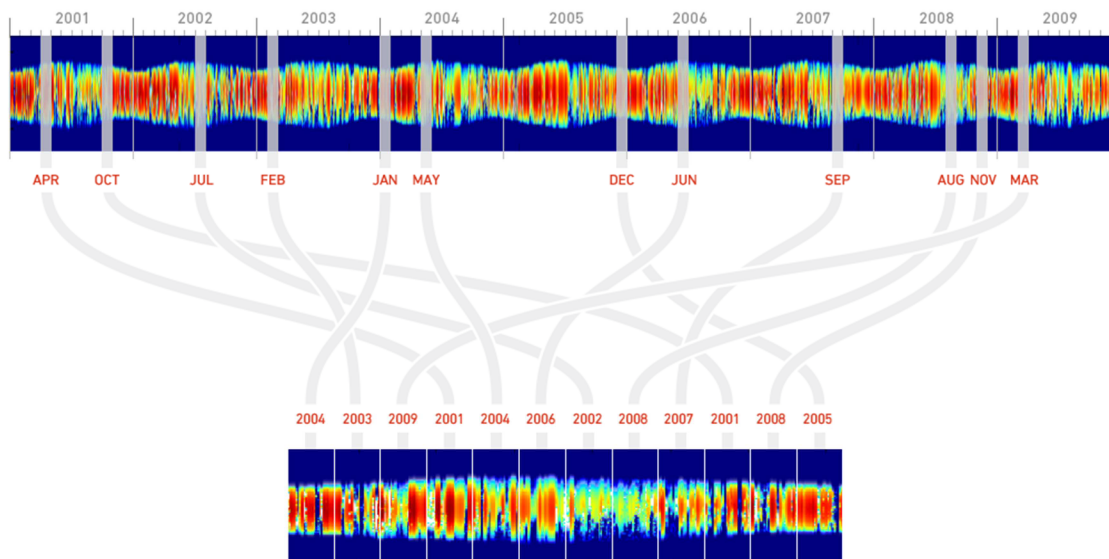
### **B.2.2 Numerické simulace**

Pro detailnější práci se solárními termickými systémy nám slouží numerické simulace, které nahradily finančně a časově náročné experimentální měření. Vývoj simulací lze zhrnout do 3 fází: numerické techniky, analogové počítače a digitální počítače s uživatelsky příjemným prostředím (Shrivastava, 2017). Simulace pracují s předvídatelnými podmínkami jako jsou technické systémy budovy a s obtížně předvídatelnými podmínkami jako jsou klimatické podmínky a provoz systému uživateli. Simulace využívají matematické modely jednotlivých prvků definovaných podrobnými parametry. Matematické modely pocházejí z výsledků laboratorních zkoušek, měření soustav v praxi či ze simulací jiných softwarů (Matuška, 2013).

## **B.3 Klimatická data**

S rostoucí potřebou po dlouhodobých klimatických datech pro numerické simulace se postupně vyvíjely meteorologické roky, které se vytvářejí z historických dat, obvykle v délce 20 až 30 roků. Klimatický rok obsahuje 8760 hodinových dat různých klimatických parametrů (atmosférická teplota a vlhkost, parametry slunečního záření a další). Existují 2 základní principy sestavení meteorologického roku:

- identifikace nepřetržitého 12měsíčního období jako typického roku pro dané období;
- sestavení 12 typických měsíců z dlouhodobého souboru dat.



Obr. 2 - Ukázka výběru typických měsíců pro TMY (Solargis, 2018)

Klimatické roky jsou syntetizovány tak, aby reprezentovaly dlouhodobé statistické trendy a vzory meteorologických dat z dlouholetého měření. Rozdíly v klimatických rocích jsou zpravidla způsobeny různými váhovými faktory na jednotlivých klimatických parametrech.

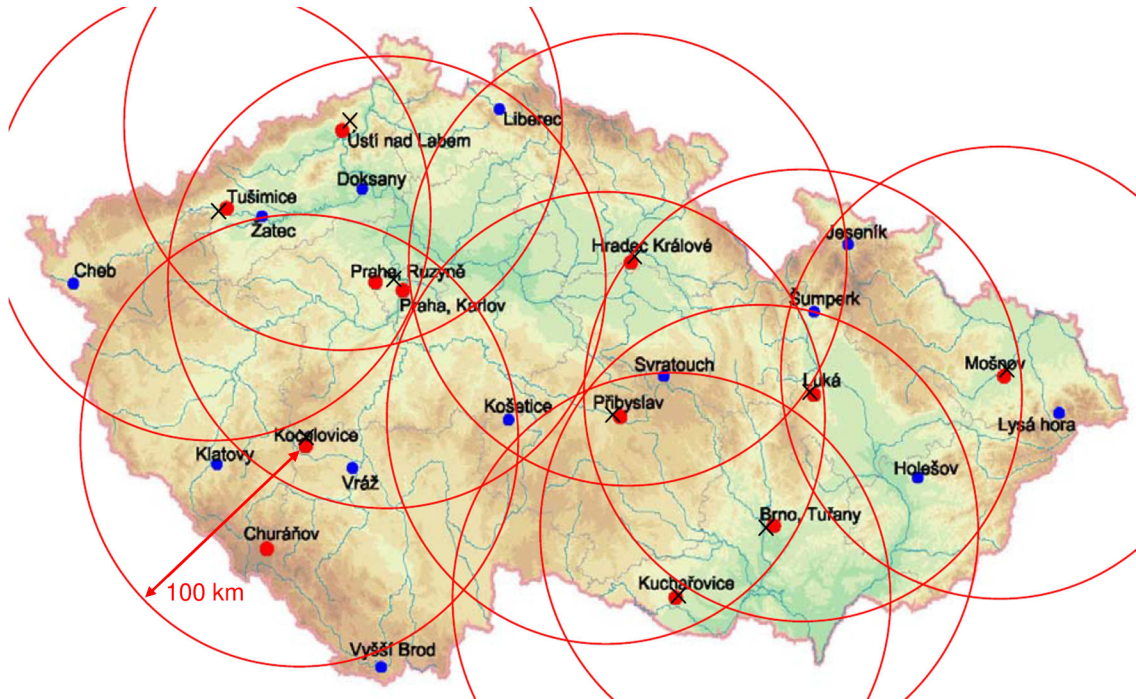
### B.3.1 Referenční klimatický rok dle ČSN EN ISO 15927-4

Norma ČSN EN ISO 15927-4 (ÚNMZ, 2011) specifikuje statistickou metodu sestavení referenčního klimatického roku (dále jen RKR) z hodinových dat meteorologických parametrů předchozího 15letého období pro posuzování průměrné roční energie na vytápění a chlazení. Data RKR je také možné použít pro dlouhodobé hodnocení a posuzování energetické efektivity aktivních solárních systémů. RKR obsahuje celkem 11 meteorologických parametrů včetně globálního, přímého a difúzního slunečního záření (Sedlák, 2010).

Klimatická data RKR jsou vytvořena z naměřených hodinových klimatických dat sedmi páteřních a pěti doplňkových meteorologických stanic (Obr. 3) z referenčního období 1991 - 2005. Stanice byly vybrány na základě jejich geografického rozložení a kvality a existenci naměřených hodinových dat.

Z důvodu rozčlenění území ČR na jednotlivé oblasti RKR (rajonizace) bylo nutné provést detailní geografickou analýzu z dostatečného počtu meteorologických stanic. Bylo použito celkem 297 stanic ČHMÚ s měřením z období 1961 až 2000.

Dle statistické analýzy byla každá stanice přiřazena do územní příslušnosti k páteřní stanici. Pro některé stanice RKR nebyly k dispozici potřebné parametry slunečního záření. A bylo nutné je doplnit o údaje z podpůrných a referenčních stanic radiační sítě ČHMÚ (Květoň, 2010).



Obr. 3 - Rozmístění stanic RKR (páteřní a doplňkové - červené) a podpůrných stanic (modré), (Květoň, 2010)

Při výpočtu parametrů GLB, DIF a DIR se vycházelo z měření SSV referenčních stanic dle studie ČHMÚ vycházející ze vztahů doporučených WMO a upravených pro oblast ČR. Při dopočítávání dat GLB se používala 1 referenční stanice a při DIF se používaly 2 referenční stanice. Z již kompletních dat se vytvořily staniční RKR pro páteřní a doplňkové stanice (Vaníček, 2010).

Tvorba RKR je založena na statistickém výběru „nejlepších“ měsíců pomocí použití Finkelstein-Schaferovy statistiky a dalších statistických kroků a následného sestavení RKR. Základní parametry, podle kterých se vybírají „nejlepší“ měsíce, jsou teplota a vlhkost vzduchu, globální sluneční záření a jako doplňkový parametr je použita rychlost větru. Chybějící data byla doplněna prostorovou a časovou interpolací s použitím údajů referenčních a podpůrných stanic.

### B.3.2 Meteonorm

Meteonorm je obsáhlá klimatologická databáze, která obsahuje kromě množství klimatologických údajů z celého světa také řadu výpočetních modelů pro jejich generování. Vyvinula ho společnost Meteotest, která působí již od roku 1981

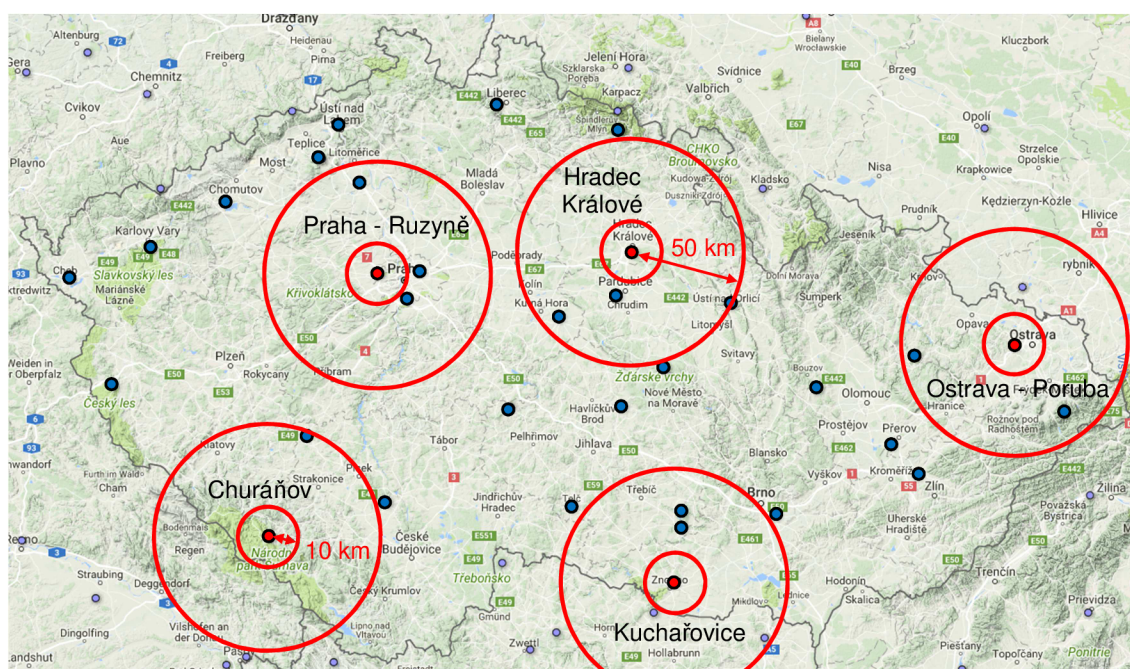


v oblasti poskytovatele služeb o počasí, klimatu a životním prostředí (Meteotest, 2018).

Meteorologická data jsou použita z několika mezinárodních databází, které byly zkontrolovány a propojeny do komplexní databáze (Remund, 2017):

- GEBA (Global Energy Balance Archive) - sluneční záření z celého světa pro období 1991 - 2010 (hlavní zdroj těchto parametrů) ;
- WMO Climatological Normals - základní meteorologické parametry z období 1961 - 1990 (hlavní zdroj těchto parametrů) ;
- a další zdroje.

U některých stanic byla data rozšířena o údaje ze sousedních stanic pomocí diferenciálního postupu. Celkem databáze obsahuje data z 8351 stanic, z toho 1648 je v Evropě a zhruba na 1/3 stanic se měří sluneční záření. Na Obr. 4 je přehled využívaných meteorologických stanic v ČR (Meteonorm, 2018).



Obr. 4 - Meteorologické stanice v ČR využívané aplikací Meteonorm 7.2, červeně označené stanice s měřením slunečního záření (Meteonorm, 2018)

Pro období 1981 - 1990 a 1991 - 2010 jsou k dispozici údaje o solárním záření (1996 - 2015 pro Švýcarsko, Německo a Velkou Británii). Pro období 1961 - 1990 a 2000 - 2009 jsou k dispozici údaje pro ostatní meteorologické parametry.

V oblastech kde nejsou k dispozici data z pozemních meteorologických stanic se o doplnění údajů stará 5 geostacionárních družic. Pro Evropu jsou k dispozici snímky z 1 družice (Meteosat Second Generation satellite) s vysokým rozlišením (2 - 3 km)

z období 2004 - 2010. Meteorologická data se pro požadované místo získají interpolací z nejbližších 6 meteorologických stanic, pokud je jejich vzdálenost v Evropě menší než 10 km od daného místa. Pokud je vzdálenost v rozmezí 10 až 50 km, tak se použije kombinace dat z pozemních stanic a družic (Obr. 4). Při větší vzdálenosti se využívají pouze data z družice.

## **C CÍLE PRÁCE**

### **C.1 Specifikace cílů práce**

Disertační práce řeší využití RKR pro návrh a hodnocení solárního termického systému. Využití hodinových klimatických dat je způsob jak optimalizovat návrh solárních termických systémů v daných klimatických podmínkách a lokalitě.

#### **Cíle práce:**

1. Monitorování solárního termického systému, vnitřního prostředí a klimatických podmínek na vybraném objektu
2. Porovnání GLB jednotlivých klimatických roků použitých v numerických simulacích
3. Numerická simulace solárního termického systému pro různé okrajové podmínky
4. Statistické porovnání měření a numerických simulací solárního termického systému

### **C.2 Prostředky pro dosažení cílů**

Ve spolupráci s projekčním ateliérem ELAM, byl vybrán objekt RD v obci Rapotice. Budova byla vybavena měřicím zařízením pro dlouhodobé měření a záznam klimatických dat. Od švýcarské společnosti Vela Solaris byl zakoupen software Polysun EDUCATIONAL, ve kterém byly prováděny numerické simulace. Polysun obsahuje generátor klimatických dat Meteororm a umožňuje import vlastních klimatických dat (Polysun, 2018).

## **D MATERIÁL A METODIKA**

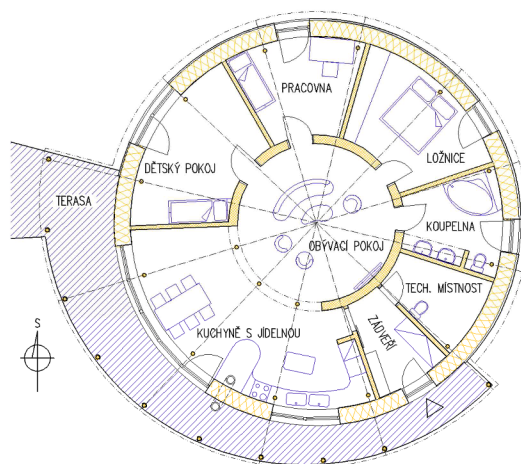
### **D.1 Objekt RD v Rapoticích**

Samostatně stojící jednopodlažní objekt válcovitého tvaru bez podsklepení se zelenou extenzivní plochou střechou. Svislá nosná konstrukce stavby se skládá z vnitřního akumulčního vápenopískového jádra a 15 nosných dřevěných sloupů. Obvodová stěna je z nenosných balíků slámy tl. 500 mm. Dvouplášťová plochá střecha je zateplena lisovanými balíky slámy tl. 800 mm a střed je doplněn foukanou

celulózou. Stavba je postavena na ŽB základové desce tl. 250-270 mm, která je založena na granulátu z pěnového skla tl. 500 mm.



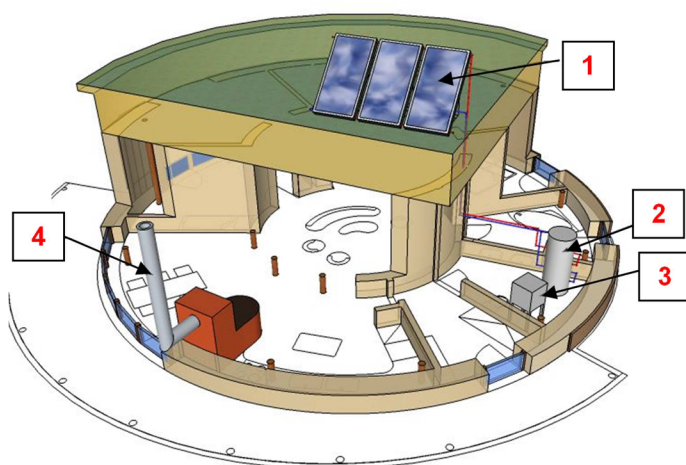
Obr. 5 - RD v Rapotících (foto autora)



Obr. 6 - Dispozice RD (ELAM, 2010)

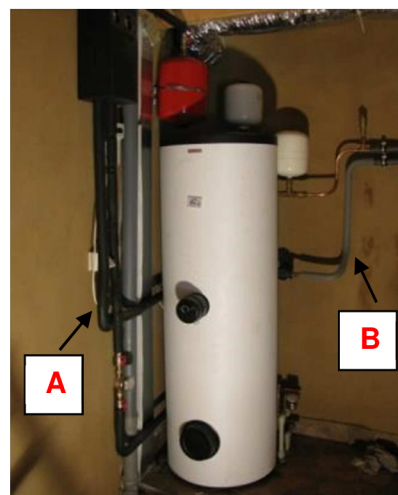
## D.2 Solární termický systém RD v Rapotících

Na ploché střeše jsou nainstalovány 3 ploché kapalinové kolektory SK 218 FreeSun se sklonem 45°, optimálně orientované na jih. Solární akumulční zásobník OKC 300 NTRR/SOL má 2 integrované trubkové výměníky a dotápěcí elektrickou tyč. Solární akumulční zásobník je přes horní trubkový výměník napojen na VZT jednotku s topným registrem sloužícím k dohřevu přiváděného vzduchu z VZT jednotky.



1 - termické kolektory SK 218; 2 - akumulční zásobník OKC; 3 - VZT jednotka ILTO W80;  
4 - akumulční kamna

Obr. 7 - Schéma solárního systému

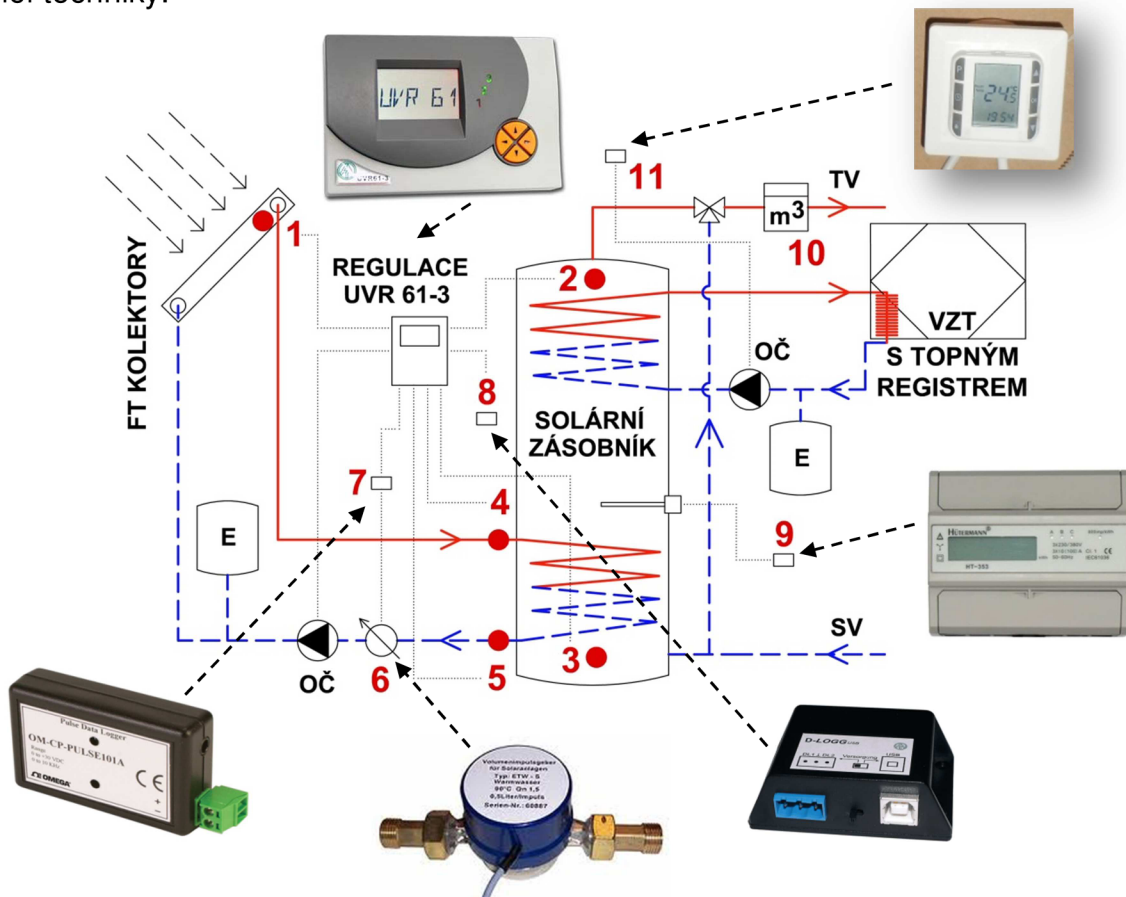


A - primární okruh, B - VZT okruh

Obr. 8 - Solární akumulční zásobník (foto autora)

### D.3 Monitoring solárního termického systému a GLB v Rapoticích

Na Obr. 9 je uvedeno schéma řízení a monitoringu solárního termického systému. Středem monitoringu je programovatelná jednotka UVR 61-3 s integrovaným měřičem tepla (TA, 2018). Systém je vybaven řadou další měřecí a řídicí techniky.



- 1-5** - teplotní čidlo; **6** - čidlo objemového proudu VSG 1,5; **7** - pulzní datalogger Omega OM-CP-PULSE101A; **8** - datalogger D-LOGGusb; **9** - třífázový elektroměr HT-353D; **10** - Vodoměr SENSUS Residia Jet, **11** - Prostorový termostat

Obr. 9 - Schéma řízení a monitoringu solárního termického systému

Na střešní konstrukci budovy byla umístěna platforma s pyranometrem FLA628S pro měření globálního slunečního ozáření. Pro záznam dat byl použit datalogger Almemo 2590-4S s externí pamětí SD umístěný uvnitř budovy (Ahlborn, 2018). Propojení zařízení bylo zajištěno pomocí průstupů skrze střešní konstrukci pro vedení primárního kruhu solárního systému. Srovnávací měření pyranometru proběhlo na půdě VUT FAST. Porovnávalo se měření pyranometru FLA628S s měřením permanentní družicové stanice TUBO (TUBO, 2018), kde je umístěn pyranometr CMP3 (Kipp & Zonen, 2018). Rozdíl měření byl v desítkách  $W \cdot m^2$ , takže shoda byla dostatečná pro potřeby měření.

#### D.4 Software pro numerickou simulaci a klimatická data

Na základě výběrových kritérií byl z dostupných softwarů vybrán POLYSUN ve verzi Educational. Software byl porovnáván jak s experimentálním měřením, tak i se simulacemi v dalších softwarech, a dosahuje dobrých přesností v řádu 5 až 10 % (Kalogirou, 2014). V publikaci (Sotnikov, 2017) je provedeno přímé porovnání solárního systému pro vytápění a ohřev TV ve Švédsku se softwarem TRNSYS 17 citlivostní analýzou vybraných parametrů pomocí klimatických dat z aplikace Meteonorm. Referenční hodnotou bylo přímé monitorování systému. Relativní odchylky ročních klíčových hodnot pro TRNSYS a Polysun jsou  $< 2\%$  resp.  $< 8\%$ .

Pro potřeby přímého a statistického porovnání naměřených hodnot solárního termického systému s numerickou simulací v programu Polysun Educational byly použity 2 hlavní sady klimatických dat:

- **Varianta A - Referenční klimatický rok**
- **Varianta B - Meteonorm**

Jako doplňkové sady klimatických dat byly sestaveny 2 klimatické testovací roky z klimatických dat naměřených přímo na vybraném objektu RD v Rapoticích:

- **Varianta C - I. testovací rok**, období 19.2 2013 až 18.2 2014 (2013/2014)
- **Varianta D - II. testovací rok**, období 5.6 2014 až 4.6 2015 (2014/2015)

Doplňkové varianty C a D mají sloužit jako testovací klimatické roky pro kontrolu přesnosti softwaru Polysun. Naměřená data byla porovnána s numerickou simulací, která je založena na okrajových klimatických podmínkách měřených přímo na stavbě v době probíhajícího měření solárního termického systému.

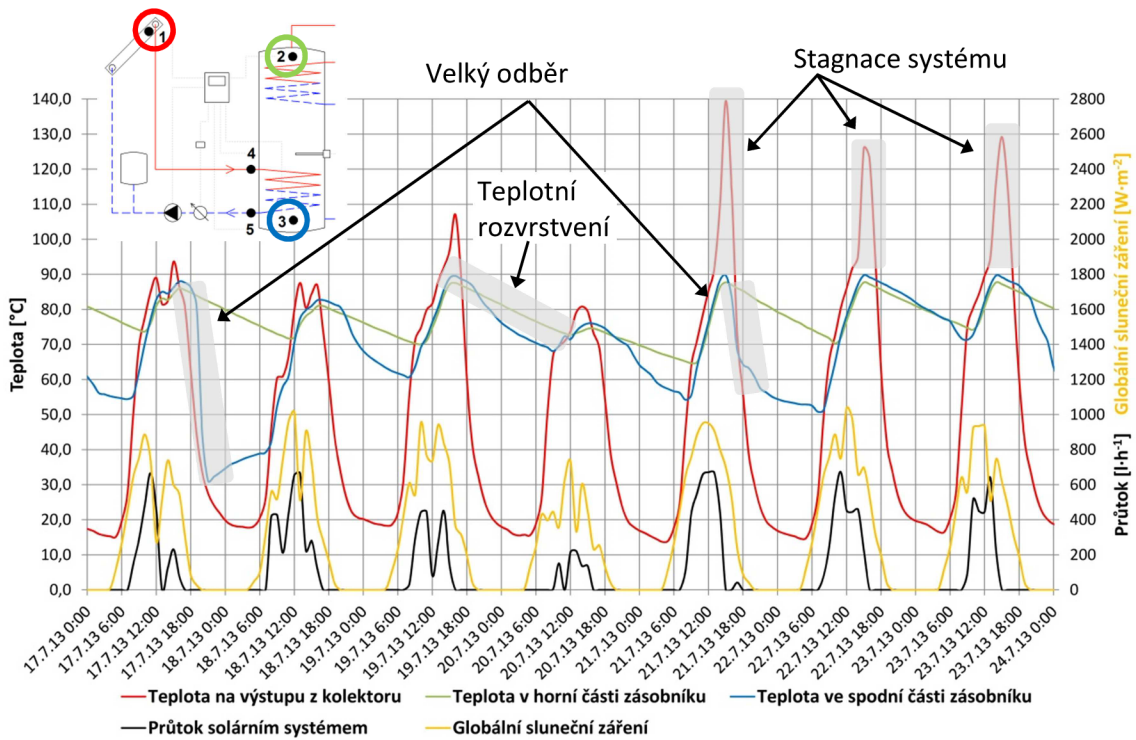
## E VÝSLEDKY A DISKUZE

### E.1 Monitorování solárního termického systému, vnitřního prostředí a klimatických podmínek na vybraném objektu

#### E.1.1 Monitoring solárního termického systému

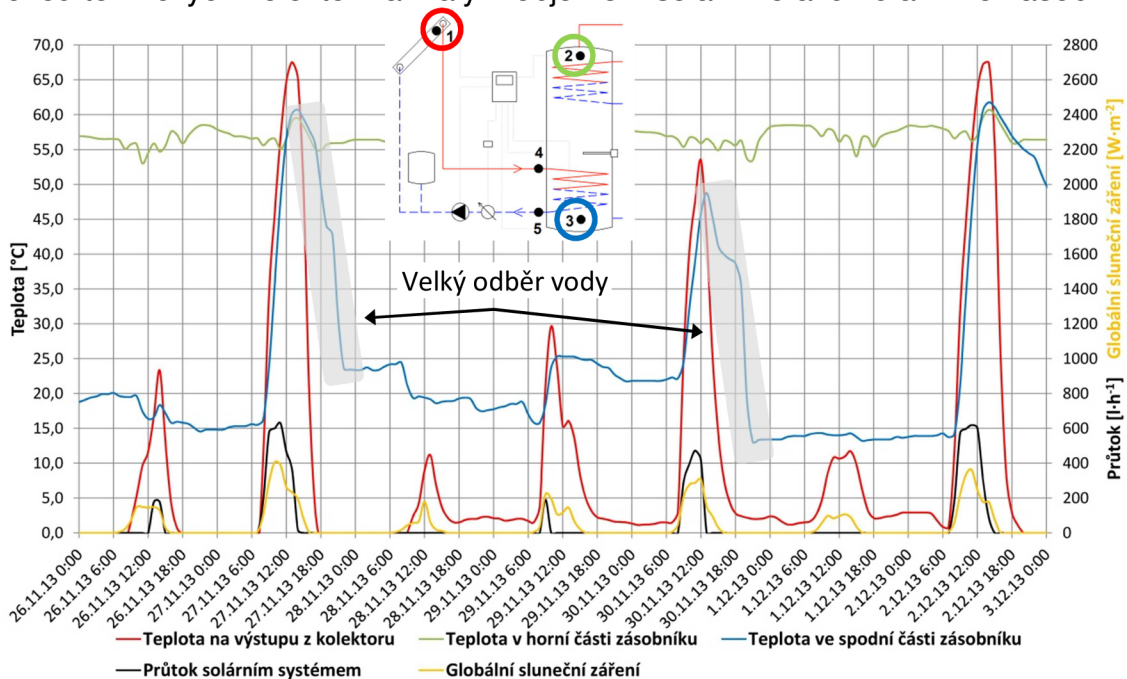
Monitoring solárního systému probíhal v období 4.6 2012 až 28.7 2015. Jedná se tedy o více než 3leté měření v hodinovém kroku záznamu dat. Na Obr. 10 a Obr. 11 je uvedena ukázka pro letní a zimní období, kde je popsáno chování systému během provozu.

Z Obr. 10 je patrné, že solární termický systém dokáže v letním období vyhřát celý zásobník na  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  za pár hodin.



Obr. 10 - Záznam měření solárního termického systému v letním období 17. až 24.7 2013

Z důvodu nepravidleného odběru TV mladé rodiny, který je především ve večerních a ranních hodinách, a malého objemu zásobníku poté nastává stagnace. Ke stagnaci běžně dochází již v brzkých popoledních hodinách, není tedy vyčerpán plný potenciál solárního termického systému. V letním období prakticky nedochází k rozvrstvení teploty v zásobníku. To je způsobeno především velkou plochou termických kolektorů a malým objemem solárního akumulčního zásobníku.

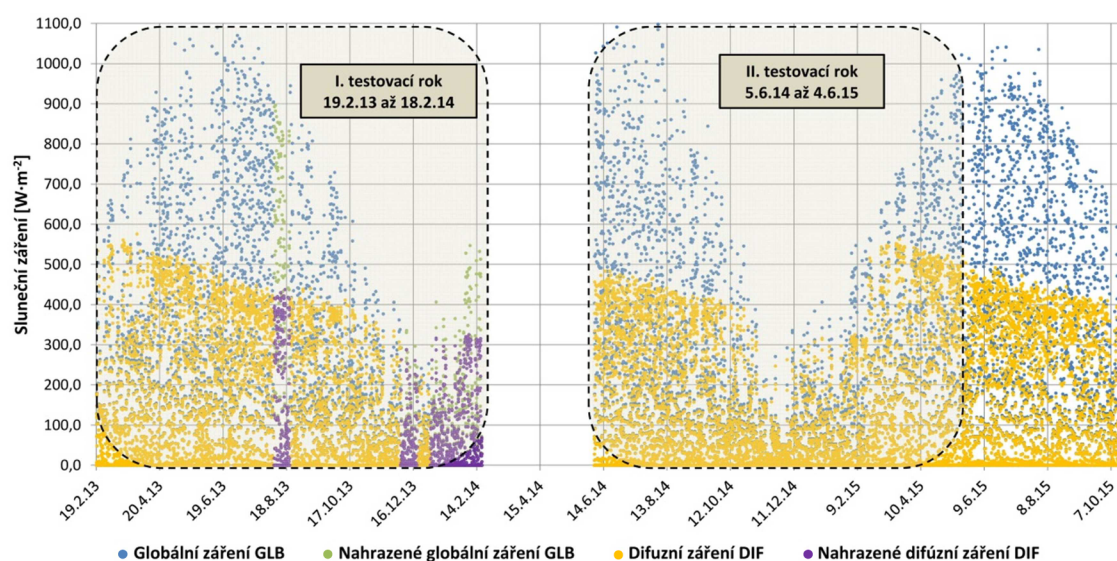


Obr. 11 - Záznam měření solárního termického systému v zimním období 26.11 až 3.12 2013

V zimním období je výrazný teplotní rozdíl v akumulčním zásobníku (cca 40 °C), mezi prakticky konstantní teplotou v horní části zásobníku zajištěnou elektrickou topnou tyčí a velmi proměnlivou teplotou ve spodní části zásobníku. Nízká teplota ve spodní části zásobníku zajišťuje, že i při malých hodnotách globálního slunečního ozáření solární termický systém přispívá k ohřevu TV (Jelínek, 2014).

### E.1.2 Globální sluneční záření

Z důvodu chyb zapříčiněných manipulací s měřicí soustavou globálního slunečního ozáření nejsou ve sledovaném období data I. testovacího roku kompletní, došlo ke 3 výpadekům. Nahrazená data byla vybrána podle podobnosti délky trvání slunečního svitu nahrazovaného období vůči chybějícímu období. DTSS je jedním z klimatických parametrů, které již od počátku minulého století slouží k výpočtu globálního slunečního záření (Ångström, 1924). Protože nejsou dostupná data měření délky trvání slunečního svitu obce Rapotice, byla použita data profesionální meteorologické stanice Brno, Tuřany (id: B2BTUR01) ležící v nadmořské výšce 241 m n.m., která je vzdálená od obce Rapotice vzdušnou čarou cca 33 km.



Obr. 12 - Průběh měřeného globálního slunečního ozáření a vypočítaného difúzního slunečního ozáření na budově RD Rapotice, **fialovou** a **zelenou** barvou je označeno nahrazené měření

Celkem bylo nahrazeno 80 dní, tedy 21,9 % z I. testovacího roku. 65 měněných dní je ovšem ze zimního období. Při porovnání dat globálního slunečního záření z I. a II. testovacího roku, mimo dat nahrazovaných, tedy 179,1 dní bylo dosaženo hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu  $R = 0,779$ , se jedná tedy o silnou korelaci.

### **E.1.3 Model výpočtu difuzní složky globálního záření**

#### **Reindl model**

V roce 2012 byla publikována studie, kde bylo provedeno porovnání 8 separačních modelů výpočtu difúzního záření pro oblast Vídně, které byly porovnány a statisticky vyhodnoceny. Vzdálenost obce Rapotice od Vídně je cca 110 km, obě obce leží v nadmořské výšce do 500 m n.m., použitelnost modelů je tedy pro danou obec dostatečná. Z těchto 8 posuzovaných modelů jsou 3, které vykazují v dostatečném počtu měření přiměřenou chybu. Přibližně 62 % výsledků získaných na základě těchto tří modelů vykazuje relativní chybu menší než  $\pm 20$  % oproti reálnému měření (Dervishi, 2012).

Z výše uvedených byl pro potřeby této práce vybrán jako referenční model Reindl pro oblast Vídně, který vykazuje menší chybu, čím je větší výška slunce nad obzorem, oproti ostatním modelům ve výše zmiňované studii. Další jeho výhodou je použití většího počtu vstupních proměnných, které by měly více zohlednit lokalitu, ve které probíhalo měření. Jedná se o polynomický model, který byl vyvinut pomocí měření na 5 místech v USA a v Evropě (Reindl, 1990).

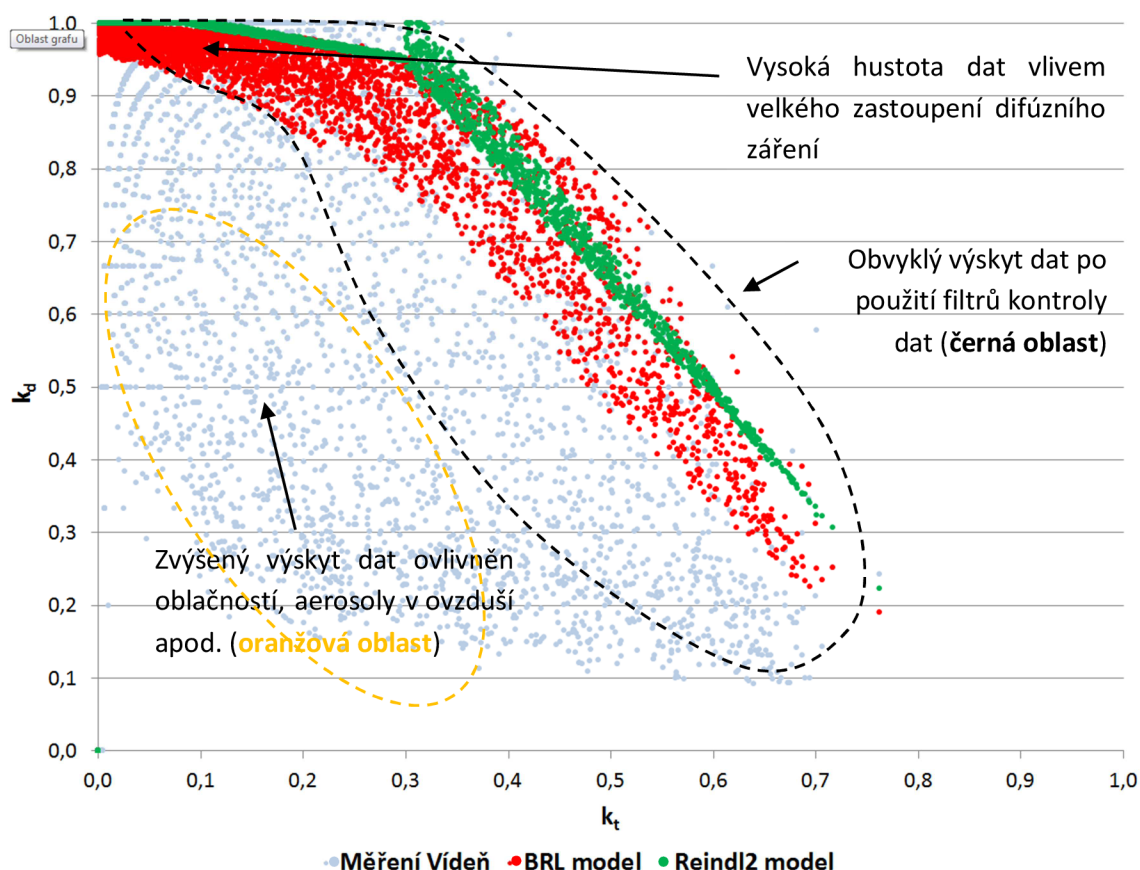
#### **BRL model**

Jako hlavní separační model pro tuto práci byl vybrán BRL model (Boland - Ridley - Lauret). Jedná se o model založený na logistické funkci, která obsahuje celkem 5 proměnných včetně proměnné variability. Proměnná variabilita zohledňuje určitou setrvačnost atmosféry. Zapojení více proměnných je založeno právě na výzkumu prováděném v rámci vytvoření modelu Reindl. Zdroj modelu - logistická funkce byl sestaven primárně pro jižní polokouli. Později byl ale model upraven pro všeobecné použití. Výhodou modelu BRL je, že je založen na proměnných, které se odvozují a neměří se. Je tedy méně náročný na sestavení vstupních dat (Boland, 2008).

#### **Porovnání separačních modelů**

Pro porovnání obou modelů bylo použito celoroční měření globálního a difúzního slunečního ozáření stanice Wien - Hohe Warte z roku 2014. Stanice je v nadmořské výšce 203 m n.m. v zástavbě Vídně. Data byl získána z databáze WRDC (WRDC, 2018). Jedná se o surová data, která nebyla ošetřena žádnými filtry zohledňujícími kvalitu dat.





Obr. 13 - Porovnání závislosti parametrů  $k_d$  na  $k_t$  u modelů BRL a Reindl2 s měřením ve Vídni

Na Obr. 13 model BRL vykazuje lepší rozložení hodnot než model Reindl2. Model Reindl2 není schopen dostatečně pokrýt data v oblasti vysokých parametrů hodnot  $k_t$  a nízkých hodnot  $k_d$ , kde dosahuje model BRL lepších výsledků. Jedná se o oblast s vysokým energetickým významem pro solární systémy (přímé záření).

## E.2 Porovnání GLB jednotlivých klimatických roků použitých v numerických simulacích

### Roční porovnání

Roční sumy globálního ozáření poukazují na předpokládané nižší hodnoty u hlavních klimatických roků Meteororm a RKR, které odpovídají určitým průměrným hodnotám z víceletého období a reprezentují dlouhodobý trend klimatu v dané lokalitě. Menších odchylek vůči použitým doplňkovým klimatickým roků dosahuje Meteororm. Oproti klimatickému roku 2013/2014 resp. 2014/2015 dosahuje o 2,5 % menšího rozdílu než RKR.

## Měsíční porovnání

- **Porovnání s klimatickým rokem - Rapotice 2013/2014**

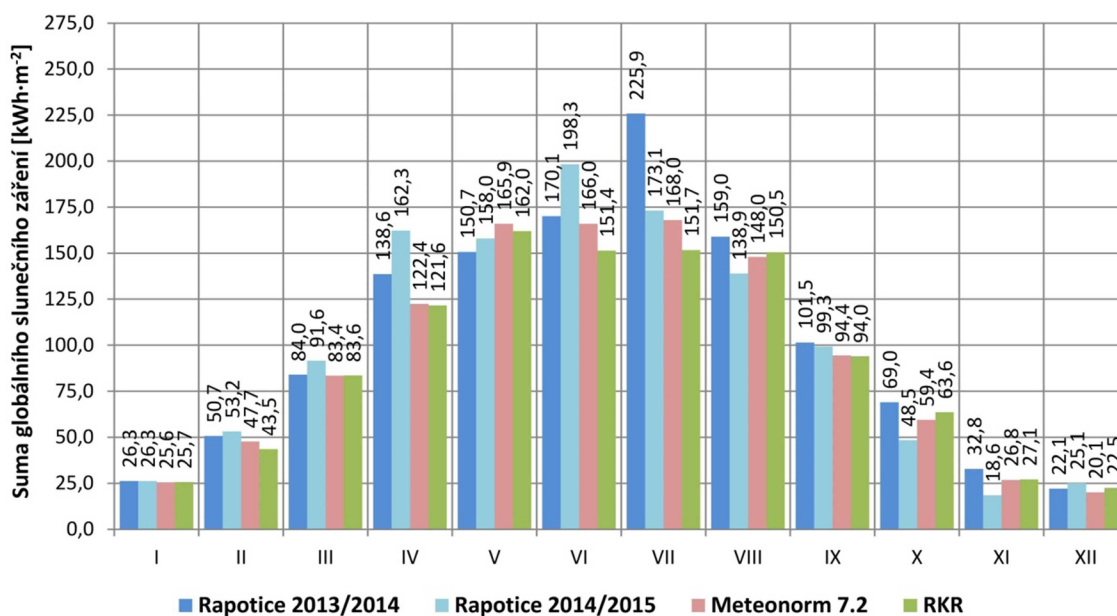
Nižší hodnoty rMAD a rRMSD v letním období poukazují na lepší shodu dat slunečního ozáření posuzovaných klimatických roků než v zimním období. Naproti tomu vysoké hodnoty rRMSD v zimním období, více než dvojnásobné oproti letnímu období, poukazují na velký rozptyl dat slunečního ozáření mezi jednotlivými klimatickými roky. Potvrzuje to i korelační koeficient R, který je průměrně v letním období o cca 1/4 vyšší. Meteor norm v porovnání rMAD a rRMSD vykazuje průměrně o 10 % menší odchylku než RKR.

- **Porovnání s klimatickým rokem Rapotice - 2014/2015**

Oproti předešlému porovnání nastává velký rozdíl, hodnoty rMAD a rRMSD jsou vysoké v průběhu celého období, což poukazuje na velké rozdíly mezi daty posuzovaných klimatických roků.

Hodnoty rMBD poukazují na výraznější nadhodnocení hodnot slunečního ozáření klimatických roků Meteor norm a RKR oproti měření na posuzované budově RD. RKR vykazuje mírně větší přesnost dat než Meteor norm z důvodu nižších odchylek hodnot rRMSD.

Použité statistické metody jsou popsány v disertační práci v kapitole D.4 Statistická analýza.



Obr. 14 - Porovnání měsíčních sum GLB mezi jednotlivými klimatickými roky použitých pro numerickou simulaci

Na Obr. 14 je provedeno měsíční porovnání sum globálního slunečního ozáření jednotlivých klimatických roků. V zimním období je patrná vyšší vyrovnanost mezi jednotlivými klimatickými roky. Především hlavně klimatické roky Meteororm a RKR jsou velmi podobné. V letním období jsou již rozdíly vyšší, projevuje se zde dynamika slunečního záření jednotlivých roků. Přestože v zimním období je dosahováno vyšších odchylek než v letním období, mezi měsíčními hodnotami jednotlivých sum GLB jsou velmi malé rozdíly. Zimní období je tedy velmi ovlivněno dynamickým vývojem počasí, ale celkové množství slunečního ozáření se výrazně nemění. V přechodném a letním období jsou odchylky menší, ale při vyšších hodnotách GLB se zde projevují větší rozdíly mezi celkovými sumami slunečního ozáření.

### **E.3 Numerická simulace solárního termického systému pro různé okrajové podmínky**

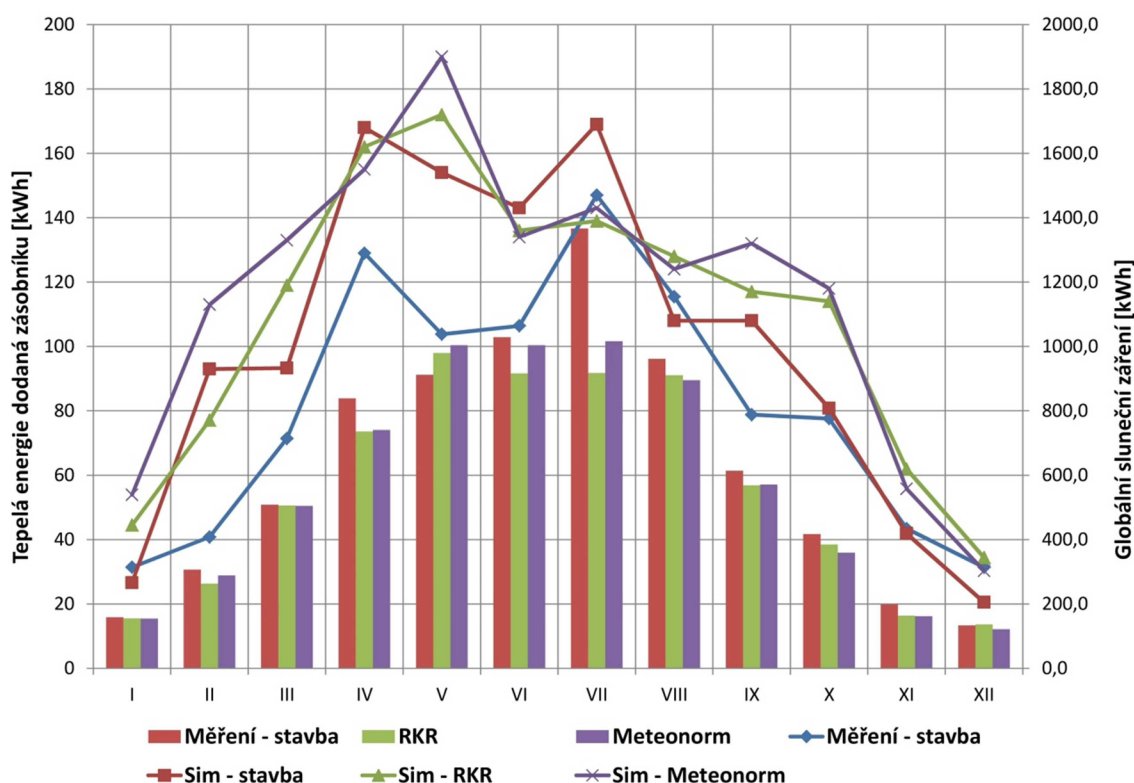
#### **E.3.1 Kontrola numerické simulace**

Doplňkové sady klimatických dat ve variantě C a D slouží pro ověření kvality numerické simulace. Ta je ovlivnitelná velkým množstvím zadávaných parametrů, které v kombinaci či samostatně mají velký vliv na přesnost výsledků, které poté mohou být zavádějící. Jako rozhodující parametr o použitelnosti a kvalitě simulace byla vybrána solární energie dodaná zásobníku  $S_{sol}$  s požadovanou odchylkou  $\pm 20\%$  oproti naměřeným údajům ze stavby ze stejného časového období. Klimatický rok ve variantě C dosahuje odchylky  $+19\%$  a ve variantě D  $+19,4\%$ . Výsledky splňují požadavky pro potřeby přesnosti modelu.

#### **E.3.2 Porovnání variant klimatických roků 2013/2014**

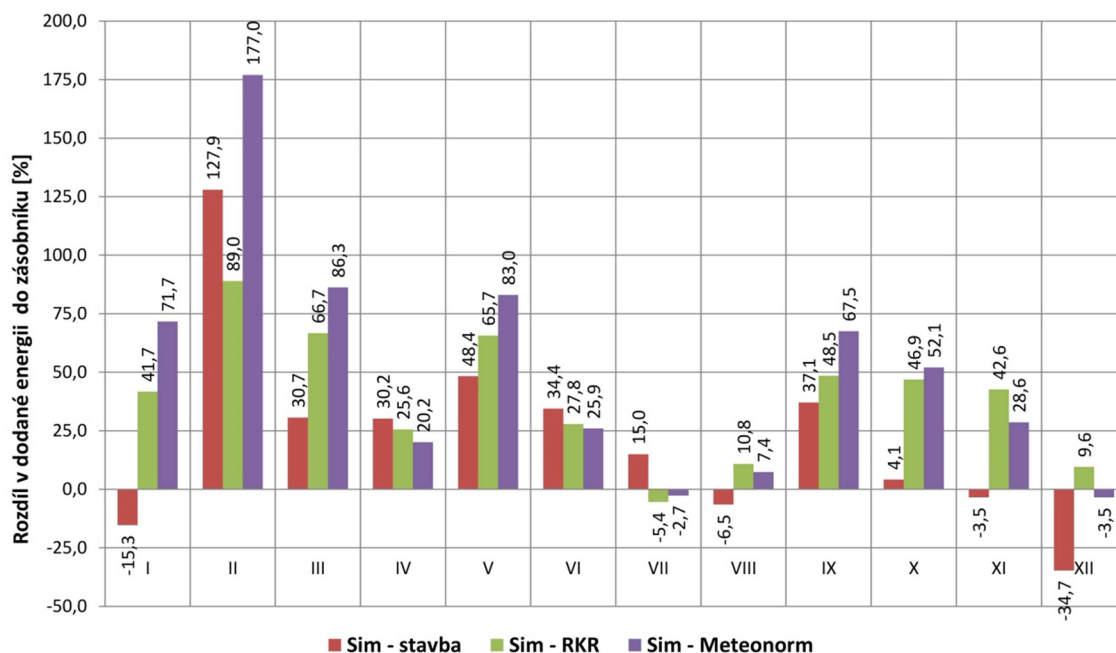
Na Obr. 15 je provedeno porovnání tepelných energií dodaných zásobníku solárním termickým systémem pro jednotlivé varianty simulací a přímého měření pomocí měřiče tepla v I. testovacím roce 2013/2014. Porovnání je doplněno o sumy globálního slunečního ozáření pro dané období a příslušné varianty simulací.

Po většinu roku vykazují všechny varianty numerických simulací větší tepelné zisky oproti měření na stavbě. Způsobeno je to především proměnlivým chováním uživatelů systémů oproti systematicky zadaným okrajovým podmínkám v numerické simulaci. V letním a zimním období jsou rozdíly relativně malé. V zimním období jsme limitováni množstvím slunečního záření, naopak v letním období je slunečního záření dostatek, ale systém není schopen dostupnou energii efektivně ukládat. Důvod je především v malé akumulární schopnosti posuzovaného solárního termického systému



Obr. 15 - Porovnání tepelné energie dodané zásobníku pro referenční rok 2013/2014 a různé varianty simulace, **sloupcový graf** znázorňuje globální sluneční ozáření a **spojnicový** dodanou energii zásobníku termálního solárního systému

Na jaře a na podzim jsou rozdíly mezi jednotlivými posuzovanými variantami větší, hlavním důvodem je dynamicky se vyvíjející počasí.



Obr. 16 - Rozdíly tepelné energie dodané zásobníku pro referenční rok 2013/2014, rozdíly jsou stanovené od měřených hodnot kalorimetrem

Na Obr. 16 jsou uvedeny procentuální rozdíly tepelné energie dodané zásobníku mezi měřeními na stavbě, která je brána jako referenční hodnota, a jednotlivými variantami simulace pro rok 2013/2014. V měsících VI až VIII vykazuje simulace RKR a Meteororm velmi podobných výsledků, maximální rozdíl mezi těmito variantami je 3,4 %. Ve zbylých měsících ovšem varianta simulace RKR oproti Meteorormu dosahuje lepších výsledků, a to až o desítky %, a v případě, že je lepší varianta Meteororm, je rozdíl zpravidla v řádu jednotek % (kromě měsíce XI). Simulace ve variantách RKR a Meteororm dle očekávání dosahují větších rozdílů oproti variantě s měřenými údaji na stavbě, ale v měsících VI až VIII jsou rozdíly poměrně malé.

Měsíční účinnost solárního termického systému je definována podílem výše porovnávaných parametrů v rovnici R.1.

$$\eta = \frac{S_{sol}}{E_{sol}} \quad \text{R.1}$$

Kde  $\eta$  účinnost solárního termického systému, [%]  
 $S_{sol}$  dodaná energie zásobníku (započítaná účinnost kolektoru a tepelné ztráty rozvodů primárního okruhu), [kWh]  
 $E_{sol}$  sluneční ozáření na plochu absorberu kolektorů, [kWh]

Tab. 1 - Měsíční hodnoty účinnosti solárního termického systému pro období 2013/2014

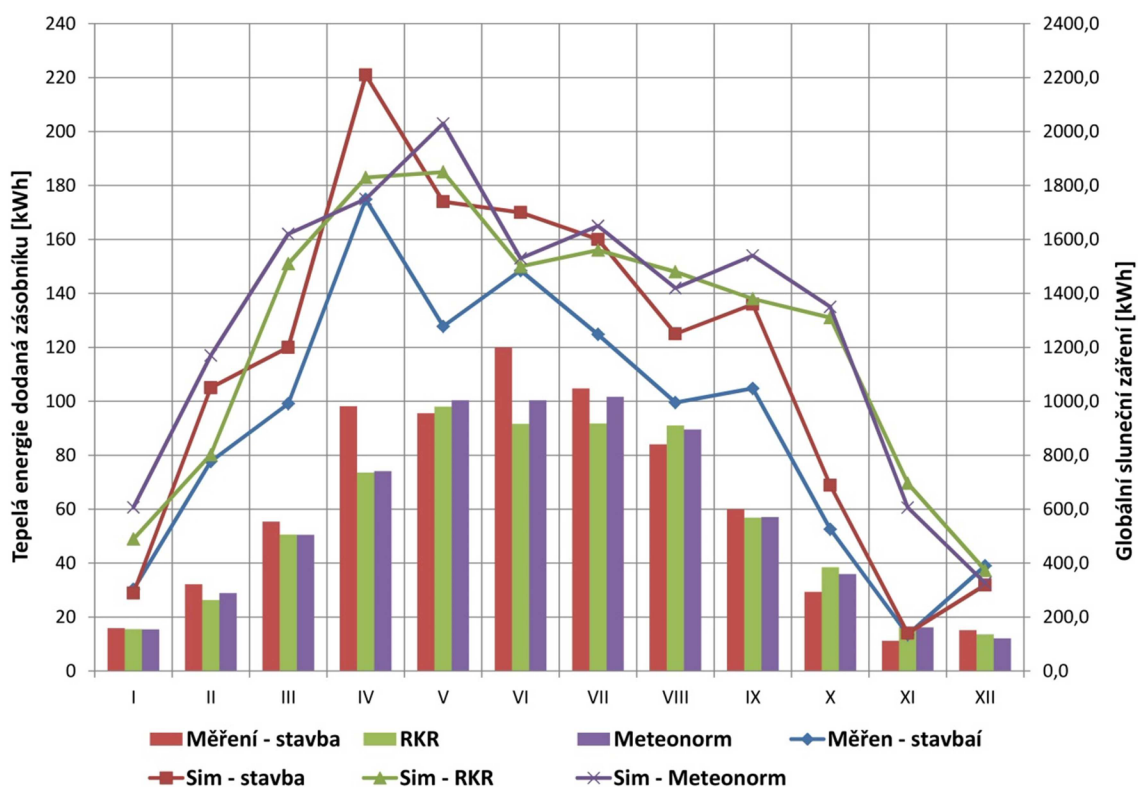
Účinnost solárního termického systému													
Var	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Ø
A	13,9	9,5	12,8	14,9	11,9	11,2	11,1	13,2	11,4	14,7	15,6	16,2	12,5
B	11,8	21,6	16,7	19,4	17,7	15,1	12,8	12,3	15,6	15,3	15,1	10,6	15,5
C	16,2	21,1	18,2	20,5	18,4	16,3	16,2	13,1	17,0	19,1	21,1	13,2	17,3
D	16,8	23,8	19,2	19,4	19,7	14,7	15,2	17,5	23,2	41,8	21,3	11,6	17,6

Vysvětlivky: A - Měření na stavbě, B - simulace stavba. C - simulace RKR, D - simulace Meteororm, Ø - celoroční průměr

Jak je patrné v Tab. 1, účinnost posuzovaného solárního termického systému je malá. Má to 2 hlavní důvody:

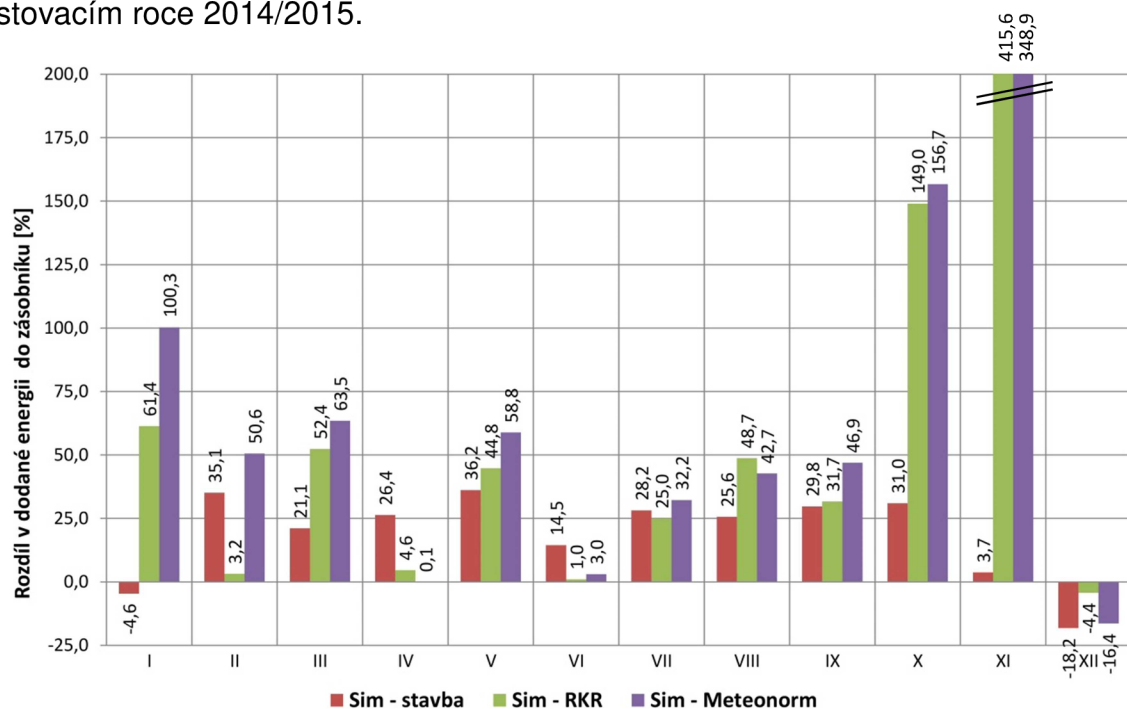
- nedostatečná velikost akumulčního zásobníku, který se rychle přehřeje a následně dochází ke stagnaci solárního termického systému;
- odběr TV především v ranních a večerních hodinách, takže není zajištěn pravidelný odběr v průběhu celého dne, který by umožňoval pravidelný chod solárního termického systému a dobíjení zásobníku.

### E.3.3 Porovnání variant klimatických roků 2014/2015



Obr. 17 - Porovnání tepelné energie dodané zásobníku pro referenční rok 2014/2015 a různé varianty simulace, sloupcový graf znázorňuje globální sluneční ozáření a spojnicový dodanou energii zásobníku termálního solárního systému

Na Obr. 17 je provedeno porovnání tepelných energií dodaných zásobníku ve II. testovacím roce 2014/2015.



Obr. 18 - Rozdíly tepelné energie dodané zásobníku pro referenční rok 2014/2015

Vlivem větší spotřeby TV vykazují rozdíly porovnávaných simulací (Obr. 18) oproti měření na stavbě v průměru rozdíly do 50 %. V letním období jsou již větší rozdíly než v minulém období. Vyjímkou jsou měsíce X a XI kde je velký rozdíl způsoben odlišnými slunečními poměry. Simulace RKR vykazuje dle procentuálních rozdílů (Obr. 18) větší shodu s měřením na stavbě, než varianta Meteorormu. Rozdíl není zpravidla významným (v řádu 10 %), ale prokazuje to větší vhodnost klimatických dat RKR pro naše území v případě, když není k dispozici přímé měření dané lokality. Větší spotřeba TV nám umožňuje využít větší potenciál solárního termického systému v akumulaci tepelné energie a tedy zvýšit svojí účinnost. Průměrná celoroční účinnost se zvýšila o cca 2 % u všech posuzovaných variant.

#### **E.4 Statistické porovnání měření a numerických simulací solárního termického systému**

Aby bylo možné zhodnotit, který zdroj klimatických dat je vhodnější pro návrh solárního termického systému, je provedeno porovnání dat RKR a Meteorormu s daty systému měřených na stavbě. Porovnání je provedeno pomocí 3 vybraných ukazatelů: teplota kolektoru na výstupu [°C], teplota v horní části zásobníku [°C] a ve spodní části zásobníku [°C]. Vybrané ukazatele jsou porovnány pomocí 4 statistických metod pro roční a měsíční údaje.

##### **E.4.1 Roční statistické porovnání**

Tab. 2 ukazuje výsledky výše popsaného statistického porovnání testovacích roků s měřením solárního termického systému na stavbě. Hodnota rMBD popisující systematickou odchylku ve všech posuzovaných variantách vychází záporná, tedy podhodnocuje výsledky, tzn. odhadovaná veličina je menší než měřená. Nejvyšší přesnosti je dle předpokladů dosaženo v horní části zásobníku, kdy v chladnějších obdobích roku je teplota udržována pomocí elektrického topného zdroje na požadované teplotě a výkyvy vlivem solárního termického systému jsou malé. V teplejší části roku je v zásobníku udržována stálá vysoká teplota.

Naopak ve spodní části dosahuje systém podle různých proměných, jako je odběr TV a chod solárního termického systému, největších odchylek. Ve všech posuzovaných variantách rMBD dosahuje Meteororm o 0,2 až 1,5 % menších odchylek než RKR. Hodnoty rMAD, tedy průměrné odchylky, dosahují větších hodnot, protože jsou v absolutní hodnotě. Rozdíly mezi Meteorormem a RKR jsou již větší, rozsah odchylek od 0 do 7,3 % je ve většině případů ve prospěch RKR. Statistický nástroj směrodatné odchylky rRMSD slouží pro hodnocení nesystematických chyb, tedy výrazných odlehlých bodů v měření či simulaci.

Tab. 2 - Roční statistické porovnání datových sad vybraných parametrů

Ukazatel	Separační model	rMBD [%]	rMAD [%]	rRMSD [%]	R [-]
Teplota kolektoru na výstupu	RKR x Rap. 13/14	-16,9	49,4	78,7	0,751
	Meteo. x Rap. 13/14	-15,4	56,7	86,5	0,691
	RKR x Rap. 14/15	-14,4	49,5	77,7	0,721
	Meteo. x Rap. 14/15	-13,1	52,5	80,3	0,701
Teplota ve spodní části zásobníku	RKR x Rap. 13/14	-22,0	41,1	52,6	0,583
	Meteo. x Rap. 13/14	-20,9	43,8	55,2	0,513
	RKR x Rap. 14/15	-21,9	43,5	58,2	0,504
	Meteo. x Rap. 14/15	-20,7	43,2	57,4	0,505
Teplota v horní části zásobníku	RKR x Rap. 13/14	-7,7	13,2	18,0	0,380
	Meteo. x Rap. 13/14	-7,5	13,2	18,0	0,320
	RKR x Rap. 14/15	-10,5	16,6	19,2	0,092
	Meteo. x Rap. 14/15	-10,7	15,9	18,5	0,162

Dle výsledků rRMSD vykazuje Meteorom ve většině posuzovaných variant vyšších odchylek než RKR, a to hlavně v případě teploty kolektoru. Rozsah odchylek je od 0 do 7,8 %. Pearsonův korelační koeficient R (dále jen PKK R) popisuje vzájemný vztah mezi 2 veličinami. Překvapivě je u ukazatele teploty v horní části zásobníku dosahováno velmi nízkých hodnot parametru R, tedy slabé závislosti posuzovaných veličin. Je to z důvodu, že v určitých obdobích roku bylo elektrické dotápění zásobníku uživatelem vypnuto a nastal velký teplotní rozdíl mezi měřenými daty a simulacemi. Naopak v případě teploty kolektoru jsou hodnoty R poměrně vysoké, protože u kolektoru je dosahováno prakticky pouze 2 stavů. Za prvé, že teplota je blízká okolnímu prostředí v případě, že solární termický systém není v chodu (vyjímka je stagnace systému). Za druhé, že teplota závisí na slunečním záření, kde v případě našich variant nejsou rozdíly moc velké. Závěrem lze konstatovat, že v případě ročního statistického porovnání nejsou rozdíly mezi I. a II. testovacím rokem významné a mírně lepších výsledků dosahovala varianta s klimatickými daty RKR.

#### E.4.2 Měsíční statistické porovnání

- **Teplota kolektoru na výstupu**

Varianty RKR a Meteorom v průběhu roku dosahují střídavých nižších odchylek rMBD v maximálním rozdílu do 10 %. Vyjímkou je měsíc leden, kde jsou odchylky maximálně 26,4 %. Odchylky rMAD a rRMSD předešlé porovnání ale vyvracejí, naopak v řádu až desítek % dosahuje varianta RKR



menších odchylek. Obě statistické metody více zohledňují kumulativní velikost odchylek než metoda rMBD, která je ovlivnitelná podhodnocujícími či nadhodnocujícími daty. Uvedené závěry také podporují hodnoty PKK R, které kromě 2 měsíců v období 13/14 resp. 4 měsíců v období 14/15 vychází ve prospěch varianty RKR. Průměrně tvoří rozdíl 1 desetina R.

- **Teplota ve spodní části zásobníku**

Statistické výpočty byly v tomto posouzení silně ovlivněny proměnlivou spotřebou vody uživateli objektu, která způsobuje výkyvy teploty ve spodní části zásobníku. PKK R z těchto důvodů vykazuje velké rozdíly mezi jednotlivými měsíci i variantami posouzení. V několika případech dosahuje i záporných hodnot, které dokládají velký rozptyl vstupních dat. Parametry rMAD a rRMSD vykazují v průběhu celého roku podobných výsledků, není zde dosahováno velkých rozdílů mezi zimním a letním obdobím. Rozdíly jsou v řádu desítek %. Přesnost variant RKR a Meteorormu je vyrovnaná.

- **Teplota v horní části zásobníku**

Oproti předešlým posouzením dosahují statistické metody nižších odchylek v chladnějším období roku, kdy je teplota udržována především elektrickým zdrojem tepla na stálé teplotě, než v letním období, kdy jsou dosaženy větší rozdíly odchylek vlivem zapojení solárního termického systému. V období 13/14 dosahují parametry rMAD a rRMSD, kromě letního období, ve variantě RKR nižších odchylek než Meteororm, v průměru do 10 %. Naopak v období 14/15 se poměr nižších odchylek vyrovnal. Hodnoty PKK R dosahují v průběhu celého roku nízkých hodnot v obou variantách. Je to způsobeno ovlivnitelností PKK R odlehlými daty, způsobených dynamickým počasím.

## **F ZÁVĚR**

Disertační práce hodnotí a analyzuje vhodnost použití RKR dle ČSN EN ISO 15927-4 pro návrh a hodnocení solárního termického systému. RKR je porovnáván s komerčně nejběžnější klimatickou databází na našem území, a to s Meteorormem. V průběhu řešení práce bylo na základě stanovených cílů dosaženo těchto výsledků:

### **1. Monitorování solárního termického systému, vnitřního prostředí a klimatických podmínek na vybraném objektu**

V období 4.6 2012 až 28.7 2015 probíhal kontinuální sběr dat o solárním termickém systému, který ukázal poddimenzování solárního akumulčního zásobníku. Na základě analýzy byl použit BRL separační model pro stanovení dílčích složek globálního slunečního ozáření měřeného na budově. Díky

měření venkovních klimatických podmínek a vnitřního prostředí budovy se podařilo sestavit 2 testovací klimatické roky - 19.2 2013 až 18.4 2014 resp. 5.6 2014 až 4.6 2015, které sloužily pro ověření numerických simulací.

## **2. Porovnání GLB jednotlivých klimatických roků použitých v numerických simulacích**

Roční sumy GLB databáze Meteonorm dosahují o 2,5 % menší rozdíl než RKR, oproti měření v Rapoticích, v období 2013/2014 resp. 2014/2015. Přestože roční sumy při porovnání nedosahují velkých odchylek, v případě měsíčního porovnání jsou výsledky výrazně jiné. V případě roku 2013/2014 jsou odchylky v řádu desítek procent a v roce 2014/2015 i stovek procent ve sledovaných parametrech. To dokazuje, že v případě použití i dvouletého místního měření budou výsledky silně ovlivněny dynamickým vývojem počasí oproti klimatickým rokům typu RKR či Meteonorm.

## **3. Numerická simulace solárního termického systému pro různé okrajové podmínky**

Bylo zpracováno celkem 6 numerických simulací pro posuzované období 2013/2014 resp. 2014/2015. Porovnávala se dodaná energie solárním termickým systémem zásobníku TV. V letním období 2013/2014 jsou rozdíly mezi RKR a Meteonormem malé, maximální rozdíl mezi těmito variantami je 3,4 %. Ve zbylých měsících RKR oproti Meteonormu dosahuje lepších výsledků, a to až o desítky %. V období 2014/2015 se zvýšila spotřeba teplé vody a tím se stabilizovaly rozdíly porovnávaných simulací oproti měření na stavbě v průměru do 50 %, kromě zimních maxim. RKR dosahuje průměrně o 15 % menších rozdílů než Meteonorm.

## **4. Porovnání měření a numerických simulací termického solárního systému**

Porovnání numerických simulací se provádělo pro 3 vybrané parametry pomocí 4 statistických metod. Porovnávaly se roční a měsíční údaje. Z ročního porovnání vyplývá, že RKR dosahuje menších odchylek než Meteonorm v případě statistických metod rMAD a rRMSD. Maximální odchylka činí 7,8 % u teploty kolektoru na výstupu. V horní části zásobníku, který je méně ovlivněn okrajovými podmínkami, je maximální odchylka pouze 0,7 %. Odchylky rMAD a rRMSD u posuzovaných parametrů teploty kolektoru na výstupu a v horní části zásobníku vychází ve prospěch RKR. U prvního parametru jsou odchylky až o desítky procent menší než u Meteonormu. V případě teploty v horní části zásobníku dosahuje v roce 2013/2014 RKR menších odchylek do 10 %. V roce 2014/2015 jsou odchylky velmi vyrovnané.

## G SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ (DALŠÍ UVEDENÉ V SAMOTNÉ PRÁCI)

- ANGSTROM, A. Solar and terrestrial radiation. Report to the international commission for solar research on actinometric investigations of solar and atmospheric radiation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1924, 50(210), 121-126. ISSN 00359009.
- BOLAND, John, Barbara RIDLEY a Bruce BROWN. Models of diffuse solar radiation. *Renewable Energy*. 2008, 33(4), 575-584. ISSN 09601481.
- ČSN EN ISO 15927-4: *Tepelně vlhkostní chování budov - Výpočet a uvádění klimatických dat - Část 4: Hodinová data pro posuzování roční energetické potřeby pro vytápění a chlazení*. ÚNMZ, 2011.
- DERVISHI, Sokol a Ardeshir MAHDAVI. Computing diffuse fraction of global horizontal solar radiation: A model comparison. *Solar Energy*. 2012, 86(6), 1796-1802.
- ELAM: realizační dokumentace rodinného domu v Rapoticích*. Projekční ateliér ELAM: vedoucí projektant Ing. arch. Mojmír Hudec, 2010.
- EPBD III - Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/844 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2010/31/EU o energetické náročnosti budov a směrnice 2012/27/EU o energetické účinnosti*. 2018, Úřední věstník Evropské unie L 156/75.
- KALOGIROU, Soteris. *Solar energy engineering: processes and systems*. Second edition. Boston: Elsevier, AP, Academic Press is an imprint of Elsevier, 2014. ISBN 978-0-12-397270-5.
- Kipp & Zonen* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://www.kippzonen.com/Products>
- KVĚTOŇ, Vít a et al. *Databáze referenčních klimatických roků pro území ČR*. Praha, 2010. Technická zpráva o plnění neinvestiční dotace MPO č. 122142 – 9801. Český hydrometeorologický ústav ČHMÚ.
- LADENER, Heinz a Frank SPÄTE. *Solární zařízení*. Praha: Grada, 2003. Stavitel. ISBN 80-247-0362-9.
- Lazard: Lazard's levelized cost of energy analysis - version 12.0* [online]. [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <https://www.lazard.com/media/450784/lazards-levelized-cost-of-energy-version-120-vfinal.pdf>
- MATUŠKA, Tomáš. Navrhování solárních zásobníků. *Alternativní energie*. 2012, 2012(1), 8-10. ISSN 1212-1673.
- MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. Praha: Grada, 2013. Stavitel. ISBN 978-80-247-3525-2.

- MEADOWS, Donella H. *The Limits to growth: a report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York: Universe Books, 1972. ISBN 08-766-3165-0.
- Meteororm 7.2* [online]. [cit. 2018-06-08]. Dostupné z: <http://www.meteororm.com/>
- Obnovitelné zdroje energie v roce 2016*. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, 2017.
- Polysun* [online]. [cit. 2018-05-31]. Dostupné z: <http://www.velasolaris.com/>
- QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.
- REINDL, D.T., W.A. BECKMAN a J.A. DUFFIE. Diffuse fraction correlations. *Solar Energy*. 1990, 45(1), 1-7. ISSN 0038092x.
- REMUND, Jan et al. *Meteororm: Handbook part I – Software and Handbook part II - Theory*. Bern: METEOTEST, 2017.
- SEDLÁK, Jiří a Milan OSTRÝ. Klimatická hodinová data pro posuzování energetické potřeby pro vytápění a chlazení. *Vytápění, větrání, instalace*. Praha, 2010, 19.(3), 148-152. ISSN 1210-1389.
- SHRIVASTAVA, R.L., VINOD KUMAR a S.P. UNTAWALE. Modeling and simulation of solar water heater: A TRNSYS perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017, 67, 126-143. ISSN 13640321
- SOLARGIS* [online]. [cit. 2018-06-08]. Dostupné z: <https://solargis.info/>
- SOTNIKOV, Artem et al. Simulations of a Solar-Assisted Block Heating System. In: *Proceedings of the ISES Solar World Conference 2017 and the IEA SHC Solar Heating and Cooling Conference for Buildings and Industry 2017*. International Solar Energy Society. 2018, s. 373-383. ISBN 978-3-981 465 9-7-6.
- Spotřeba paliv a energií v domácnostech*. Praha: Český statistický úřad, 2017. Průmysl, energetika. ISBN 978-80-250-2751-6.
- TA - Technische Alternative RT GmbH* [online]. [cit. 2018-07-04]. Dostupné z: <https://www.ta.co.at/>
- TUBO - permanentní GPS stanice* [online]. [cit. 2018-07-11]. Dostupné z: <http://tubo.fce.vutbr.cz>
- VANÍČEK, Karel a Pokorný JIŘÍ. Vytváření datových souborů globálního záření pro referenční klimatické roky na území ČR. *Meteorologické zprávy*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2010, 63(3), 69-75. ISSN 0026-1173.
- World Energy Outlook 2018: Executive summary*. IEA, 2017.
- WRDC: World Radiation Data Centre* [online]. [cit. 2018-07-25]. Dostupné z: <http://wrdc.mgo.rssi.ru>

## H PŘEDSTAVENÍ AUTORA

### Osobní údaje

Jméno a příjmení	Petr Jelínek
Narozen	26.3 1985 v Brně
Bydliště	Kachlíkova 9, 635 00 Brno
Státní příslušnost	Česká republika
Telefon	+420 608 881 289
Email	jelinek.p@fce.vutbr.cz

### Vzdělání

2011 - dosud	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, doktorský studijní program, obor Pozemní stavby. <i>Využití referenčního klimatického roku pro hodnocení a návrh termického solárního systému</i>
2009 - 2011	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, navazující magisterský studijní program, obor Pozemní stavby. Dosažená kvalifikace: Ing.
2005 - 2009	Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, bakalářský studijní program, obor Pozemní stavby. Dosažená kvalifikace: Bc.
2001 - 2005	Střední průmyslová škola stavební, Brno, zaměření pozemní stavitelství. Zkončeno maturitní zkouškou.

### Pracovní zkušenosti

2015 - nyní	OSVČ, Ing. Petr Jelínek. Zpracování PENB, tepelně technických a odborných posudků.
2014 - nyní	Vysoké učení technické v Brně, Antonínská 548/1, 601 90 Brno. Akademický pracovník - asistent.
2008 - 2011	Praxe v projekční kanceláři pod vedením Ing. arch. Jana Mlčocha, Brno

### Vybraná vědecko-výzkumná činnost

Mezinárodní projekt	Annex56 - Cost effective energy and carbon emission optimization in building renovation. Koordinátor: Professor Manuela Almeida, University of Minho. Zastoupení:
---------------------	---

	Rakousko, Švýcarsko, Portugalsko, Dánsko, Švédsko, Itálie, Norsko, Velká Británie, Česká republika
Doktorský GAČR	Výzkum energeticky úsporných zařízení pro dosažení pohody vnitřního prostředí, GD101/09/H050. Řešitel: prof. Ing. Milan Pavelek, CSc. Fakulty: Strojní a Stavební fakulta, VUT.
Výzkum na ÚPST	Modelování a hodnocení energeticky pasivního domu, FAST-J-12-1757 Řešitel: Ing. Petr Jelínek  Hodnocení energetické náročnosti a vnitřního mikroklimatu energeticky pasivního domu, FAST-J-13-2035. Řešitel: Ing. Libor Šteffek

### Patenty a užitné vzory

BEČKOVSKÝ, D.; BEČKOVSKÁ, T.; JELÍNEK, P.; HLAVSA, P.; VLACH, F.; Vysoké učení technické v Brně: *Testing chamber for air permeability measurement of building components and building structures*. 304241, patent. (2014)

BEČKOVSKÝ, D.; OSTRÝ, M.; VLACH, F.; BEČKOVSKÁ, T.; HLAVSA, P.; JELÍNEK, P.; Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ: *Zavěšený podhled s otevřenou charakteristikou vytvořený z akumulčních termoaktivních panelů a akumulční termoaktivní panel*. 26285, užitný vzor. (2013)

BEČKOVSKÝ, D.; BEČKOVSKÁ, T.; JELÍNEK, P.; HLAVSA, P.; VLACH, F.; Vysoké učení technické v Brně, Brno, CZ: *Měřicí zkušební komora pro měření průvzdušnosti plošných stavebních dílců a plošných konstrukcí*. 25619, užitný vzor. (2013)

### Vybrané publikace autora

LIŠKOVÁ, B.; JELÍNEK, P.; OSTRÝ, M. Impact of hydrophobic additives on properties of clay plaster. *Applied Mechanics and Materials*, 2016, roč. 824, č. 2016, s. 92-99. ISSN: 1662- 7482.

SEDLÁK, J.; JELÍNEK, P.; STRÁNSKÁ, Z.; STRUHALA, K. Environmental aspects of renovations - case studies. *Energy Procedia*, 2015, roč. 78, č. November 2015, s. 2391-2396. ISSN: 1876- 6102.

KOLÁŘ, R.; BRZOŇ, R.; JELÍNEK, P.; OSTRÝ, M.; VELÍSKOVÁ, E.; APELTAUER, T. *Průvodce energetických úspor pro obce*. Brno: Vysoké učení

technické v Brně, Fakulta stavební, AdMaS, EGAR, 2015. 72 s. ISBN: 978-80-214-5213- 8.

JELÍNEK, P.; LIŠKOVÁ, B.; SEDLÁK, J. Comparison of Polysun Simulation with Direct Measurements of Solar Thermal System in Rapotice. In *enviBUILD 2014. Advanced Materials Research*. Switzerland: Trans Tech Publications, 2014. s. 158-161. ISBN: 978-80-214-5003- 5. ISSN: 1022-6680.

STRUHALA, K.; JELÍNEK, P.; STRÁNSKÁ, Z.; SEDLÁK, J. Environmental Benefits of Elementary School' s Renovation. In *enviBUILD 2014. Advanced Materials Research*. Kreuzstrasse 10, 8635 Dürnten-Zürich, Switzerland, Dürnten: Trans Tech Publications, 2014. s. 217-221. ISBN: 978-3-03835-280- 8. ISSN: 1022-6680.

JELÍNEK, P.; KRUPICOVÁ, J.; PETŘÍČEK, T. Optimisation of swimming pool halls envelope with respect to thermal and moisture design. In *enviBUILD – Budovy a prostredie 2013. Advanced Materials Research*. Switzerland: Trans Tech Publications Inc., 2014. s. 231-234. ISBN: 978-80-227-4070- 8. ISSN: 1022-6680.

STRÁNSKÁ, Z.; STRUHALA, K.; JELÍNEK, P.; SEDLÁK, J. Renovation of Elementary School in Brno - Balance of Environmental Impacts. In *YRSB13 - iiSBE Forum of Young Researchers in Sustainable Building 2013*. 1st edition. Praha: Grada Publishing, 2013. s. 1-10. ISBN: 978-80-247-5019- 4.

ŠTEFFEK, L.; JELÍNEK, P.; OSTRÝ, M. Energy Assessment and Monitoring of Energy- Efficient House. In *Portugal SB13 Contribution of Sustainable Building to Meet EU 20-20- 20 Targets*. 1st edition. Guimaraes: Multicomp, 2013. s. 355-362. ISBN: 978-989-96543-7- 2.

## **I ABSTRACT**

This thesis describes utilisation of test reference year for design and evaluation of solar thermal system. The evaluation was performed on a solar thermal system of a single-family house in Rapotice, Czechia. Long-term monitoring of the system as well as indoor and outdoor climate were performed there. Measured data were compared with test reference year and data in Meteonorm database. Selected boundary conditions of the solar thermal system were compared with numerical simulations in Polysun. The results of the comparison were statistically analysed. Results of the simulations utilizing test reference year were closer to the on-site measurements than dates from Meteonorm. Therefore it could be concluded that test reference year is the best database of climate data for design of solar thermal system in Czechia.