

# **Řízení střídavého ohřevu TUV a domácího bazénu pomocí solárních kolektorů**

Control of Solar Heating Distribution between Utility Water and  
Swimming Pool

Dominik Bránka

---

Bakalářská práce  
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
akademický rok: 2012/2013

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Dominik BRÁNKA  
Osobní číslo: A10597  
Studijní program: B3902 Inženýrská informatika  
Studijní obor: Informační a řídicí technologie  
Forma studia: prezenční

Téma práce: Řízení střídavého ohřevu TUV a domácího bazénu pomocí solárních kolektorů

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte s technologickým pozadím řešené problematiky a vypracujte její stručný přehled.
2. Proveďte analýzu současného stavu systému, který bude předmětem řízení.
3. Na základě předchozí analýzy navrhnete inovaci, která přispěje k dosažení maximálního energetického zisku soustavy.
4. Proveďte výběr vhodné řídicí jednotky a dalších komponent pro realizaci řešení navrženého v předcházejícím bodě.
5. Navrhnete zapojení jednotlivých komponent systému.
6. Naprogramujte softwarové vybavení pro řídicí jednotku v souladu se zadáním práce.
7. Simulačně otestujte výsledný software a zkontrolujte jeho správnost.
8. Vypracujte závěrečné zhodnocení navržené inovace a doporučte postup její následné aplikace.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. ŠMEJKAL, Ladislav a Marie MARTINÁSKOVÁ. PLC a automatizace. 1. vyd. Praha: BEN – technická literatura, 1999, 223 s. ISBN 80-86056-58-9.
2. CIHELKA, Jaromír. Sluneční vytápěcí systémy. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984, 206 s.
3. LADENER, Heinz a Frank SPÄTE. Solární zařízení. 1. vyd. Praha: Grada, 2003, 267 s. ISBN 80-247-0362-9.
4. HRUŠKA, František. Senzory: fyzikální principy, úpravy signálů, praktické použití (e-book). 2. rozš. vyd. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, [202] s. ISBN 978-80-7454-096-7.
5. CIPRA, Tomáš. Analýza časových řad s aplikacemi v ekonomii. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 246 s.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Bc. Pavel Vařacha, Ph.D.**

Ústav informatiky a umělé inteligence

Datum zadání bakalářské práce:

**24. února 2013**

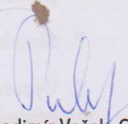
Termín odevzdání bakalářské práce:

**14. června 2013**

Ve Zlíně dne 24. února 2013

  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
děkan



  
prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
ředitel ústavu

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá problematikou řízení střídavého ohřevu teplé užitkové vody a vody v bazéně, pomocí solárních kolektorů. V první části je zpracován stručný přehled solárních systému a jednotlivých typů solárních kolektorů. V praktické části je představen stávající systém, který je pouze jednoduše řízen. Dále je popsána jedna z možností jeho inovace, za účelem vyššího zisku. Jsou zde uvedeny hlavní důvody využití PLC pro daný případ a jsou popsány další použité prvky. Popisuje uživatelský program, který je prováděn PLC za účelem řízení. Na závěr jsou uvedeny výsledky simulací a další možnosti rozšíření.

**Klíčová slova:** Solární energie, solární kolektory, PLC, ohřev TUV, ohřev bazénu, řízení solárního systému

## **ABSTRACT**

This thesis deals with controlling of diversified heating of warm utility water and water in a pool using solar collectors. In the first part a brief overview of solar systems and different types of solar collectors is compiled. The practical part presents a current system which is simply controlled. Next described thing is one of options how to innovate the system to achieve higher profits. There are main reasons for used PLC for the case and there are described other used elements. It describes the user program which is implemented by PLC for the purpose of controlling. In conclusion there are results of simulations and other expansion options.

**Keywords:** Solar Energy, solar collectors, PLC, heating of warm utility water, heating of water

Děkuji panu Ing. Bc. Pavlu Vařachovi Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a věnovaný čas při tvorbě bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, která mi vytvořila zázemí po celou dobu mého studia.

**Prohlašuji, že**

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

**Prohlašuji,**

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....  
podpis diplomanta

**OBSAH**

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>9</b>
<b>1 SOLÁRNÍ ENERGIE</b> .....	<b>10</b>
1.1 INTENZITA ZÁŘENÍ .....	10
1.2 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ NA ÚZEMÍ ČR .....	12
<b>2 SOLÁRNÍ SYSTÉMY</b> .....	<b>15</b>
2.1 SOLÁRNÍ KOLEKTORY .....	15
2.1.1 Dělení solárních kolektorů .....	16
2.1.2 Ploché kolektory .....	17
2.1.3 Koncentrující kolektory .....	18
2.1.4 Trubicové vakuové kolektory .....	19
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>22</b>
<b>3 STÁVAJÍCÍ ZAPOJENÍ</b> .....	<b>23</b>
3.1 HLAVNÍ NEDOSTATKY STÁVAJÍCÍHO ZAPOJENÍ .....	23
3.2 SOLÁRNÍ KOLEKTOR COSMO SOL 253L .....	24
3.3 ZÁSOBNÍK VODY COSMOCELL CCE DUO .....	26
3.4 BOWMAN TYP 5113 .....	27
3.5 ESBE VTA 300 .....	27
<b>4 NAVRŽENÁ INOVACE</b> .....	<b>29</b>
4.1 VÝBĚR ŘÍDÍCÍ JEDNOTKY A DALŠÍCH KOMPONENT .....	30
4.1.1 PLC TECO Foxtrot CP-1005 .....	30
4.1.2 Měření intenzity slunečního záření .....	33
4.1.3 Měření teploty .....	34
4.1.4 Spínače .....	35
4.2 SCHÉMA INOVOVANÉHO ZAPOJENÍ .....	36
4.3 ŘÍDÍCÍ ALGORITMUS .....	37
4.3.1 První stav – NIC .....	38
4.3.2 Druhý stav – BAZEN .....	39
4.3.3 Třetí stav – TUV .....	40
4.3.4 Čtvrtý stav – KONTROLA .....	41
<b>5 POSTUP ZPROVOZNĚNÍ</b> .....	<b>43</b>
<b>6 SIMULACE</b> .....	<b>44</b>
6.1 ZHODNOCENÍ SIMULACÍ.....	45
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>46</b>
<b>ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ</b> .....	<b>47</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b> .....	<b>48</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>50</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>51</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>52</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>53</b>

## ÚVOD

Využití solární energie k ohřevu vody v bazénu nebo ohřevu užitkové vody není v dnešní době nic neobvyklého. Dnes již většina nabízených zahradních bazénů obsahuje jednoduchý solární ohřev, který se ve většině případů obsahuje tzv. „absorbér“, což může být například tmavá plastová rohož s velkým množstvím vodních kanálků. Oproti tomu jsou technické nároky na využití solární energie k ohřevu užitkové vody znatelně vyšší. Od systému na ohřev užitkové vody požadujeme, aby byl schopen ohřát vodu na 45-50°C, což je při kohoutkové teplotě cca 10°C více než 35°C. K takovému účelu se standardně používají solární kolektory [1].

V případě, že objekt obsahuje jak bazén, tak solární ohřev teplé užitkové vody (dále jen TUV), je jistě výhodné tyto dva systémy spojit a solární kolektory využít i k ohřevu vody v bazénu. V tomto případě je nutné rozšíření filtračního okruhu bazénu o protiproudý výměník, kde bude docházet k předávání tepla mezi teplonosným médiem cirkulujícím v solárním okruhu a bazénovou vodou. Dalším rozšíření je instalace trojcestného ventilu, který bude usměrňovat tok teplonosného média do výměníku v zásobníku TUV nebo do výměníku ve filtračním okruhu bazénu. Toto usměrňování je nutno nějakým způsobem řídit.

Klasickým požadavkem bude dosažení maximální teploty TUV a z přebytků ohřívat vodu v bazénu. Vodu v bazénu ohřívat také v případě, že podmínky nejsou dostatečné k ohřevu TUV. V případě, že podmínky nejsou dostatečné ani k ohřevu vody v bazénu je vhodné celý systém vypnout. Na stranu druhou, může majitel budovy požadovat určitou teplotu vody v bazénu a teprve po dosažení této teploty zapnout ohřev TUV. Čím důmyslnější systém řízení bude, tím bude dosaženo vyšších tepelných zisků a také se zkrátí doba návratnosti investice do tohoto systému.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 SOLÁRNÍ ENERGIE

Slunce je naše nejbližší hvězda, bez které by nebyl život na Zemi myslitelný. Je také největším dodavatelem tepelné a světelné energie. Sluneční energie vzniká přeměnou vodíku v helium termonukleárními reakcemi, které probíhají ve středových oblastech Slunce [1].

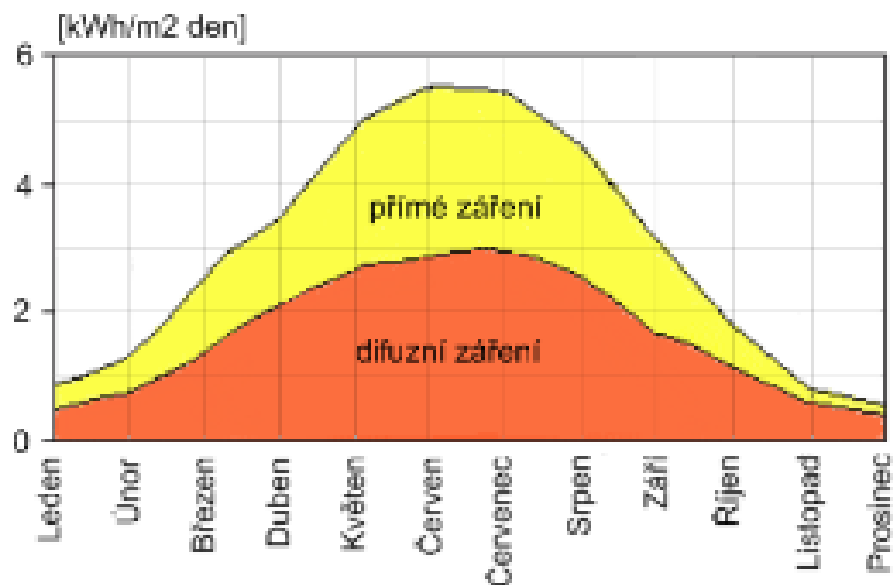
Tímto způsobem vyzaří Slunce  $3,8 \cdot 10^{26}$  W energie do kosmického prostoru. Z tohoto množství energie je k Zemi kontinuálně přiváděno  $1,2 \cdot 10^{17}$  W. Množství solární energie, po odečtení reflektované části, vztažené na jeden rok činí  $7,7 \cdot 10^{17}$  kWh/r, což je přibližně 7700x více než světová spotřeba energie, která činí přibližně  $100 \cdot 10^{12}$  kWh/r [2].

### 1.1 Intenzita záření

Solární záření mimo zemskou atmosféru dosahuje intenzity  $1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ , což je hodnota sluneční konstanty. Zemská atmosféra absorbuje pouze 70% této energie, zbytek je odražen zpět do kosmického prostoru [3].

Při průchodu atmosférou dochází k další reflexi, absorpci a rozptylu. Záření dopadající na zemský povrch se dělí na přímé a difuzní. Přímé záření při průchodu atmosférou téměř nemění směr a lze je koncentrovat. Záření, které se v atmosféře rozptýlí, se nazývá difuzní. Difuzní záření není možno koncentrovat. Poměr difuzního záření je závislý na povětrnostních podmínkách, čím více vodní páry v atmosféře, tím větší podíl difuzního záření (Tab. 1). Na obrázku (Obr. 1) je znázorněn poměr difuzního a přímého záření. Je zde patrná převaha difuzního záření pro zimní měsíce, což je způsobeno vysokou oblačností v tomto období [2].

Výsledek součtu přímého a difuzního záření je záření globální. Udávaná hodnota globálního záření je  $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  [2].



Obr. 1. Poměr přímého a difuzního záření v jednotlivých měsících. [6]

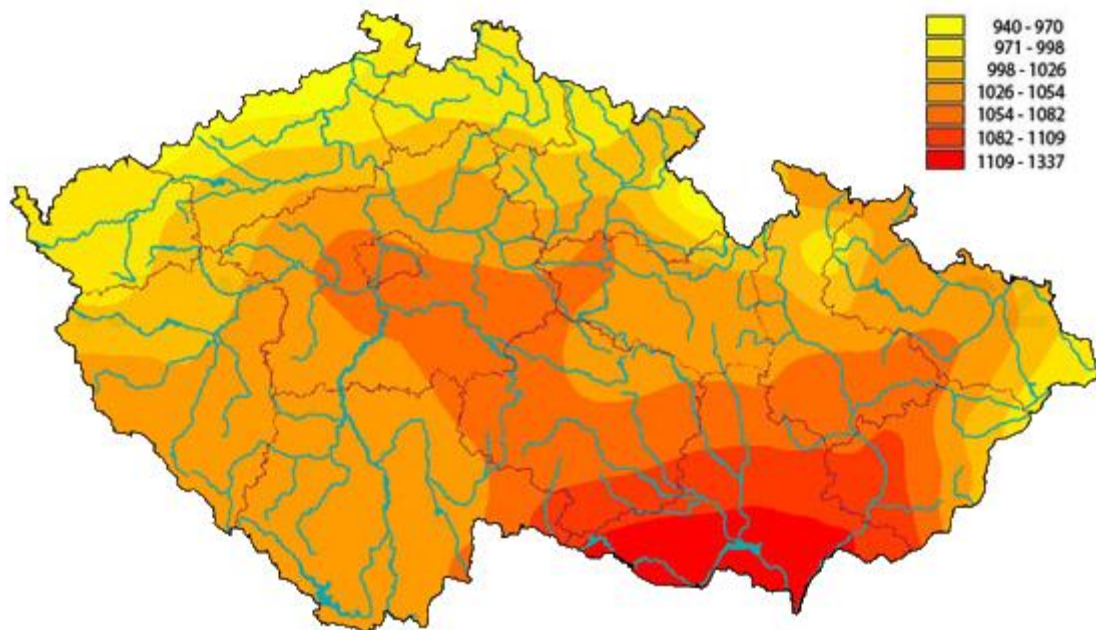
Tab. 1. Intenzita záření a velikost podílu difuzního záření v závislosti na povětrnostních podmínkách. [2]

	Záření [ $W \cdot m^{-2}$ ]	Difuzní podíl [%]
Modré nebe	800-1000	10
Zamlžené nebe	600-900	Až 50
Mlhavý podzimní den	100-300	Až 100
Zamračený zimní den	50	Až 100
Celoroční průměr	600	50-60

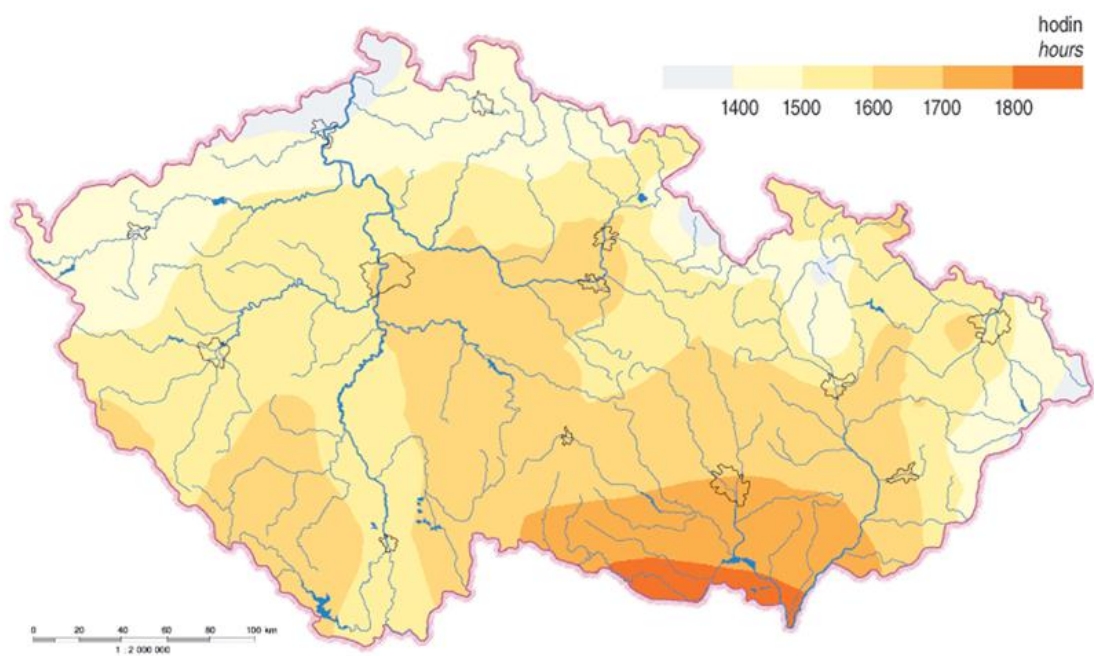
## 1.2 Sluneční záření na území ČR

Jak je znázorněno na obrázcích (Obr. 2, Obr. 3), množství sluneční energie, které dopadá na území České republiky, není rovnoměrně rozloženo. Toto množství, které je možno získat ze slunečního záření, ovlivňují různé faktory:

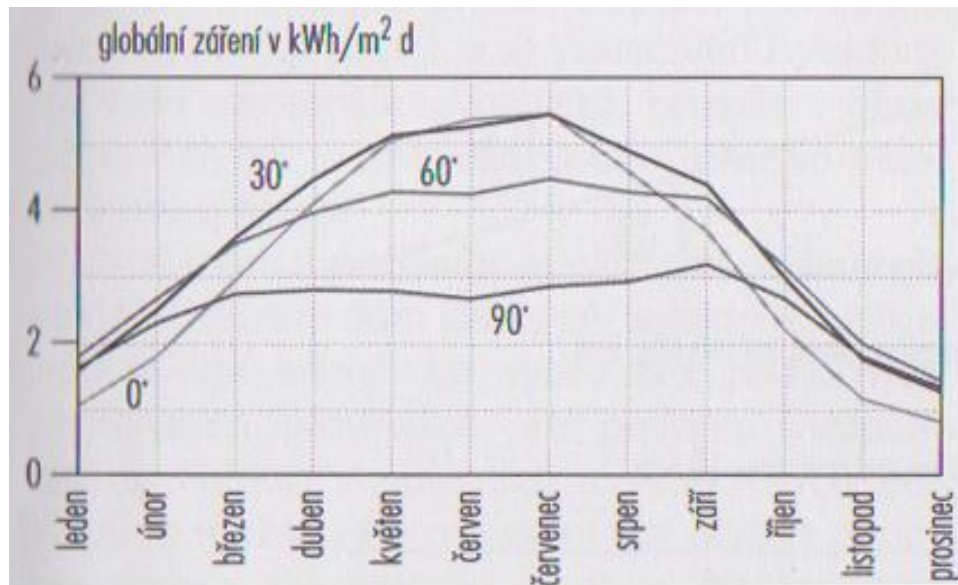
- **Geografická poloha:** Jak je znázorněno na obrázcích (Obr. 2, Obr. 3), nejideálnější poloha pro získávání energie ze slunečního záření je v oblasti Jižní Moravy, kde roční úhrn globálního slunečního záření dosahuje hodnoty až  $1300 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  [4].
- **Roční období:** V zimním období je doba slunečního svitu daleko kratší než v období letním, proto je zisk sluneční energie v zimním období menší než v letním [4].
- **Klimatické podmínky:** Jak bylo naznačeno v tabulce (Tab. 1), velký podíl na množství sluneční energie dopadající na povrch Země mají klimatické podmínky. Při jasné obloze dopadá až 70% slunečního záření na povrch Země, naopak při velice oblačné obloze dopadá přímo pouze asi 10%, většina záření je rozptýlena v atmosféře a přeměněna na difuzní záření [2].
- **Čistota atmosféry:** Nezanedbatelný vliv má také čistota atmosféry. Důvod je podobný jako u předchozího bodu, čím více částic ve vzduchu, tím větší přeměna přímého záření na záření difuzní [1].
- **Orientace zařízení:** Nejvíce slunečního záření dopadá z jižní strany, proto zařízení, kterým je myšlen např. solární kolektor, natočené na tuto světovou stranu budou mít větší výkon, než stejná zařízení orientovaná na jiné světové strany [2].
- **Sklon zařízení:** Jak znázorňuje obrázek (Obr. 3), největšího zisku v letním období je dosaženo při sklonu plochy  $30^\circ$ , na jaře a na podzim se ovšem ideální sklon plochy mění na  $60^\circ$ . Pro celoroční užívání je tedy vhodné rozmezí  $30\text{-}60^\circ$ . Nutno uvést, že hodnoty zobrazené na obrázku (Obr. 4) byly naměřeny na stanici Weinhenstephan u Mnichova, Německo [1] [2].



Obr. 2. Roční úhrn globálního slunečního záření na území ČR. [4]



Obr. 3. Celková doba slunečního svitu na území ČR. [4]



Obr. 4. Roční průběh globálního záření na jižně orientované plochy. [1]

## 2 SOLÁRNÍ SYSTÉMY

Solární systém je soubor technický zařízení tvořící solární okruh za účelem plnění dané funkce. Touto funkcí může být např. přeměna solární energie na energii elektrickou nebo na energii tepelnou. Solární systémy mohou být pasivní nebo aktivní.

- **Aktivní:** aktivní solární systémy slouží k akumulaci tepla, proto jsou konstrukčně složitější, jak systémy pasivní. Z pravidla se skládají ze sběrného zařízení (kolektoru), transportního systému a zásobníku. Aktivní systémy umožňují následné konverze [7]:
  - **Fototermální konverze:** přeměna slunečního záření na tepelnou energii, která je následně pomocí teplonosného media dopravena do zásobníku, kde je akumulována pro následné využití.
  - **Fotochemická konverze:** např. fotosyntéza.
  - **Fotoelektrická konverze:** Na základě fotoelektrického jevu se sluneční energie přeměňuje v energii elektrickou.
  
- **Pasivní:** tyto systémy jsou navrženy tak, aby nepotřebovaly žádné teplonosné médium k transportu tepelné energie do interiéru. „Jako pasivní solární prvky se nejčastěji využívají prosklené plochy na jižní straně budov, zimní zahrady, prosklené lodžie, solární okna či verandy nebo tzv. Trombeho stěny či transparentní tepelné izolace“ [7].

### 2.1 Solární kolektory

Solární kolektory jsou jednou z nejdůležitějších částí solárních okruhů aktivních solárních systémů, jelikož je to ta část solárního okruhu, na které dochází k zachycení solární energie a následně přeměně této energie na energii tepelnou, která je následně předána teplonosnému médiu. Solární kolektory musí být umístěn vně budovy, kde je vystaven povětrnostním vlivům, tudíž jeho konstrukce, výroba a montáž musí být kvalitní. Taktéž je podstatná správná údržba, která zvyšuje životnost zařízení [1].

### 2.1.1 Dělení solárních kolektorů

Podle typu konstrukce se kolektory dělí na :

- **Ploché kolektory:** tyto kolektory mají ve většině případů tvar obdélníku, absorpční plocha je stejně velká jako plocha čelní [1].
- **Koncentrující kolektory:** u tohoto typu se využívá odrazových ploch, pomocí nichž jsou sluneční paprsky koncentrovány na absorpční plochu, která je menší, než plocha čelní. Proto je při velkém soustředění sluneční energie je dosaženo vyšších teplot teplotnosného média [1].
- **Vakuové (trubicové) kolektory:** tento typ kolektoru výrazně zmenšuje tepelné ztráty do okolí, jelikož absorpční plocha je umístěna ve skleněné trubici, ve které je vysátím vzduchu dosaženo vakua [1].

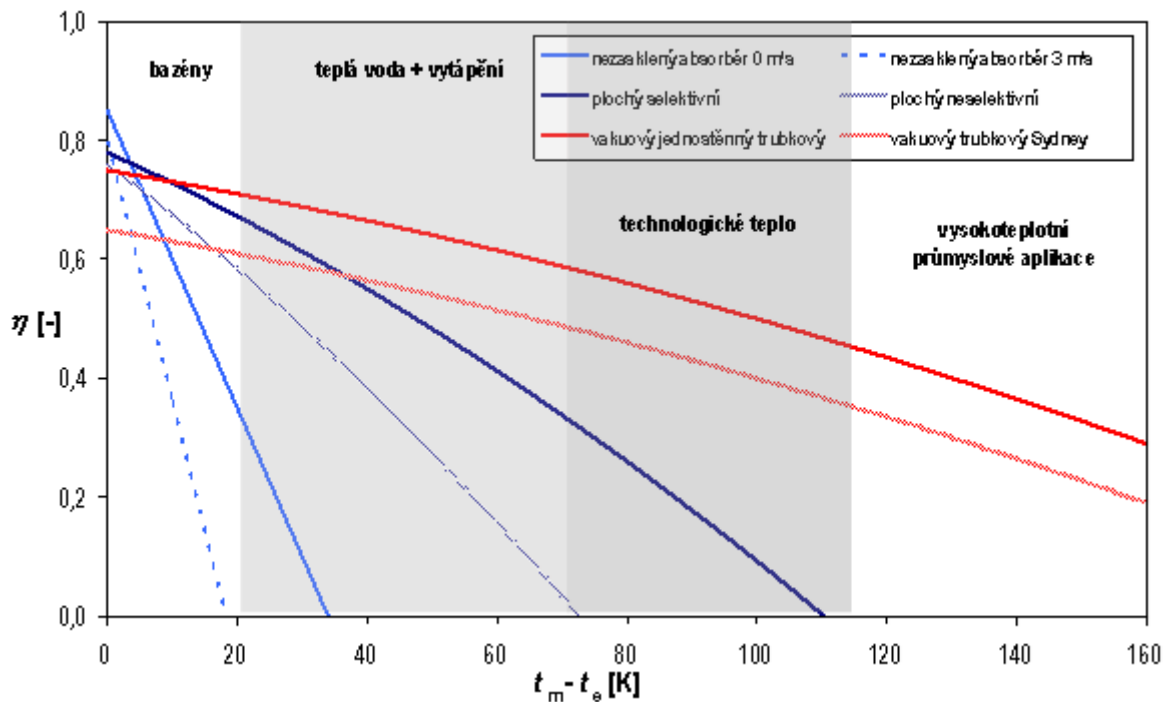
Podle skupenství teplotnosného média:

- **Kapalinové:** zde je jako teplotnosné medium využíváno nemrznoucí směsi vody a propylenglykolu v poměru většinou 1:1 nebo podle požadavku na teplotu tuhnutí. Dříve se využívalo etylenglykolu, který je ovšem, na rozdíl od propylenglykolu, jedovatý [8].
- **Vzduchové:** tento typ kolektorů se v České republice používá pouze okrajově pro předehřev čerstvého vzduchu pro větrání nebo oběhového vzduchu pro cirkulační vytápění (teplotovzdušné, sálavé - hypokaustické) [5].

Podle typu povrchu:

- **Selektivní:** Tento typ povrchu je opatřen povlakem, který absorbuje krátkovlnné záření, stejně jako neselektivní povrch, ale na rozdíl od něj potlačuje emisi dlouhovlnného záření [1].
- **Neselektivní:** Tento povrch je opatřen pouze nátěrem tmavé (černé) barvy, která absorbuje krátkovlnné záření, ale emituje dlouhovlnné záření [1].

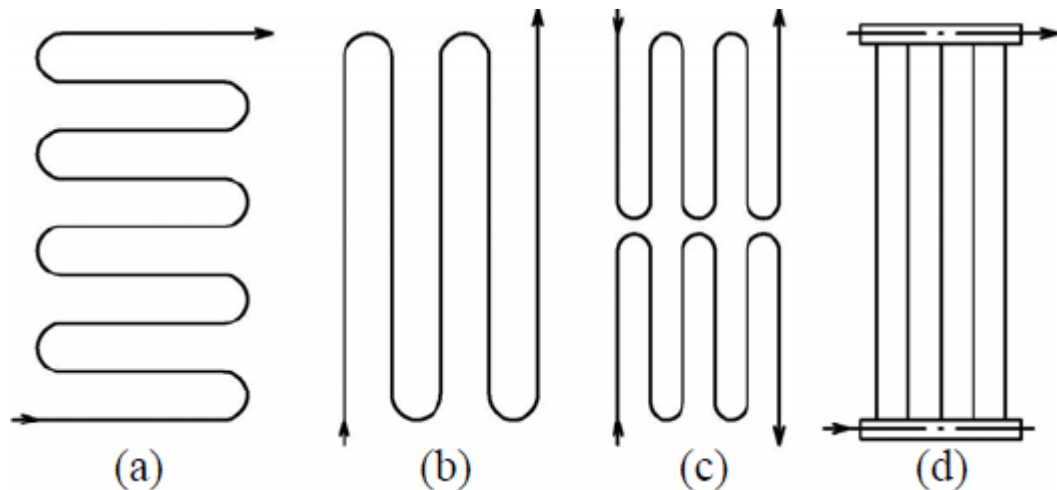
Výběr solárního kolektoru je nutný přizpůsobit k jeho použití. Vhodnost jednotlivých typů kolektorů pro různé druhy využití znázorňuje obrázek (Obr. 5).



Obr. 5. Křivky účinností jednotlivých typů solárních kolektorů. [9]

### 2.1.2 Ploché kolektory

U tohoto typu kolektoru je absorbérem tenká deska s kanálky pro proudění teplotního média. Tyto kanálky (Obr. 6) mohou být vytvořeny několika způsoby. První způsob je svařením dvou ploten z mědi, hliníku nebo oceli, ve kterých jsou kanálky již vylišované. Dalším možností je použití jedné plotny s vylišovanými drážkami, do kterých jsou vsunuty trubky, které jsou k plotně přiletovány nebo přivařeny. Další variantou je pouhé překrytí trubek plechem. U této varianty je většinou použit stejný materiál plechu i trubek (ocel nebo měď). Geometrické uspořádání kanálků je znázorněno na obr. 2.2 [1] [11].



Obr. 6. Příklady geometrického uspořádání kanálek v absorberu a) příčný meandr, b) podélný meandr, c) dvojitý meandr, d) registr. [2]

Funkční části plochých kolektorů jsou buď uloženy ve skříně – ploché kolektory skříňového typu, nebo pouze uchyceny v rámu – ploché kolektory rámového typu. Skříňový kolektor je pevnější a odolnější jak kolektor rámový, musí ovšem umožňovat únik zkondenzované vodní páry, která se tvoří uvnitř skříně při opětovném zahřátí kolektoru. Proto musí tento typ obsahovat únikové otvory, pro odvod vodní páry. Další nevýhodou tohoto typu je větší náchylnost ke korozi vnitřních částí. Oproti tomu rámový typ je dobře provzdušněn, ale kvůli absenci zadní desky není dostatečně podepřený a tudíž není tak pevný [1] [11].

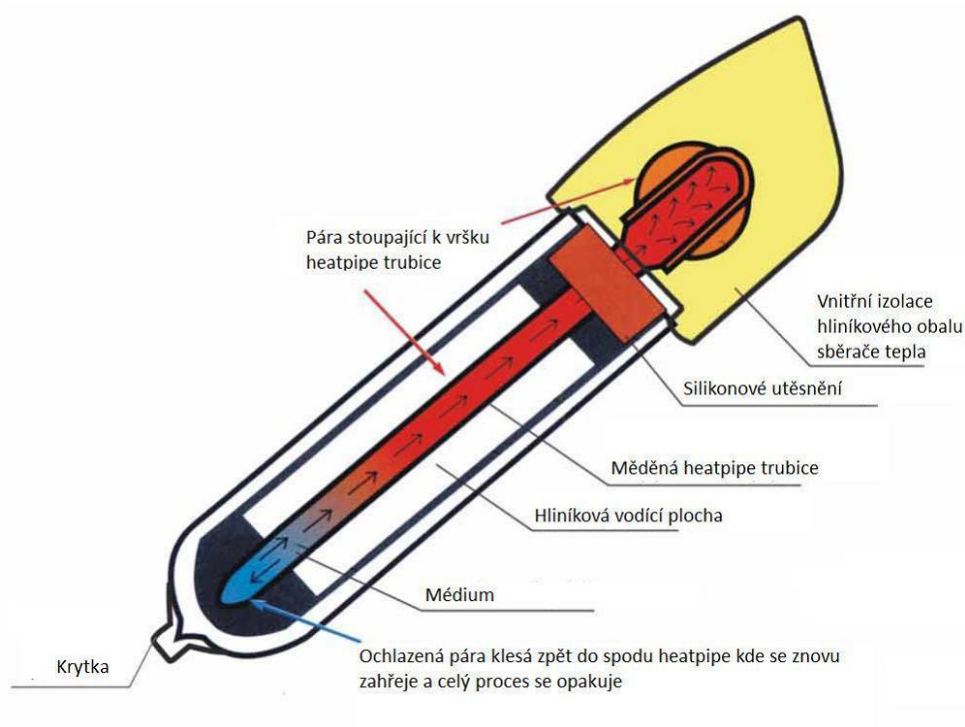
### 2.1.3 Koncentrující kolektory

Koncentrující kolektory využívají koncentrátory k usměrnění slunečních paprsků na malou plochu absorberu pro dosažení vyšších teplot. Maximální teplota, kterou je možné dosáhnout u tohoto typu je závislá na poměru mezi celkovou plochou koncentrátorů a celkovou plochou absorberu. Jelikož tento typ využívá hlavně přímé sluneční záření, je jeho využití vhodné pouze při dobrých povětrnostních podmínkách [1].

### 2.1.4 Trubicové vakuové kolektory

Tento typ kolektorů (Obr. 7) je složen ze dvou trubic, trubice vnější a trubice vnitřní, tyto trubice spolu tvoří jeden celek. Uvnitř vnější trubice se nachází absorbér v podobě lamely nebo selektivní absorbční vrstvy nanesené na povrchu vnitřní trubice.

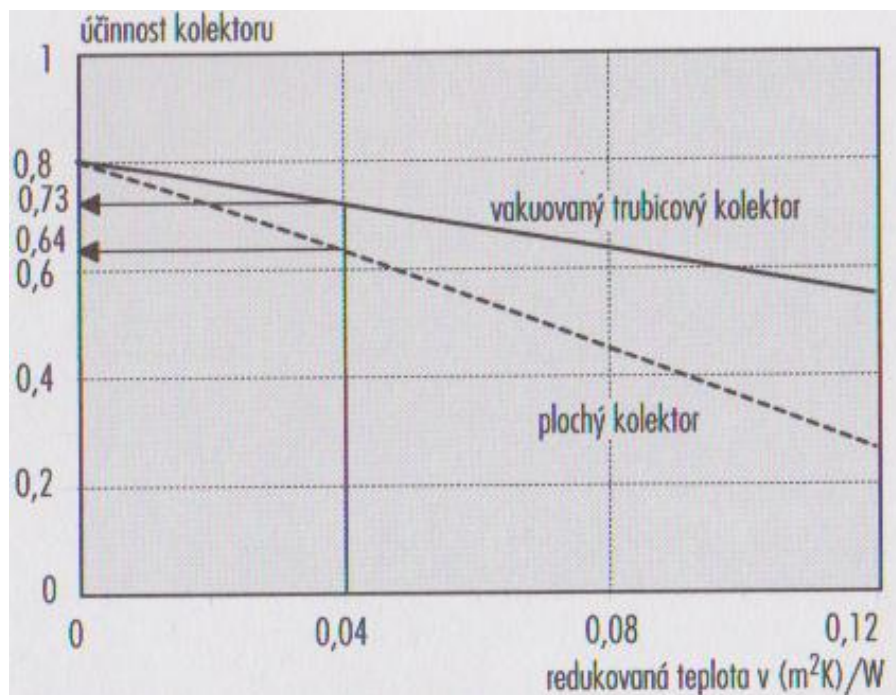
- **Přímo protékané absorbéry:** jak již z názvu vyplývá, u tohoto typu trubicového kolektoru teplotné médium protéká přímo absorbérem [1] [12].
- **Heat Pipe neboli tepelná trubice:** tento absorbér je konstruován s kapalinou uvnitř trubice (). Tato kapalina se začíná vypařovat již při nízkých teplotách např.: voda nebo alkohol za nízkého tlaku, stoupá trubicí do kondenzátoru, kde dochází k tepelné výměně mezi touto párou a teplotným médiem, kapalina po předání tepla stéká dolů. Tento typ kolektoru musí být instalován se sklonem minimálně 15-20° [1] [15].



Obr. 7. Trubicový vakuový kolektor s Heat Pipe. [15]

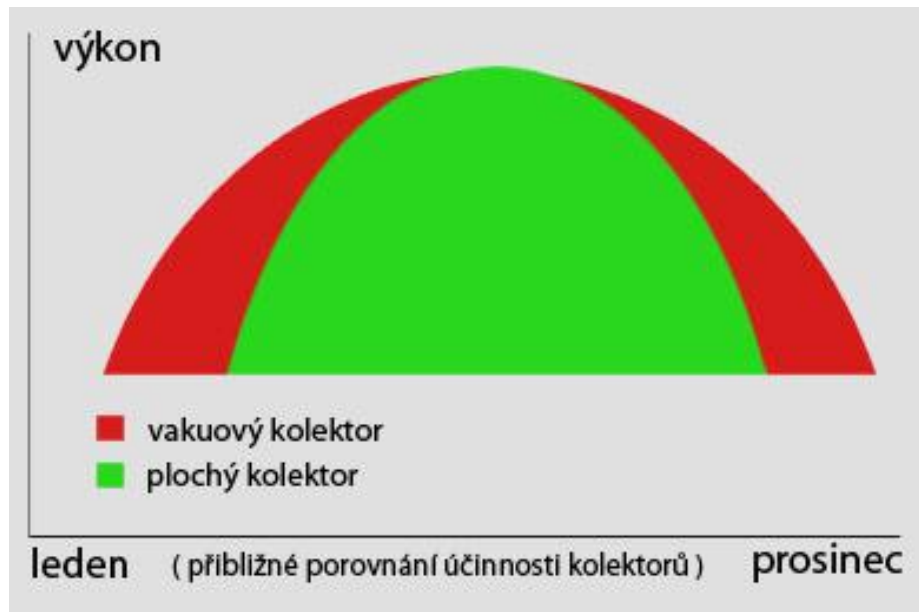
Oproti plochému typu kolektorů, mají trubcové vakuové kolektory menší tepelné ztráty způsobené pohybem vzduchu mezi absorbérem a vnějším pláštěm, jelikož je při výrobě tento vzduch odčerpán a v tomto prostoru je vytvořeno vakuum. Tento princip využívá i termoláhev [1] [14].

Na obrázku (Obr. 8) je znázorněna charakteristika plochého a vakuovaného trubcového kolektoru, ze které lze vyčíst, že vakuový trubcový kolektor dosahuje při hodnotě redukované teploty  $0,04 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$  o 8% vyšší účinnosti jak kolektor plochý. Při hodnotě redukované teploty  $0,12 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$  je rozdíl účinnosti až 28% ve prospěch vakuovaného trubcového kolektoru.



Obr. 8 Graf účinnosti solárních kolektorů na redukované teplotě. [1]

Na obrázku (Obr. 9) je znázorněno porovnání účinnosti plochého a vakuovaného trubcového kolektoru v průběhu roku. Z tohoto znázornění je jasně patrné, že vakuový trubcový kolektor dosahuje vyšší účinnosti v obdobích, když není intenzita slunečního záření a venkovní teplota vysoká – jaro, podzim.



Obr. 9. Porovnání účinnosti kolektorů v průběhu roku. [13]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 STÁVAJÍCÍ ZAPOJENÍ

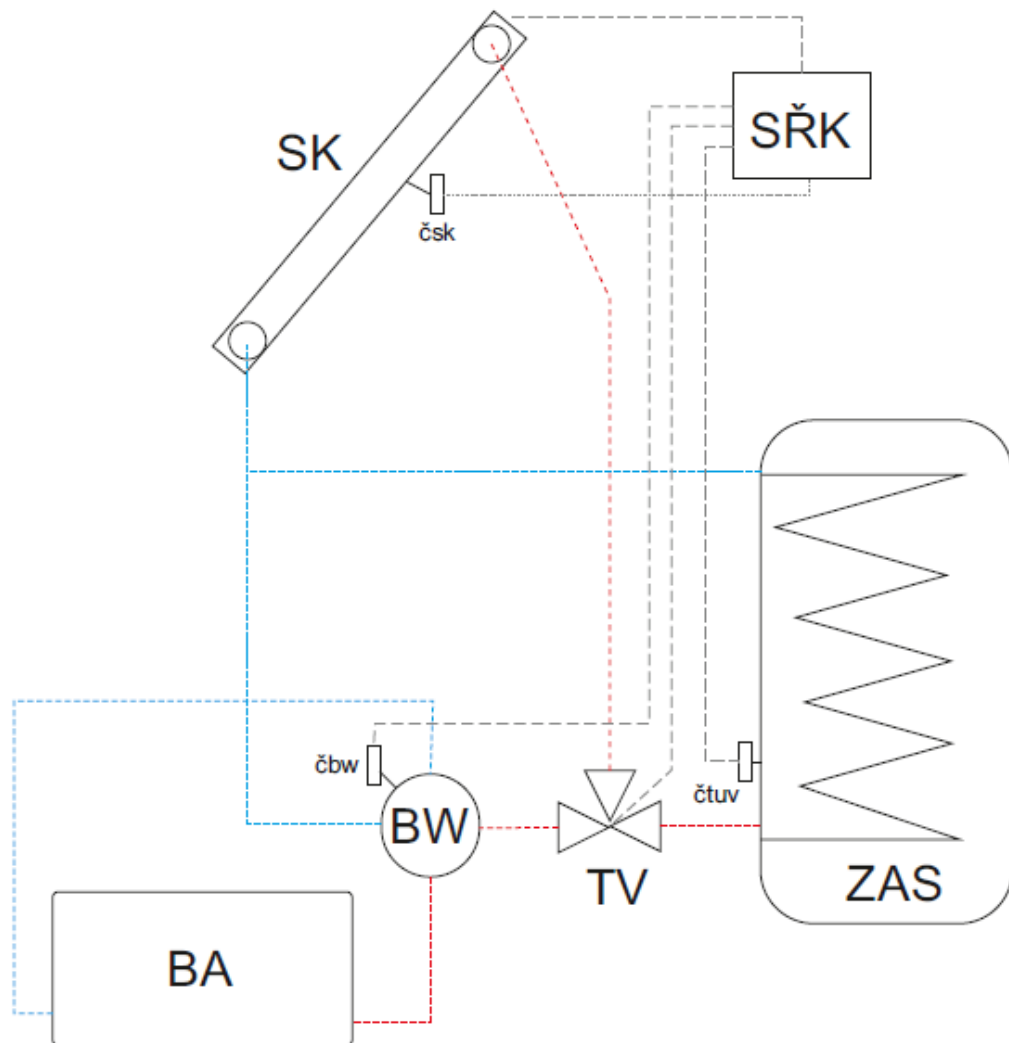
Dne 15. 11. 2012 byla provedena návštěva místa realizace v centru Uherského Hradiště. Majitel předvedl stávající systém pro ohřev bazénu a teplé užitkové vody. Dále popsal jednotlivé prvky systému a vysvětlil jejich funkce. Byla předána kompletní dokumentace k stávajícímu systému a jeho prvkům. Na závěr byly vyslechnuty požadavky majitele na budoucí zapojení a funkčnost systému.

#### 3.1 Hlavní nedostatky stávajícího zapojení

Na obrázku (Obr. 10) je zjednodušeně znázorněno stávající zapojení systému. Při seznámení se stávajícím zapojením a konzultací s majitelem byly nalezeny nedostatky, po jejichž odstranění by mělo dojít k zvýšení zisku a zabezpečení systému.

Stávající řídicí jednotka není připojena k filtraci bazénu a zde nastává bezpečnostní riziko. Mohla by nastat situace, při níž dojde ke spuštění solárního okruhu, který bude použít teplonosné médium do výměníku Bowman (BW). Pokud v této době nebude zapnutý filtrační okruh bazénu, mohlo by dojít k přehřátí tepelného výměníku, jeho poškození, poškození okolního vedení a vytopení prostor se zařízením.

Dalším nedostatkem je neschopnost systému reagovat na aktuální venkovní podmínky, jelikož k řízení využívá pouze tři teplotní čidla. Jedno teplotní čidlo je umístěno v solárních kolektorech (čsk), další v tepelném výměníku (čbw) a třetí v zásobníku TUV (čtuv).



Obr. 10. Zjednodušené schéma zapojení stávajícího systému.

**SK** – solární kolektor, včetně solární stanice  
**SŘK** – stávající řízení solární stanice  
**BW** – tepelný výměník Bowman  
**TV** – Trojcestný ventil

**BA** – bazén 20m<sup>3</sup>  
**čtuv** – teplotní čidlo zásobníku TUV  
**čbw** – teplotní čidlo výměníku (pt1000)  
**čsk** – teplotní čidlo kolektorů (pt1000)

### 3.2 Solární kolektor CosmoSOL 253L

Jedná se o plochý solární kolektor (Obr. 11), který je určen pro montáž nad střešní krytinu. Rám kolektoru je vyroben z hluboko tažného hliníku a hliníkového stucco plechu. Utěsnění solárního skla je zajištěno pomocí speciálně tvarovaných hliníkových lišt a EPDM gumového profilu, který je umístěn po celém obvodu. Měděný registr je

ultrazvukem spojený s měděným absorberem, na kterém je vakuově nanese na vysoce selektivní modrá vrstva. Absorpce tohoto povrchu je 95%. Absorbér je chráněn kalným solárním bezpečnostním sklem o tloušťce 3,2mm. Izolace je tvořena 50 mm minerální vaty.

Rozměry kolektoru d x š x v jsou 1225 x 2065 x 103 mm. Celková plocha kolektoru je 2,53 m<sup>2</sup>, z toho 2,42 m<sup>2</sup> tvoří plocha absorberu. Tento typ se vyznačuje optickou účinností 0,772, lineárním koeficientem tepelných ztrát 3,17 a kvadratickým koeficientem tepelných ztrát 0,0047. Hmotnost tohoto kolektoru je 42 kg. Tento kolektor je certifikován certifikátem TUV 02-328-083.

Tento solární kolektor je namontován na šikmé střeše, pod úhlem 40°, v počtu čtyř kusů. Střecha je orientována na jižní stranu. Celková plocha kolektorů je tedy 10,12 m<sup>2</sup>, celková plocha absorberu je 9,68 m<sup>2</sup>.



*Obr. 11. Solární kolektory CosmoSOL 253L.*

### 3.3 Zásobník vody CosmoCELL CCE DUO

Stojatý zásobník vody o objemu 380l pro ohřev pitné vody s nepřímým ohřevem (Obr. 12). Vnitřní nádoba je vyrobena ze speciálního ocelového plechu, který je chráněn smaltem. Tento zásobník obsahuje dvě topné části o celkové ploše 2,8 m<sup>2</sup>, trvalý výkon horního výměníku je 31KW, dolního 57KW. Tepelné ztráty tohoto zásobníku jsou 2KWh/den.



*Obr. 12 Zásobník CosmoCELL CCE DUO.*

### 3.4 Bowman typ 5113

Tepelný výměník (Obr. 13), který zajišťuje předávání tepelné energie ze solárního okruhu do filtračního okruhu bazénu. Tento typ je přizpůsoben pro slanou bazénovou vodu, která cirkuluje v bazénovém okruhu.



*Obr. 13. Bowman typ 5113.*

### 3.5 ESBE VTA 300

Trojcestný ventil (Obr. 14), který přepíná rozvod vody na základě nastavené hodnoty mezi bazénovým okruhem a okruhem, který vede teplonosnou kapalinu do zásobníku CosmoCELL CCE DUO. Tento ventil je momentálně ovládán stávající řídicí jednotkou.



*Obr. 14. ESBE VTA 300.*

## 4 NAVRŽENÁ INOVACE

Hlavním cílem solárního ohřevu je získání co největšího množství teplé užitkové vody za co nejmenší náklady. V případě rozšíření solárního obvodu o ohřev vody v bazénu nastává problém s regulací ohřevu vody užitkové a vody v bazénu. Největším problémem efektivního řízení ohřevu vody je zajistit tepelnou výměnu pouze v případě, že skutečně dojde k ohřevu vody místo jejího ochlazování. K ohřevu vody dojde pouze tehdy, je-li výkon kolektoru, tj. rozdíl mezi výstupní a vstupní teplotou teplotnosného média, kladný.

Při navrhování inovace bylo vycházeno z rovnice 1 a předpokladu, že bude-li aktuální výkon kolektorů  $Q_k$  kladný, bude docházet k ohřevu teplotnosného média. Po dosazení parametrů udávaných výrobcem (rov. 2) zůstávají v rovnici tři neznámé proměnné měnící se v čase. Jsou to intenzita slunečního záření, teplota teplotnosného média a venkovní teplota. Jelikož má stávající systém pouze tři teplotní čidla, není v jeho schopnostech, aby reagoval na aktuální venkovní podmínky.

Proto je navrženo vybrat novou řídicí jednotku a vyměnit stávající, přidat snímač intenzity záření slunce a teplotní čidlo venkovní teploty. Pro měření teploty teplotnosného média bude využito stávající teplotní čidlo v zásobníku TUV a bude přidáno teplotní čidlo do bazénu. Dále je nutno předat nové řídicí jednotce kontrolu nad čerpadlem filtračního okruhu.

Aktuální výkon slunečního kolektoru je popsán následujícím vzorcem (rov. 1):

$$\dot{Q}_k = A_k \cdot [G \cdot \eta_0 - a_1 \cdot (T_m - T_e) - a_2 \cdot (T_m - T_e)^2] \quad (1)$$

,kde:

$A_k$  - vztažná plocha kolektoru [ $m^2$ ]

$G$  – intenzita slunečního ozáření [ $W/m^2$ ]

$\eta_0$  – optická účinnost

$T_m$  – teplota teplotnosné kapaliny

$T_e$  – teplota okolí

$a_1$  – lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [ $W/(m^2 K)$ ]

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

Pro kolektory CosmoSOL 253L je vzorec:

$$\dot{Q}_k = 4 \cdot 2,24 \cdot [G \cdot 0,772 - 3,17 \cdot (T_m - T_e) - 0,0047 \cdot (T_m - T_e)^2] \quad (2)$$

Dva typy řešené regulace:

- **Klasická:** Snaha dosažení maximální teploty užitkové vody, po dosažení následuje přepnutí na ohřev bazénu. Pokud teplota TUV klesne pod určitou hranici, opět se zapne ohřev TUV.
- **Specifická – požadavek majitele:** Tato specifikace je v podstatě opakem specifikace klasické. Hlavním cílem je dosažení dané teploty vody v bazénu a z přebytků ohřívat užitkovou vodu v zásobníku.

## 4.1 Výběr řídicí jednotky a dalších komponent

Při výběru řídicí jednotky bylo uvažováno mezi MPC a PLC. Hlavní výhodou MPC je jednoznačně pořizovací cena, která se pohybuje v rámci stokorun. Nevýhodou je nutnost vytvoření vlastního zařízení, které by bylo unikátní, bez jakékoliv záruky dlouhodobé funkčnosti. V případě poruchy by zřejmě oprava nebyla jednoduchá.

Všechny tyto problémy vyřešil výběr PLC Tecno Foxtrot CP-1005, ovšem za několikanásobně vyšší cenu. Tuto cenu ovšem kompenzuje technická podpora, dvouletá záruka a certifikace.

### 4.1.1 PLC TECO Foxtrot CP-1005

Programovatelný logický automat (z anglického Programmable Logic Controller) je číslicový elektronický systém, který je určen pro použití v průmyslovém prostředí. PLC je navrženo pro automatizaci a řízení různých typů výrobních procesů. Za tímto účelem obsahuje programovatelnou paměť, která slouží pro uložení uživatelského programu, což je soubor instrukcí, sloužících k implementaci specifických funkcí. Typy těchto funkcí jsou

např.: logické funkce, funkce pro vytváření sekvencí, časovače, čítače a funkce pro aritmetické operace. Pro řízení výrobního procesu využívá PLC množství binárních a analogových vstupů a výstupů. Pro PLC je typické provádění programu v cyklech. Jeden cyklus se skládá z těchto čtyř částí [17]:

- Inicializace vstupů
- Provedení uživatelského programu
- Nastavení výstupů
- Režie a servis – příprava PLC na další cyklus

PLC Foxtrot CP-1005 (Obr. 15) vyrábí česká firma Teco a.s. sídlící v Kolíně. Tento model patří mezi základní moduly modulárních PLC řady Foxtrot. Na tomto základním modulu nalezneme šest víceúčelových vstupů. Tyto vstupy mohou sloužit jako analogové napěťové / proudové / pasivní (pro odporová čidla teploty) nebo jako binární 24V. Dále CP-1005 disponuje analogovými výstupy 10V a šesti reléovými výstupy. O vysoký výkon se stará centrální procesorová jednotka (CPU) řady K. Uživatelské programy, data registry DataBox a jiné se ukládají na zálohovanou paměť CMOS RAM. K dispozici je také FLASH paměť pro zálohování uživatelského programu. Další rozšíření datového uložení lze provést pomocí paměťové karty a MMC/SD/SDHC slotu. Pro připojení k PC se využívá Ethernetu (RJ-45). Podrobnější přehled vybraných parametrů CP-1005 je uveden v tabulce (Tab. 2).

Tab. 2. Přehled vybraných parametrů CP-1005

<b>Systémové parametry</b>	
Obvod reálného času	ano
Paměť uživatelského programu a tabulek	192 + 64 KB
záložní paměť programu EEPROM	ano
DataBox - přídatná paměť dat interní	512 kB
Doba cyklu na 1k log. Instrukcí	0,2 ms
Integrovaný Web server	ano
<b>Analogové vstupy</b>	
Počet vstupů zakl.modulu	6
Typ převodníku	Aproximační
Doba převodu	20 $\mu$ s

Číslíková rozlišovací schopnost	12 bitů
Měřicí rozsahy / rozlišení (LBS)	0 až +0,5V / 610,4 $\mu$ V 0 až +1V / 610,4 $\mu$ V 0 až +2V / 610,4 $\mu$ V 0 až +5V / 2,726 mV 0 až +10V / 2,726 mV 0 až +20mA / 6,104 $\mu$ A 4 až +20mA / 6,104 $\mu$ A Pt100 - W100 = 1,385 Pt1000 - W100 = 1,385 Ni1000 - W100 = 1,500
<b>Binární vstupy</b>	
Počet vstupů základního modulu	6
Vstupní napětí pro log.0	max +5V DC
Vstupní napětí pro log.1	min +15 V DC typ. +24 V DC max +30 V DC
Vstupní proud při log.1	typ. 5mA
<b>Analogové výstupy</b>	
Počet výstupů / typ	2 / napěťové
Rozlišení převodníku	12 bitů
Doba převodu	10 $\mu$ s
Výstupní napětí / rozlišení 1 LSB	0 - 10,5V / 2,637 mV
<b>Binární výstupy</b>	
Počet výstupů	6
Typ výstupů / typ kontaktu	elektromechanické relé / spínací
Spínané napětí	max 250V min 5V
Spínaný proud	max 3A min 100mA



Obr. 15. PLC Teco Foxtrot CP – 1005

#### 4.1.2 Měření intenzity slunečního záření

Největším problémem pro určení aktuálního výkonu solárního kolektoru je určení aktuální intenzity slunečního záření. První možností bylo použít referenční hodnotu  $1000\text{W}/\text{m}^2$ .

Další možností bylo počítání maximální možné hodnoty slunečního záření v dané lokaci v daný čas.

Jelikož ani jeden způsob nedokáže dostatečně popsat aktuální intenzitu slunečního záření, bylo navrženo využití malého solárního panelu (Obr. 16), který dokáže relativně přesně popsat aktuální situaci.



Obr. 16. Fotovoltaický panel 9 x 3,8cm

Pomocí hodnoty výkonu fotovoltaického panelu, který udává rovnice 3. bude měřena intenzita slunečního záření, kterou udává rovnice 6. Rovnice pro výkon slunečního panelu byla upravena pomocí Ohmova zákona (7) na rovnici 10. Ideální velikost odporu byla stanovena rovnicemi 8 a 9.

Výsledný vztah, který je vyhodnocován v řídicím algoritmu je popsán rovnicí 10. Velikost použitého panelu je 9 x 3,8 cm a jeho účinnost je 13%.

$$P = I * U \quad (1)$$

$$U = I * R \quad (2)$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (3)$$

$$I_{Pn} = \frac{P}{(\eta * S)} \quad (4)$$

$$R = \frac{U}{I} \quad (7)$$

$$R = \frac{5,5}{0,08} \Omega \quad (8)$$

$$R = 68,75 \Omega \Rightarrow \mathbf{100 \Omega} \quad (9)$$

$$I_{Pn} = \frac{\frac{U^2}{R}}{(\eta * S)} \quad (10)$$

#### 4.1.3 Měření teploty

K určení aktuálního výkonu solárních kolektorů je potřebné znát aktuální venkovní teplotu a teplotu vody, s kterou dochází k výměně tepla. K zjištění teploty TUV není

potřeba instalovat dodatečné teplotní čidlo, ale je možno využít stávající čidlo umístěné v zásobníku TUV CosmoCELL CCE DUO.

Je nutné pouze přidat teplotní čidlo Pt100 (Obr. 17) k solárním kolektorům pro snímání venkovní teploty a do bazénu pro snímání teploty vody v bazénu. Pt100 je standard platinových senzorů, které značí, že se jedná o platinu. Tento senzor vykazuje elektrický odpor  $100\Omega$  při teplotě  $0^{\circ}\text{C}$  [18].

Stávající teplotní čidlo uvnitř solárních kolektorů není vhodné k určení venkovní teploty, jelikož je určeno k snímání teploty uvnitř kolektoru, aby nedošlo k jeho přehřátí. Teplota u tohoto čidla se neshoduje s venkovní teplotou.



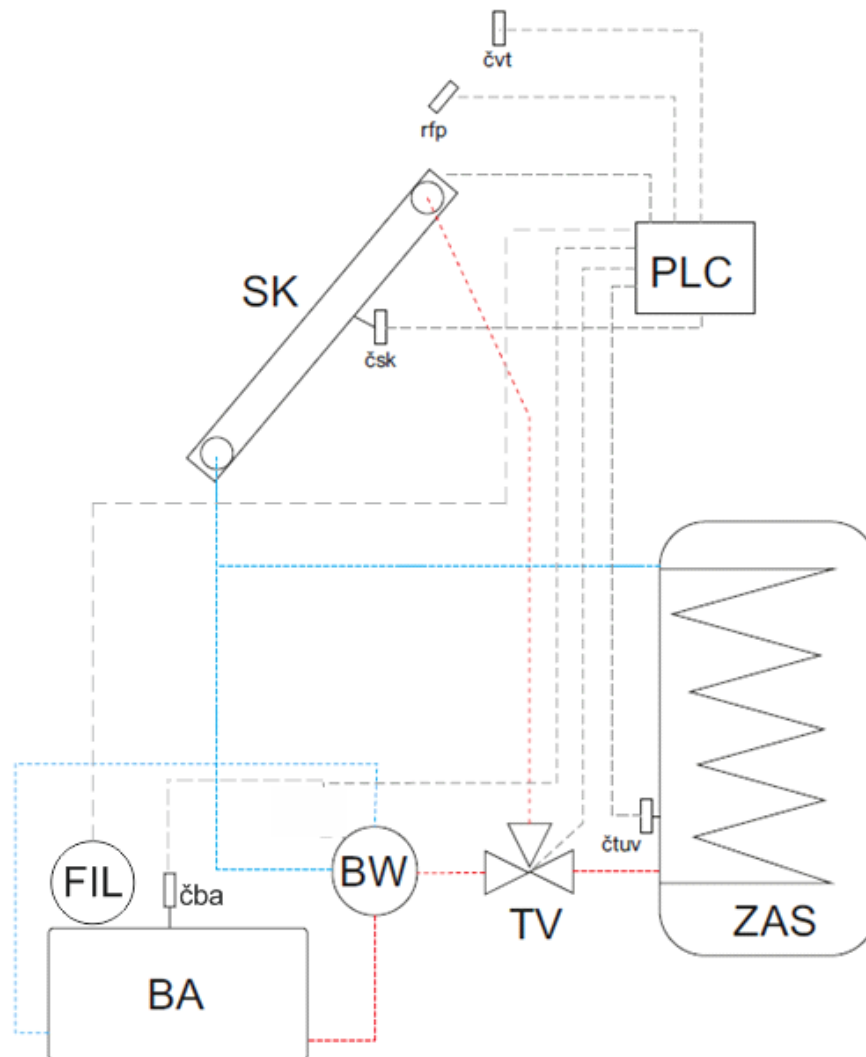
*Obr. 17. Teplotní čidlo PT1000*

#### **4.1.4 Spínače**

PLC Teco Foxtrot CP-1005 disponuje 6 binárními reléovými výstupy, které jsou schopny spínat napětí 5 – 250V a spínaný proud může dosahovat velikosti až 3A, krátkodobě až 4A, proto není potřeba k spínání čerpadel a trojcestného ventilu používat žádný další prvek.

## 4.2 Schéma inovovaného zapojení

Na obrázku (Obr. 18) je zjednodušeně znázorněno inovované zapojení systému, kde k solárním kolektorům na střeše přibyl malý fotovoltaický panel (rfp). Dále došlo k výměně řídicí jednotky a její propojení s filtrací bazénu a do bazénu bylo umístěno teplotní čidlo.



Obr. 18. Zjednodušené schéma zapojení inovovaného systému

**SK** – solární kolektor, včetně solární stanice

**PLC** – nová řídicí jednotka(plc)

**BW** – tepelný výměník Bowman

**TV** – Trojcestný ventil

**rfp** – malý fotovoltaický panel

**BA** – bazén 20m<sup>3</sup>

**čtuv** – teplotní čidlo zásobníku TUV

**čba** – teplotní čidlo bazénu (pt1000)

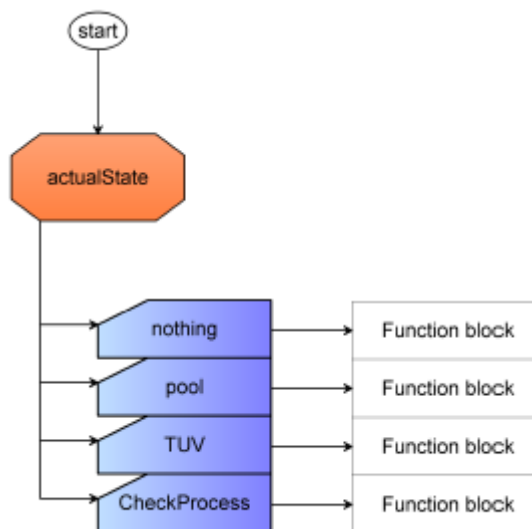
**čsk** – teplotní čidlo kolektorů (pt1000)

**čvt** – teplotní čidlo venkovní teploty (pt100)

**FIL** – filtrace - čerpadlo

### 4.3 Řídící algoritmus

Uživatelský program je rozčleněn do pěti částí – hlavní část a čtyři funkční bloky. V hlavní části dochází k spouštění funkčních bloků na základě proměnné „actualState“ (Obr. 19). Tato proměnná udává, v jakém stavu se systém nachází. Tyto stavy jsou: nic („nothing“), bazén (pool), TUV (TUV), kontrola (check process).



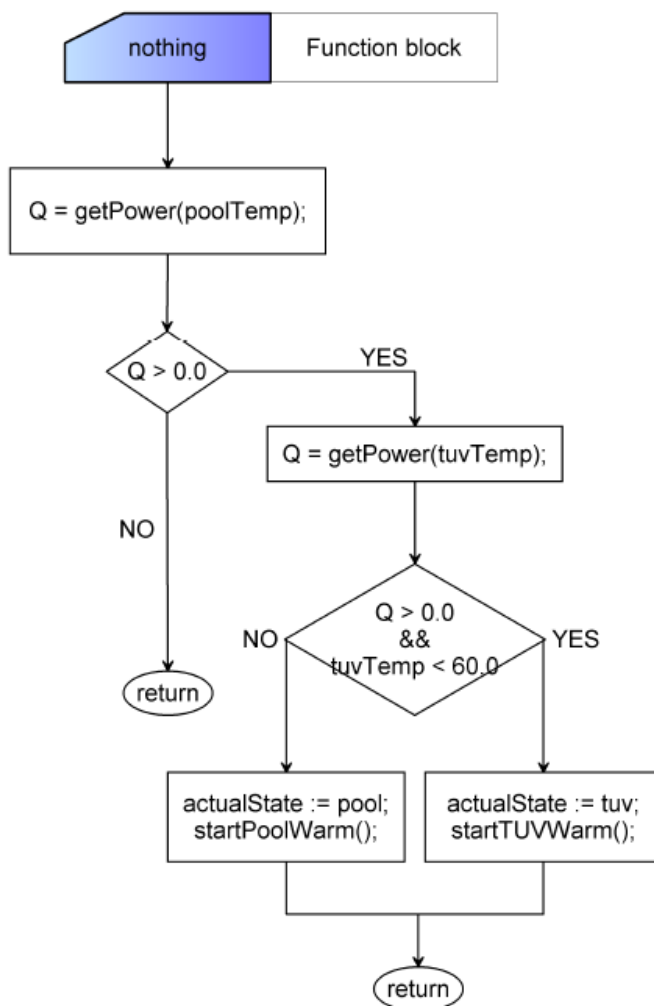
Obr. 19 Diagram rozdělení dle aktuálního stavu.

Druhá půlka hlavní části hlídá teplotu na solárních kolektorech, aby nedošlo k jejich přehřátí. V případě, že by tato teplota dosáhla hodnoty 200°C, maximální klidová teplota na testovacím stanovišti pro kolektory CosmoSOL 253L je 234°C, spustí se čerpadlo solárního systému a trojcestný ventil se nastaví do polohy „bazén“, aby došlo k co nejrychlejšímu ochlazení kolektoru. Toto ochlazování probíhá tak dlouho, než klesne teplota na kolektorech pod 180°C.

Filtrace bazénu je pravidelně spouštěna v intervalech 4 hodiny, což je dle majitele ideální časování pro dostatečné vyfiltrování vody v bazénu.

### 4.3.1 První stav – NIC

Tento stav (Obr. 20) je aktuální v případě, že výkon kolektorů není dostatečný ani pro ohřev vody v bazénu a systém je vypnutý. Kontroluje se výkon kolektorů pro ohřev vody v bazénu, na základě rovnice č. 2 a hodnot z čidel. Jestliže je výkon kladný, zapne se čerpadlo solární soustavy a nastává kontrola výkonu kolektorů pro TUV. Když je výkon dostatečný pouze pro ohřev vody v bazénu, trojcestný ventil se nastaví do polohy, aby teplonosné medium proudilo do výměníku Bowman, a aktuální stav se změní na „BAZEN - pool“. Pokud je výkon dostatečný i pro ohřev TUV, přepne se trojcestný ventil do polohy pro ohřev vody v zásobníku TUV a aktuální stav se nastaví na „TUV“.



Obr. 20. Diagram stavu nic – „nothing“

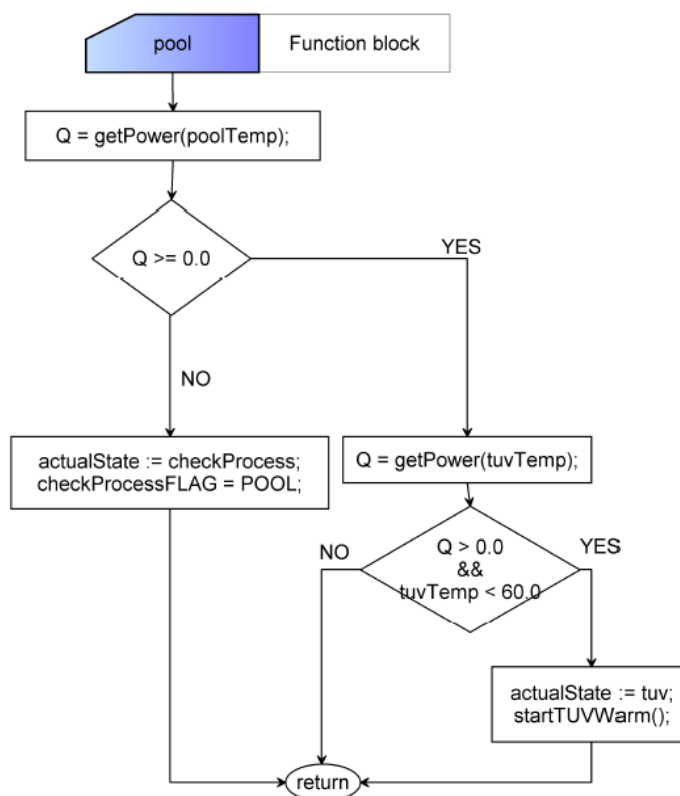
### 4.3.2 Druhý stav – BAZEN

V tomto stavu (Obr. 21) je solární soustava zapnuta a trojcestný ventil pouští médium do výměníku Bowman. Do tohoto stavu se systém může dostat těmito způsoby:

- Při přechodu ze stavu NIC, kde bylo zjištěno, že výkon kolektorů pro ohřev vody v bazénu je dostatečný
- Při přechodu ze stavu TUV v případě, že výkon solárních kolektorů již není dostatečný pro ohřev TUV, ale je dostatečný pro ohřev vody v bazénu
- Při přechodu ze stavu TUV v případě, že teplota vody v zásobníku je již dostatečná
- *Bezpečnostní:* v případě, že teplota na kolektorech začne dosahat kritických hodnot a je potřeba je ochladit, aby nedošlo k jejich poškození
- *Specifická:* v případě, že teplota vody v bazénu klesne pod dolní hranici požadované teploty, tj. požadovaná teplota – 2°C

Úkolem tohoto stavu kontrolovat, zdali je výkon kolektorů kladný pro ohřev vody v bazénu, aby nedocházelo k jejímu ochlazení. Dalším krokem je kontrola, zdali by nebylo možné zapnout ohřev TUV. Ve specifickém režimu je toto přepnutí podmíněno splněním podmínky, že voda v bazénu má požadovanou teplotu.

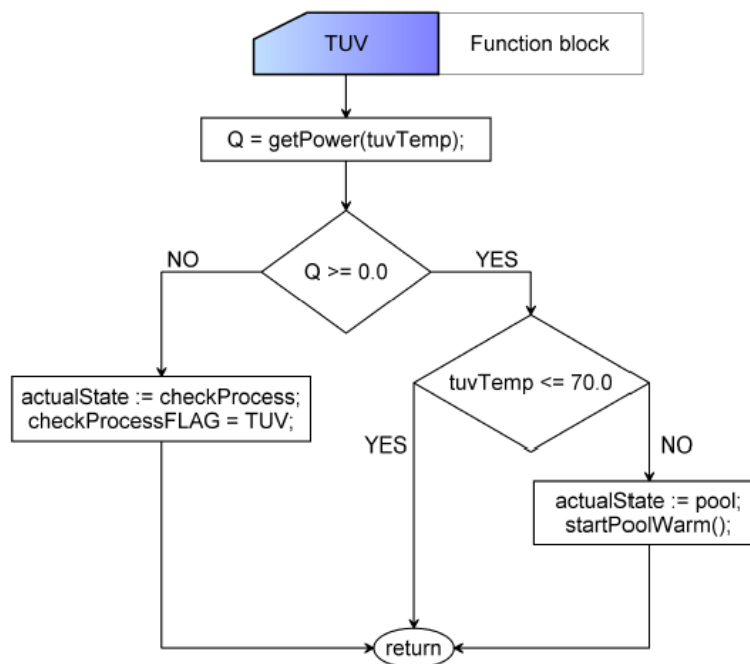
Nastane-li situace, že výkon kolektorů klesne do záporných hodnot, tudíž by docházelo k ochlazení vody v bazénu, nastaví se aktuální stav na stav „Kontrola - checkProcess“ a znak tohoto procesu – „checkProcessFLAG“ je nastaven na „bazen – pool“. Tento proces a význam jeho znaku je popsán v kapitole 4.3.4.



Obr. 21. Diagram stavu bazen – „pool“

### 4.3.3 Třetí stav – TUV

V tomto stavu (Obr. 22) je solární soustava zapnuta a trojcestný ventil je otočen pro ohřev vody v zásobníku TUV. Do tohoto stavu se systém dostane v případě, že je výkon na solárních kolektorech dostatečně vysoký pro ohřev TUV. Teplota vody v zásobníku musí být o 10°C menší než je nastaveno její maximum. Tento interval zajišťuje, že nebude docházet k neustálému přepínání mezi TUV a bazénem, jakmile by teplota TUV klesla pod její maximální nastavenou hodnotu. V okamžiku, kdy teplota vody v zásobníku dosáhne maximální hodnoty, přepne se aktuální stav na BAZEN – „pool“ a pokračuje se v ohřevu vody v bazénu.



Obr. 22. Diagram stavu TUV – „tuv“

#### 4.3.4 Čtvrtý stav – KONTROLA

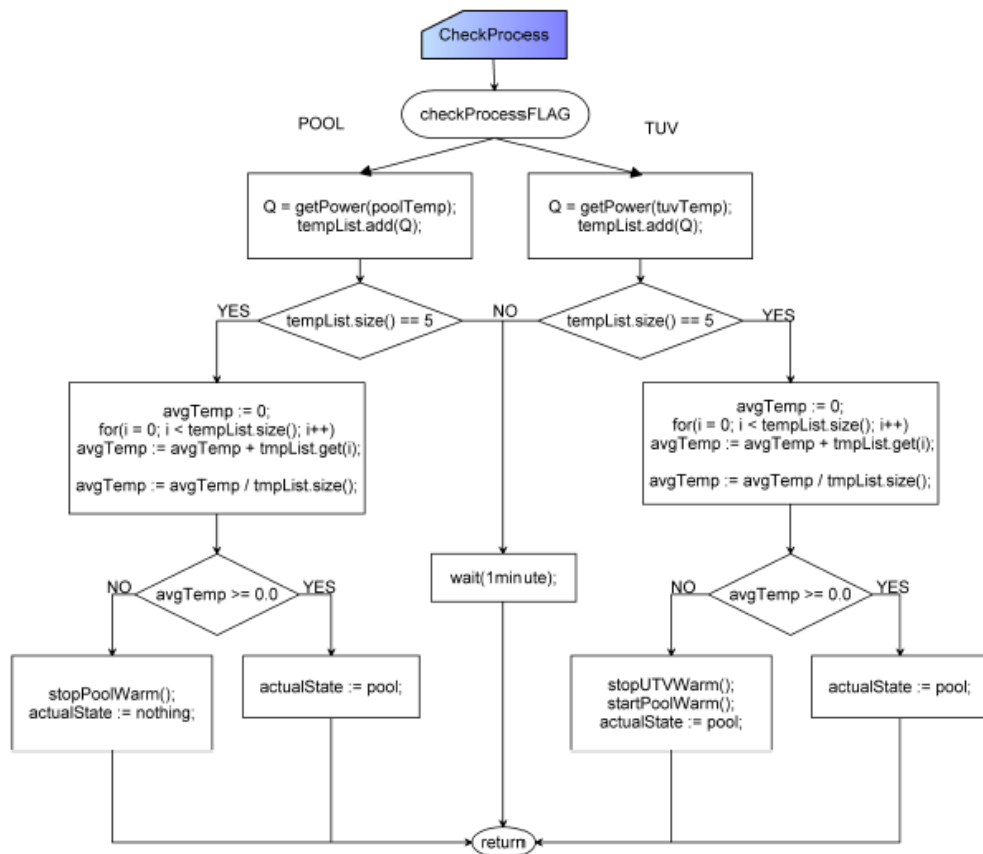
Do tohoto stavu (Obr. 23) se systém dostane vždy, když není výkon na kolektorech dostatečný pro ohřev aktuálně ohříváné vody. To může nastat v případě, že přes slunce projde menší oblačnost a právě v tento okamžik není nutné ohřev vypínat, jelikož by se po krátkém čase opět zapnul. V tomto stavu je využita metoda klouzavých průměrů.

Tato metoda se řadí mezi adaptivní metody přístupu k modelování trendové složky. Je založena na předpokladu, že časovou řadu můžeme vyrovnat v krátkých úsecích jednou matematickou křivkou s různými parametry. Konkrétně je zde využita jednoduchá metoda klouzavých průměrů, což je v podstatě aritmetický průměr [19].

V tomto stavu systém kontroluje a zaznamenává hodnoty výkonu. Aby systém určoval správně výkon pro vodu v bazénu nebo TUV je zde při přechodu do tohoto stavu nastaven „ZNAK\_KONTROLA“ („checkProcessFLAG“) na BAZEN („pool“) nebo TUV.

Tato kontrola probíhá 5 minut a každou minutu se zaznamená hodnota výkonu. Po uplynutí této doby se vypočítá klouzavý průměr. Jestliže je tato hodnota kladná systém se na základě „ZNAK\_KONTROLA“ („checkProcessFLAG“) přepne na stav pro ohřev

bazénu nebo ohřev TUV. Jestliže výkon bude záporný a předchozí stav byl TUV, systém se přepne na stav BAZEN („pool“). Pokud byl předchozí stav BAZEN („pool“), systém přepne do stavu NIC („nothing“) a vypne se.



Obr. 23. Diagram stavu kontrola – „check process“

## 5 POSTUP ZPROVOZNĚNÍ

Tuto instalaci by měla provádět osoba k těmto úkonům pověřená a odborně proškolená, jelikož se při ní manipuluje s elektrickým napětím 230V.

- PLC a uživatelský program
  - Stažení a instalace vývojového prostředí Mosaic na PC
  - Import zabaleného uživatelského programu přiloženého v příloze na CD této práce
  - Připojení PLC Teco Foxtrot CP-1005 k PC pomocí Ethernetu
  - Nastavení měřících rozsahů
  - Nastavení výstupních rozsahů
  - Přiřazení aliasů vstupním a výstupním portům PLC
  - Kompilace a nahrání uživatelského programu
- Montáž snímačů a spínačů
  - Umístění a instalace malého fotovoltaického panelu vedle solárních kolektorů pod stejným úhlem a se stejnou orientací
  - Připojení kvalitního odporu k solárnímu panelu, tento odpor by měl být co nejstálější, tj. s minimální závislostí odporu na teplotě
  - Instalace teplotního venkovního čidla na střechu a teplotního čidla do bazénu
  - Rozvod kabeláže od malého fotovoltaického panelu a teplotního čidla ze střechy k PLC
  - Přepojení kabeláže od teplotního čidla v zásobníku TUV a teplotního čidla ve výměníku k PLC
  - Propojení trojcestného ventilu, čerpadla solární soustavy a čerpadla filtrace s PLC

## 6 SIMULACE

Výsledný algoritmus byl otestován dále popsáním způsobem. Součástí tvorby programu bylo i vytvoření vizualizačního panelu (Obr. 24). Na tomto panelu jsou zobrazeny všechny vstupní hodnoty – intenzita slunečního záření, venkovní teplota, teplota TUV, teplota vody v bazénu, informační hodnoty – výkon solárního kolektoru, výstupní hodnoty – stav čerpadel (zapnuto – zeleně, vypnuto - červeně), stav trojcestného ventilu (bazén – modře, TUV - žlutě).



Obr. 24. Vizualizační panel

Simulace spočívala v ručním vyhodnocení a určení odpovídajícímu stavu na základě různých hodnot intenzity slunečního záření, venkovní teploty, teploty TUV a teploty vody v bazénu. Tyto hodnoty byly poté zadány jako vstupní hodnoty ve vizualizačním panelu a byla sledována reakce programu. Výsledky simulací jsou znázorněny v tabulce (Tab. 3)

Tab. 3 Přehled simulovaných situací.

G [W/m <sup>2</sup> ]	T <sub>v</sub> [°C]	T <sub>b</sub> [°C]	T <sub>z</sub> [°C]	Q <sub>b</sub> [W]	Q <sub>z</sub> [W]	Předpokládaný stav	Simulovaný stav
0,00	25,00	28,00	60,00	-92,46	-1129,70	nic - nothing	nic - nothing
50,00	25,00	28,00	60,00	281,18	-756,08	bazen - pool	bazen - pool
150,00	25,00	28,00	60,00	1028,47	-8,78	bazen - pool	bazen - pool
200,00	25,00	28,00	60,00	1402,12	364,86	TUV	TUV
300,00	25,00	28,00	60,00	2149,42	1112,16	TUV	TUV

500,00	25,00	28,00	60,00	3644,01	2606,75	TUV	TUV
700,00	25,00	28,00	60,00	5138,60	4848,64	TUV	TUV
1000,00	25,00	28,00	60,00	7380,49	6343,23	TUV	TUV

## 6.1 Zhodnocení simulací

Jak lze vidět v tabulce (Tab. 3) algoritmus se choval korektně a přesně podle předpokládaného chování. Jakmile byla nastavena teplota na kolektorech větší jak 200°C, byl zapnut ochlazovací režim (ohřev bazénu), jakmile teplota klesla pod 180°C algoritmus pokračoval ve stavu, ve kterém se nacházel před spuštěním ochlazovacího režimu. V pravidelných intervalech spouštěl filtraci bazénu. Z toho usuzuji, že je algoritmus napsaný správně.

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo popsat možnost inovování stávajícího solárního systému, který slouží pro ohřev vody v bazénu a TUV.

Jelikož stávající systém obsahuje pouze tři teplotní čidla, čidlo na kolektorech, čidlo teploty vody v bazénu a čidlo teploty TUV, není schopný reagovat na aktuální venkovní podmínky. Proto byla navržena inovace, která je schopna reagovat na aktuální venkovní podmínky a zvýší tak tepelný zisk.

Tato inovace v sobě zahrnuje rozšíření stávajícího solárního okruhu o jedno venkovní teplotní čidlo, jedno čidlo pro měření teploty vody v bazénu, a malý fotovoltaický panel, pomocí kterého bude měřena intenzita solárního záření. Dále je součástí inovace výměna stávající řídicí jednotky za PLC. Byl navržen a naprogramován uživatelský program, který řídí systém tak, aby dosáhl maximální možné teploty TUV a z přebytků ohříval vodu v bazénu. K ohřevu vody v bazénu dochází také, jestliže výkon solárních kolektorů není dostatečný k ohřevu TUV. V případě, že výkon není dostatečný ani k ohřevu vody v bazénu solární systém se vypne a kontroluje venkovní podmínky. Dále byl bodově popsán postup k instalaci. Je nutno podotknout, že tuto instalaci by měla provádět osoba k těmto úkonům pověřená a odborně proškolená, jelikož se při ní manipuluje s elektrickým napětím 230V. Navržený algoritmus byl simulačně otestován a při tomto testování vykazoval požadované a korektní chování.

V budoucnu by bylo jistě výhodné předat PLC řízení dalších systémů v budově, jako je například vytápění místností, řízení ventilace nebo osvětlení. PLC Foxtrot disponuje vlastním webovým serverem, což vybízí k vytvoření ovládacího panelu, ke kterému by měl majitel přístup přes lokální síť a mohl sledovat aktuální hodnoty, případně nastavovat různé parametry. Dalším užitečným rozšířením by jistě bylo naprogramování API, která by umožňovala kontrolu a ovládání systému například pomocí mobilní aplikace a majitel by tak měl nepřetržitý dohled nad systémem.

## ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this thesis was description of innovative options of the current solar system which is used for heating of water in a pool and warm utility water.

As the current system contains only three temperature sensors, the collector sensor, the water temperature in a pool sensor and the temperature of warm utility water sensor, the current system is not able to respond to the actual outsider conditions. Because of that fact, the innovation which is able to respond to these conditions and which can increase the heating gain was designed.

This innovation combines current solar circuit extension of one outdoor temperature sensor, one temperature sensor to a pool, and a small photovoltaic panel, which will be used for measuring of solar radiation. The innovation also contains exchanging of current controller for PLC. The user program was designed and programmed that controls the system as it reaches the maximum possible temperature of warm utility water and it heats water in the pool from its surplus. The heating of the water in the pool occurs also when the performance of solar collectors is not sufficient for heating warm utility water. In the case it is not sufficient for heating water in a pool, the solar system turns off and controls outside conditions. Next the installation process was described in points. It has to be pointed that the installation should be done by a person which is responsible for these acts and which is professionally trained, because of the manipulation with electric voltage of 230V. The proposed algorithm has been simulation tested and during testing it was showing required and correct behavior.

In the future, it would certainly be profitable to pass PLC controlling to other systems in buildings, such as space heating, ventilation control and lighting. PLC Foxrot has got its own web server that encourage the creation of controlling panel which will be accessible using local network and the owner could follow up actual values and set various parameters. Another useful extension would be programming API that would allow monitoring and controlling of the system for example by using mobile applications and the owner system would be uninterrupted under his control.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] CIHELKA, Jaromír. Sluneční vytápěcí systémy. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984, 206s.
- [2] LADENER, Heinz a Frank SPÄTE. Solární zařízení. 1. vyd. Praha: Grada, 2003, 267 s. ISBN 80-247-0362-9.
- [3] LANDSCHEIDT, Theodor. SOLAR ACTIVITY: A Dominant Factor in Climate Dynamics. *Still Waiting For Greenhouse* [online]. 2008 [cit. 2013-04-10]. Dostupné z: <http://www.john-daly.com/solar/solar.htm>
- [4] Fotovoltaika v podmínkách České republiky. *Isofen energy* [online]. 2009 [cit. 2013-04-10]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [5] MATUŠKA, Tomáš. Dimenzování solárních soustav (I). *TZB-info* [online]. 2007 [cit. 2013-04-10]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4214-dimenzovani-solarnich-soustav-i>
- [6] Teorie fotovoltaiky. *Isofen energy* [online]. 2007 [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaika.aspx>
- [7] Kolektory na ohřev vody. *Terms CZ* [online]. (2012) [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://www.terms-cz.com/solarni-energie-ohrev-vody.php>
- [8] MATUŠKA, Tomáš. Teplonosná kapalina. *TZB-info* [online]. (2007) [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/teplonosna-kapalina>
- [9] MATUŠKA, Tomáš. Parametry solárních kolektorů. *TZB-info* [online]. (2007) [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/parametry-solarnich-kolektoru>
- [10] KUSALA, Jaroslav. Princip solárního kolektoru. *Solární kolektory* [online]. (2005) [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k21.htm>
- [11] MATUŠKA, Tomáš. Typy solárních kolektorů. *TZB-info* [online]. (2010) [cit. 2013-04-28]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/typy-solarnich-kolektoru>
- [12] Vysvětlení činnosti a funkčnosti vakuového trubicového kolektoru Apricus®. *PROFISolar* [online]. (2010) [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.profisolar.com/kolektory-apricus-konstrukce-a-funkce.html>
- [13] Trubicové vakuové solární kolektory Sunheat. *Sunheat* [online]. (2010) [cit. 2013-04-29]. Dostupné z: <http://www.trubicove-kolektory.cz/mapa.html>
- [14] Sluneční vakuový trubicový kolektor. *Ekim Moravia* [online]. 2011 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.ekimmoravia.cz/slunecni-kolektor-vakuovy.html>

- [15] Technologie Heat Pipe. *UNI Solar energy* [online]. 2009 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://unikonsol.com/unisolarenergy/technologieheatpipe.html>
- [16] Srovnání typů kolektorů. *Ekim Moravia* [online]. 2011 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z: <http://www.ekimmoravia.cz/slunecni-kolektory-srovnani.html>
- [17] ŠMEJKAL, Ladislav a Marie MARTINÁSKOVÁ. PLC a automatizace. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999, 223 s. ISBN 80-86056-58-9.
- [18] HRUŠKA, František. Senzory: fyzikální principy, úpravy signálu, praktické použití (e-book). 2. rozš. vyd. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, [202] s. ISBN 978-80-7454-096-7.
- [19] CIPRA, Tomáš. Analýza časových rad s aplikacemi v ekonomii. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986, 246 s.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

TUV	Teplá užitková voda.
PLC	Programovatelný logický automat – Programmable Logic Controller.
MPC	Microcontroller - jednočipový počítač
actualState	Aktuální stav ve kterém se nachází
Function block	Funkční blok – část uživatelského programu
Q <sub>b</sub>	Výkon solárních kolektorů pro vodu v bazéně
Q <sub>z</sub>	Výkon solárních kolektorů pro vodu v zásobníku TUV
T <sub>v</sub>	Venkovní teplota
T <sub>b</sub>	Teplota vody v bazénu
T <sub>z</sub>	Teplota vody v zásobníku
API	Application Programming Interface - rozhraní pro programování aplikací
getPower()	Funkce algoritmu počítající výkon kolektorů pro dané medium
tuvTemp	Proměnná algoritmu obsahují informaci o teplotě TUV
poolTemp	Proměnná algoritmu obsahují informaci o teplotě vody v bazénu
startPoolWarm()	Funkce algoritmu zapínající ohřev vody v bazénu
startTUVWarm()	Funkce algoritmu zapínající ohřev TUV
stopPoolWarm()	Funkce algoritmu vypínající ohřev vody v bazénu
stopTUVWarm()	Funkce algoritmu vypínající ohřev TUV
avgTemp	Proměnná algoritmu obsahují informaci o průměrné teplotě

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Poměr přímého a difuzního záření v jednotlivých měsících. [6]</i> .....	11
<i>Obr. 2. Roční úhrn globálního slunečního záření na území ČR. [4]</i> .....	13
<i>Obr. 3. Celková doba slunečního svitu na území ČR. [4]</i> .....	13
<i>Obr. 4. Roční průběh globálního záření na jižně orientované plochy. [1]</i> .....	14
<i>Obr. 5. Křivky účinností jednotlivých typů solárních kolektorů. [9]</i> .....	17
<i>Obr. 6. Příklady geometrického uspořádání kanálek v absorberu a) příčný meandr, b) podélný meandr, c) dvojitý meandr, d) registr. [2]</i> .....	18
<i>Obr. 7. Trubicový vakuový kolektor s Heat Pipe. [15]</i> .....	19
<i>Obr. 8 Graf účinnosti solárních kolektorů na redukované teplotě. [1]</i> .....	20
<i>Obr. 9. Porovnání účinnosti kolektorů v průběhu roku. [13]</i> .....	21
<i>Obr. 10. Zjednodušené schéma zapojení stávajícího systému.</i> .....	24
<i>Obr. 11. Solární kolektory CosmoSOL 253L.</i> .....	25
<i>Obr. 12 Zásobník CosmoCELL CCE DUO.</i> .....	26
<i>Obr. 13. Bowman typ 5113.</i> .....	27
<i>Obr. 14. ESBE VTA 300.</i> .....	28
<i>Obr. 15. PLC Teco Foxtrot CP – 1005</i> .....	33
<i>Obr. 16. Fotovoltaický panel 9 x 3,8cm</i> .....	33
<i>Obr. 17. Teplotní čidlo PT1000</i> .....	35
<i>Obr. 18. Zjednodušené schéma zapojení inovovaného systému</i> .....	36
<i>Obr. 19 Diagram rozdělení dle aktuálního stavu.</i> .....	37
<i>Obr. 20. Diagram stavu nic – „nothing“</i> .....	38
<i>Obr. 21. Diagram stavu bazen – „pool“</i> .....	40
<i>Obr. 22. Diagram stavu TUV – „tuv“</i> .....	41
<i>Obr. 23. Diagram stavu kontrola – „check process“</i> .....	42
<i>Obr. 24. Vizualizační panel</i> .....	44

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tab. 1. Intenzita záření a velikost podílu difuzního záření v závislosti na povětrnostních podmínkách. [2].....</i>	<i>11</i>
<i>Tab. 2. Přehled vybraných parametrů CP-1005.....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 3 Přehled simulovaných situací.....</i>	<i>44</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

- P I Zdrojový kód – hlavní část
- P II Zdrojový kód – blok nic
- P III Zdrojový kód – blok bazén
- P VI Zdrojový kód – blok TUV
- P V Zdrojový kód – blok kontrola

## PŘÍLOHA P I: ZDROJOVÝ KÓD – HLAVNÍ ČÁST

```
//start main program code
PROGRAM prgMain
  //definition program vars
  VAR
    fbCheckProcessBlock : CheckProcessBlock;
    fbNothingBlock : NothingBlock;
    fbPoolBlock : PoolBlock;
    fbTuvBlock : TuvBlock;
    timerFilterTON : TON;
    timerFilterOUT : BOOL;
    timerFilter : INT := 0;
  END_VAR

  if temperCollectors > 200.0 then
    collectorsOverheat := true;
    startPoolWarm();
  end_if;

  //switch between function blocks
  if collectorsOverheat = false then

    case actualState of
      NOTHING_BLOCK      : fbNothingBlock();           //call nothing block;
      POOL_BLOCK          : fbPoolBlock();               //call pool block;
      TUV_BLOCK           : fbTuvBlock();               //call tuv block;
      CHECK_PROCESS_BLOCK : fbCheckProcessBlock();     //call checkprocess block;
    end_case;
  elseif temperCollectors < 180.0 then
    collectorsOverheat := false;
    case actualState of
      NOTHING_BLOCK:
        endWarm();
      POOL_BLOCK:
        startPoolWarm();
      TUV_BLOCK:
        startTUVWarm();
    end_case;
  end_if;

  //filter pump
  if actualState <> POOL_BLOCK then
    timerFilterTON(in:=1, pt:= t#1s, Q=>timerFilterOUT);
    if timerFilterOUT then
      timerFilter:=timerFilter+1;
      timerFilterTON(in:=0, pt:= t#1s, Q=>timerFilterOUT);
    end_if;

    if timerFilter = 240 and filterPump = false then
      filterPump:= true;
      timerFilter := 0;
    elseif timerFilter = 240 and filterPump = true then
      filterPump:= false;
      timerFilter := 0;
    end_if;
  end_if;

END_PROGRAM
```

## PŘÍLOHA P II: ZDROJOVÝ KÓD – BLOK NIC

```
FUNCTION_BLOCK NothingBlock
(*
* in this block system controls if possible start pool warm
* get power of solar collectors to warm pool water and if its >0
* check if is possible warm tuv water, if no -> change actualState to POOL else
* change actualState to TUV
*)

VAR
q : REAL := 0; //power of solar collectors
END_VAR

//get solar panel power with pool temperature
q := getPower(U := fotopanelU, tMed := temperPool, tOut := temperOut);

//check if possible turn on TUV warming
if q > 0.0 then
    //get solar panel power with tuv temperature
    q := getPower(U := fotopanelU, tMed := temperBoiler, tOut := temperOut);
    if q > 0.0 and temperBoiler < 60.0 then
        actualState := TUV_BLOCK;
        startTUVWarm();
    else
        actualState := POOL_BLOCK;
        startPoolWarm();
    end_if;
end_if;

return;

END_FUNCTION_BLOCK
```

## PŘÍLOHA P III: ZDROJOVÝ KÓD – BLOK BAZÉN

```
FUNCTION_BLOCK PoolBlock
(*
* this block check if power of solar collectors is sufficient to warm pool water
* if yes, check if is possible start tuv warm
* else run check process to turn off warming
*)

VAR
  q : REAL := 0; //power of solar collectors
END_VAR

//get solar panel power with pool temperature
q := getPower(U := fotopanelU, tMed := temperPool, tOut := temperOut);

filterPump := true;

//check if possible turn on TUV warming
if q > 0.0 then
  //get solar panel power with tuv temperature
  q := getPower(U := fotopanelU, tMed := temperBoiler, tOut := temperOut);
  if q > 0.0 and temperBoiler < 60.0 then
    actualState := TUV_BLOCK;
    startTUVWarm();
  end_if;
else //run check process
  actualState := CHECK_PROCESS_BLOCK;
  checkProcessFLAG := FLAG_POOL;
end_if;

return;

END_FUNCTION_BLOCK
```

## PŘÍLOHA P IV: ZDROJOVÝ KÓD – BLOK TUV

```
FUNCTION_BLOCK TuvBlock
(*
 * this block check if power of solar collectors is sufficient to warm tuv water
 * if true, return
 * else run check process to turn off warming
*)

VAR
  q : REAL := 0; //power of solar collectors
END_VAR

//get solar panel power with tuv temperature
q := getPower(U := fotopanelU, tMed := temperBoiler, tOut := temperOut);

//check if possible turn on TUV warming
if q > 0.0 and temperBoiler < 70.0 then
  return;
elsif q > 0.0 and temperBoiler >= 70.0 then
  actualState := POOL_BLOCK;
  startPoolWarm();
else //run check process
  actualState := CHECK_PROCESS_BLOCK;
  checkProcessFLAG := FLAG_TUV;
end_if;

return;

END_FUNCTION_BLOCK
```

## PŘÍLOHA P V: ZDROJOVÝ KÓD – BLOK KONTROLA

```
FUNCTION_BLOCK CheckProcessBlock
(*
* this block check every minute power of solar panels
* after 5min, the process count avg of power
* if the avg is < 0 for TUV_FLAG start POOL warm, for POOL_FLAG turn warm off
* if the avg is >= 0 for TUV_FLAG set actualState to TUV, for POOL_FLAG set actualState to POOL
*)
VAR
  q : REAL;
  avgTemper : REAL := 0;
  temperArray : ARRAY [1..5] of REAL := [0.0,0.0,0.0,0.0,0.0];

  cyclus : INT := 1;

  timerTON : TON;
  timerOUT : BOOL;
  timer : INT := 0;

  checkingFLAG : BOOL := false;

END_VAR
VAR_TEMP
  i : INT; //iterator
END_VAR

if checkingFLAG = true then
  timerTON(in:=1, pt:= t#1s, Q=>timerOUT);
  if timerOUT then
    timer:=timer+1;
    timerTON(in:=0, pt:= t#1s, Q=>timerOUT);
  end_if;
  if timer = 15 then
    timer := 0;
  else
    return;
  end_if;
end_if;

if checkProcessFLAG = FLAG_POOL then
  q := getPower(U := fotopanelU, tMed := temperPool, tOut := temperOut);
  temperArray[cyclus] := q;

  if cyclus = 5 then
    cyclus := 1;
    checkingFLAG := false;
    avgTemper := 0.0;
    for i := 1 to 5 do
      avgTemper := avgTemper + temperArray[i];
    end_for;
    avgTemper := avgTemper/5.0;

    if avgTemper >= 0.0 then
      actualState := POOL_BLOCK;
      return;
    else
      endWarm();
      actualState := NOTHING_BLOCK;
      return;
    end_if;
  else
    checkingFLAG := true;
  end_if;
  cyclus := cyclus + 1;
```

```
//for TUV flag
else
  q := getPower(U := fotopanelU, tMed := temperBoiler, tOut := temperOut);
  temperArray[cyclus] := q;

  if cyclus = 5 then
    cyclus := 1;
    checkingFLAG := false;
    avgTemper := 0.0;
    for i := 1 to 5 do
      avgTemper := avgTemper + temperArray[i];
    end_for;
    avgTemper := avgTemper/5.0;

    if avgTemper >= 0.0 then
      actualState := TUV_BLOCK;
      return;
    else
      startPoolWarm();
      actualState := POOL_BLOCK;
      return;
    end_if;
  else
    checkingFLAG := true;
  end_if;
  cyclus := cyclus + 1;
end_if;

END_FUNCTION_BLOCK
```