

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODARSKÁ UNIVERZITA  
V NITRE  
TECHNICKÁ FAKULTA**

2118093

**PROGRAM PRE SIMULÁCIU PRIETOKU MÉDIA  
SOLÁRNEHO OKRUHU**

**2010**

**Gabriel Tokár, Bc.**

**SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODARSKÁ UNIVERZITA  
V NITRE  
TECHNICKÁ FAKULTA**

**PROGRAM PRE SIMULÁCIU PRIETOKU MÉDIA  
SOLÁRNEHO OKRUHU**

**Diplomová práca**

Študijný program:	Kvalita produkcie
Študijný odbor:	5.2.57-Kvalita produkcie
Školiace pracovisko:	Katedra elektrotechniky, automatizácie a informatiky
Školiteľ:	Ing. Miroslav Pap, PhD.

**Nitra 2010**

**Gabriel Tokár, Bc.**

## **Čestné vyhlásenie**

Podpísaný Gabriel Tokár, Bc vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Program pre simuláciu prietoku média solárneho okruhu“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 27. apríla 2010

Gabriel Tokár, Bc.

## **Pod'akovanie**

Touto cestou vyslovujem pod'akovanie **Ing. Miroslavovi PAPOVI, PhD.** za odbornú pomoc, vedenie, cenné rady a pripomienky pri vypracovaní mojej diplomovej práce.

## Abstrakt

Tendencia cenového vývoja energie kladie do popredia úsporné využívanie energie. Čoraz dôležitejším aspektom pri tradičných fosílnych nosičoch energie vypúšťajúcich do ovzdušia mnoho znečisťujúcich exhalátov je rozšírenie technológií šetriacich životné prostredie. Jedným z možných riešení zohľadňujúcich spomínané aspekty je zvýšenie využívania alternatívnych zdrojov energie, najmä slnečnej. Slnečná energia v našich geografických podmienkach sa dá pomocou správnych technológií efektívne využívať hlavne na výrobu úžitkovej teplej vody. Dnes používané systémy využívajú vo svojom primárnom okruhu systém riadenia „High flow“, alebo vzhľadom na lepšiu cenovú dostupnosť komponentov „Matched flow“. V prvej časti diplomovej práce sme sa zaoberali základnými pojmami a zhromažďovaním informácií o súčasnom stave riešenej problematiky. Na základe dostupných zdrojov sme vytvorili prehľad v existujúcich riešeniach solárnych okruhov. Popísali sme existujúce technológie a metódy solárnych systémov. Súčasťou tejto časti diplomovej práce je aj časť, nových trendov v oblasti solárnych systémov. Táto časť je teoretická a je súhrnom informácií z dostupných literárnych zdrojov. Druhá časť diplomovej práce je vlastná práca, kde sme venovali pozornosť návrhu a riešeniu programu pre simuláciu prietoku média solárneho okruhu. Práca je zameraná na monitorovanie solárneho okruhu na ohrev teplej úžitkovej vody so zabudovaným obehovým čerpadlom.

V aplikácií sú vyhodnocované a graficky znázornené:

- účinnosť kolektora v závislosti na rôzne vonkajšie parametre prostredia
- skutočný tepelný výkon na plošnú jednotku za definovaný časový úsek
- priebeh ohrevu TUV v zásobníku vzhľadom na rôzne počiatočné stavy
- optimalizácia prietoku média v primárnom okruhu pomocou obehového čerpadla

Kľúčové slová: solárny okruh, solárna energia, účinnosť kolektora, TUV

## Abstract

The trends in energy price development highlight the energy saving solutions. The wider spread of environmental friendly technologies is becoming an important data for traditional fossil energy carriers discharging pollutants into the air. Alternative or renewable energies, particularly solar energy, appear as a solution that includes all necessary aspects. With proper technologies, solar energy could be efficiently used for the production of hot water in our geographical area. Systems used today feature the "High flow" (or "Matched flow" for better components) regulating system in their primary circuit. The first part of the thesis deals with the basic concepts, and focuses on collecting the information from the actual situation on the field. The study makes an overview of existing solutions on solar circuit, according to the available resources. It describes the existing technologies and the different solar systems. This part of thesis refers to the new solar system trends. This part is theoretical and presents a summary of available information. The second part presents the author's research work. Special attention was paid to the design and the solutions of the program, with the simulation of the solar circuit media flow. The aim of the work is to monitor the solar circuit while heating hot water with the built-in circulation pump.

- During this application are evaluated and shown in graphics:
- Collector efficiency depending on various parameters of the external environment
- Actual thermal performance of the collective unit for a defined time period
- Process of heating hot water in the reservoir with regard to different initial conditions
- Optimization of a media flow in primary circuit with the circulation pump

Key words: solar circuit, solar energy, effectiveness of collector, hot water

# OBSAH

OBSAH .....	2
Zoznam skratiek a značiek .....	4
ÚVOD .....	5
1 PREHLAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENEJ PROBLEMATIKY .....	6
1.1 Definície , základné pojmy .....	6
1.1.1 Slnčná energia .....	6
1.1.2 Solárny systém .....	8
1.1.2.1 Pasívne solárne systémy .....	8
1.1.2.2 Aktívne solárne systémy .....	8
1.1.3 Solárne zariadenia .....	8
1.1.3.1 Slnčný kolektor .....	8
1.1.3.2 Tepelný zásobník .....	12
1.1.3.3 Solárny okruh .....	12
1.2 Solárne systémy z pohľadu rýchlosti prietoku .....	13
1.2.1 High-Flow system (HF) .....	13
1.2.2 Low-Flow systém (LF) .....	13
1.2.3 Matched-Flow systém (MF) .....	14
1.2.4 Drain-Back systém (DB) .....	14
1.3 Delenie solárnych sústav: .....	15
1.3.1 Sústavy s dvoma okruhmi .....	15
1.3.2 Sústavy s jedným zásobníkom teplej vody .....	15
1.3.3 Sústavy s viacerými zásobníkmi teplej vody .....	16
1.3.4 Sústavy s vyrovnávacím zásobníkom .....	17
1.4 Dimenzovanie solárnych systémov .....	19
1.4.1 Účinnosť kolektorov .....	19
1.4.2 Nevyhnutné výkony a energie pre prípravu teplej vody .....	21
1.4.2.1 Tepelné straty tepelného zásobníka .....	22
1.4.2.2 Cirkulačné potrubie – straty .....	22
1.4.3 Zisk solárnej sústavy .....	23
1.5 Riadenie a dimenzovanie čerpadiel .....	24
1.5.1 Regulácia podľa rozdielu teplôt .....	24
1.5.2 Regulácia podľa žiarenia a rozdielu teplôt .....	25
1.5.3 Regulácia nabíjania vonkajším tepelným výmenníkom .....	26
1.5.4 Regulácia nabíjania pri dosiahnutí vysokých teplôt alebo cieľovej teploty .....	27
2 CIEĽ PRÁCE .....	29
3 METODIKA PRÁCE .....	30
4 VLASTNÁ PRÁCA .....	31
4.1 Návrh aplikačného programu pre simuláciu prietoku média solárneho okruhu .....	31
4.1.1 Popis realizácie programu .....	32
4.1.2 Výpočet účinnosti kolektora v závislosti na vonkajšie parametre prostredia .....	37
4.1.2.1 Vstupné parametre aplikačného modulu: .....	38
4.1.2.2 Popis algoritmu pre výpočet účinnosti : .....	39
4.1.2.3 Výpočet účinnosti kolektora .....	40
4.1.2.4 Výsledky simulácie .....	42
4.1.3 Výpočet tepelného výkonu na plošnú jednotku za definovaný časový úsek .....	43
4.1.3.1 Vstupné parametre aplikačného modulu: .....	44
4.1.3.2 Popis algoritmu pre výpočet skutočného tepelného výkonu: .....	44

4.1.3.3	Výsledky simulácie .....	46
4.1.4	Výpočet priebehu ohrevu TUV v zásobníku.....	47
4.1.4.1	Vstupné parametre aplikačného modulu: .....	48
4.1.4.2	Popis algoritmu pre výpočet ohrevu TUV v zásobníku: .....	49
4.1.4.3	Výsledky simulácie .....	50
4.1.5	Optimalizácia prietoku média v primárnom okruhu .....	51
ZÁVER	.....	52
Prílohy	.....	54



## Zoznam skratiek a značiek

E	intenzita dopadajúceho žiarenia,	[Wm <sup>-2</sup> ]
k	koeficient prestupu tepla,	[Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> ]
TUV	tepla úžitková voda	-
U	súčiniteľ prestupu tepla celého zásobníka	[W/(m <sup>2</sup> .K)]
A	plocha povrchu zásobníka	[m <sup>2</sup> ]
Ac	plocha absorbéru kolektora	[m <sup>2</sup> ]
C <sub>c</sub>	špecifická tepelná kapacita kvapaliny v kolektore	[J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
T <sub>kol</sub>	stredná teplota absorbéru	[°C]
T <sub>U</sub>	stredná teplota okolia	[°C]
ΔT	stredný teplotný rozdiel medzi vodou v zásobníku a okolí	[K]
t	časový úsek sledovania	[h]
η	účinnosť	[%]
η <sub>0</sub>	optická účinnosť kolektora	-
k <sub>1</sub>	súčiniteľ tepelnej straty (lineárny)	-
k <sub>2</sub>	súčiniteľ tepelnej straty (kvadratický)	-
T <sub>kout</sub>	teplota média vystupujúca z kolektora	[°C]
T <sub>kin</sub>	teplota média vstupujúca do kolektora	[°C]
T <sub>vin</sub>	teplota média vstupujúca do výmenníka	[°C]
T <sub>vout</sub>	teplota média vystupujúca z výmenníka	[°C]
q <sup>'**</sup>	tabuľková hodnota pre merač tepelnej straty	[W/mK]
q <sup>'*</sup>	tabuľková hodnota pre merné tepelné straty	[W/m]
L	dĺžka potrubia	[m]
b	doba prevádzky cirkulačného čerpadla	[h/d]
v	prietok v kolektorovom okruhu	[m <sup>3</sup> /h]
p	hustota zmesi	[kg/m <sup>3</sup> ]
c	merná tepelná kapacita zmesi	[J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]
Q	energia	[Wh]

## ÚVOD

V dnešnej dobe, keď cena klasických palív je značne vysoká sa dostáva do popredia problematika využívania alternatívnych zdrojov energie. Jedným z najviac perspektívnym zdrojom je slnečná energia. Solárne systémy využívajúce tepelnú energiu sa uplatňujú hlavne na ohrev vody, vykurovanie .

Existujú rôzne typy slnečných kolektorov, ktoré slúžia na zachytenie slnečnej energie a jej premenu na tepelnú energiu. Líšia sa svojimi vlastnosťami. Solárny systém obsahuje komponenty ako sú zásobníky, obehové čerpadla, riadiacu techniku, izolácie a iné, ktoré majú významný vplyv na celkove parametre systému. Preto je veľmi dôležité zladit' parametre týchto komponentov a ich prevádzkových módov.

Slovensko je v geografickom pásme, ktoré umožňuje efektívne využívať slnečné žiarenie, ako bezplatný zdroj energie na ohrev TUV, alebo ako prídavný zdroj tepla pre ústredné kúrenie. Z celkovej ročnej spotreby teplej vody priemernej rodiny sa dá vyprodukovať 55 – 60 % pomocou slnečného kolektora o rozlohe 3 – 5 m<sup>2</sup> a zásobníka s objemom 150-200 litrov. Týmto sa dá znížiť množstvo škodlivých látok vznikajúcich pri tradičnej výrobe tepelnej energie. Tepelná solárna technológia sa v priebehu posledných 20 rokov neustále vylepšuje a v súčasnosti dosahuje vysokú úroveň vyspelosti. K dispozícii sú vysoko kvalitné výrobky. Zámerom práce je na základe získaných informácií z odborných literatúr z oblasti solárnych systémov navrhnúť a realizovať aplikačný software pre výpočet účinnosti kolektora v závislosti na rôzne vonkajšie parametre prostredia, výpočet skutočného tepelného výkonu na plošnú jednotku za definovaný časový úsek ako aj priebeh ohrevu TUV v zásobníku vzhľadom na rôzne počiatkové stavy. Na základe vyhodnocovanie výsledkov realizovať návrh optimalizácie prietoku média v primárnom okruhu pomocou obehového čerpadla. Táto práca sa snaží zmonitorovaním solárneho systému pre ohrev TUV prispieť k získavaniu informácií z tejto oblasti na úrovni teoretickej ako aj pomocou výsledkov výpočtu vyhotoveného aplikačného softwaru.

Pôvodným impulzom, ktorý ma viedol k napísaniu tejto diplomovej práce, bola práve aktuálnosť problematiky.

# 1 PREHLAD O SÚČASNOM STAVE RIEŠENEJ PROBLEMATIKY

## 1.1 Definície , základné pojmy

### 1.1.1 Slnčná energia

Slnčná energia alebo solárna energia je energia získaná zo Slnka, ktorá na Zem dopadá vo forme žiarenia. Skladá sa z tepelnej a svetelnej energie. Prichádzajú vo forme elektromagnetických vln. Slnčným žiarením je na Zem privádzaná solárna energia  $1,1 \cdot 10^{18} \text{ kWhr}^{-1}$  pričom svetová spotreba energie je približne  $100 \cdot 10^{12} \text{ kWhr}^{-1}$ .

Ovplyvňujúcim faktorom množstva slnečnej energie dopadnutej na jednotku plochy zemského povrchu je aj vplyv atmosféry, kde vplyvom absorpcie a rozptylu dochádza k zníženiu hodnoty dopadajúcej energie. Rozoznávame tri základné druhy slnečného žiarenia :

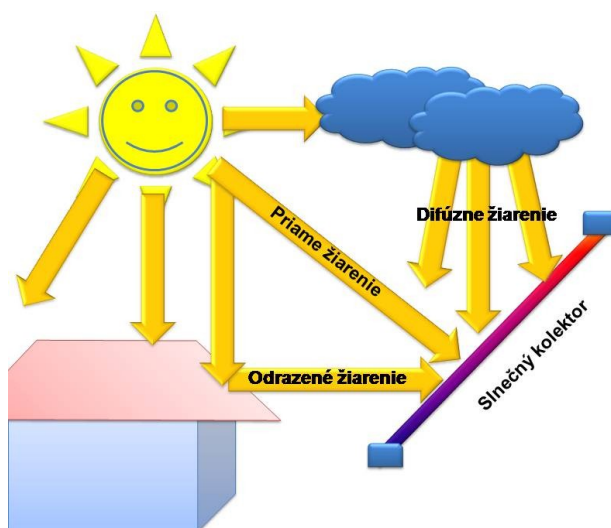
- priame slnečné žiarenie
- rozptýlené (difúzne) slnečné žiarenie
- žiarenie odrazené buď od zemského povrchu alebo iných objektov

Intenzita priameho slnečného žiarenia nad zemskou atmosférou je približne  $1360 \text{ W/m}^2$ .

Z toho atmosférou na zemský povrch prenikne približne  $1000 \text{ W/m}^2$ . Rozptylom priameho žiarenia na oblakoch a nečistotách v atmosfére a odrazom od terénu vzniká difúzne žiarenie.

Súčet priameho a difúzneho žiarenia sa označuje ako žiarenie globálne (Hiaš, 2006).

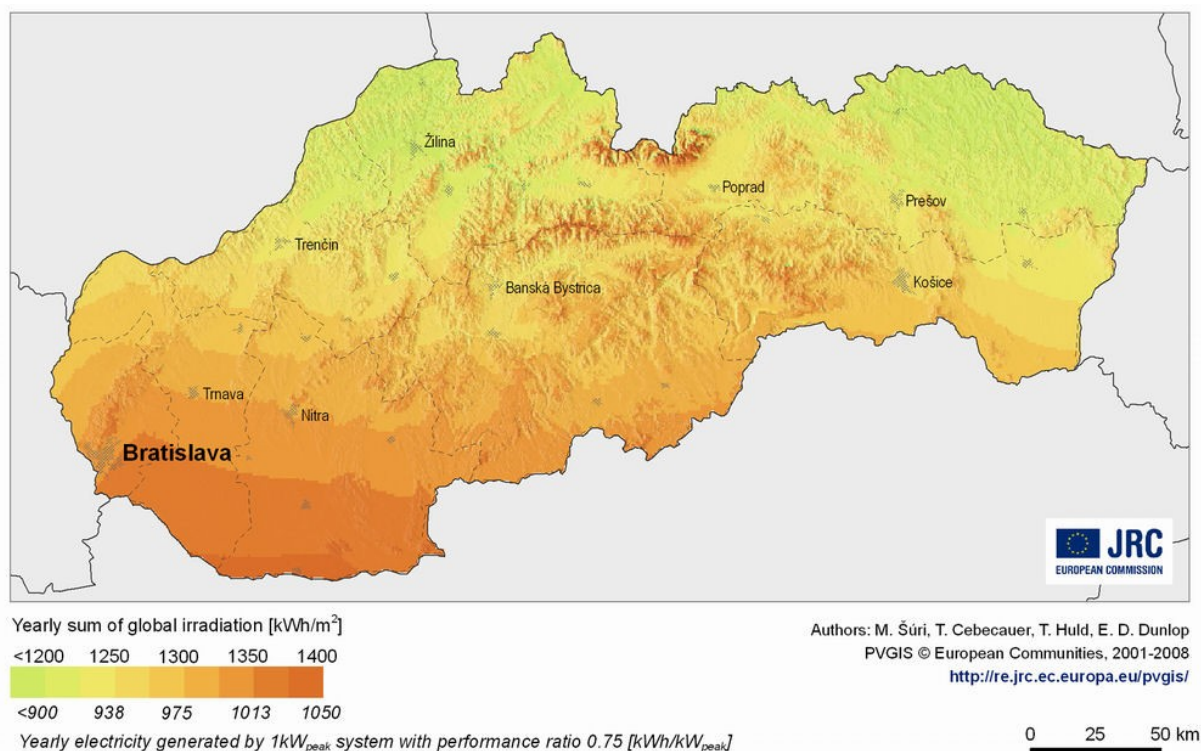
Pomer difúzneho a priameho slnečného žiarenia na Slovensku je **52% difúzne a 48% priame**. Z toho vyplýva, že pri výbere solárneho kolektora je si nutné uvedomiť, že kolektory musia mať vysokú účinnosť aj pri zachytávaní práve difúzneho žiarenia.



Obr.1 Typy slnečného žiarenia.

## Podmienky v našich zemepisných šírkach – geografická poloha:

Slovenská republika sa nachádza medzi 48° a 50° stupňom zemepisnej šírky. Tok slnečného žiarenia na Slovensku dosahuje hodnoty od 940 do 1400 kWh/m<sup>2</sup>/rok podľa obrázku 2. V podmienkach Slovenskej republiky vzhľadom na členitosť je zaujímavá hlavne oblasť na juhozápade a juhu Slovenska.



Obr.2 Ročný úhrn globálneho slnečného žiarenia (kWhm<sup>-2</sup>) na Slovensku.

Zdroj: PVGIS (c) Európske spoločenstva 2001-2008. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Tab.1 Orientačné množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia v závislosti na počasí.

Orientačné množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia v závislosti na počasí				
10 / 10	8 / 10	5 / 10	3 / 10	1 / 10
1000 W/m <sup>2</sup>	800 W/m <sup>2</sup>	500 W/m <sup>2</sup>	250 W/m <sup>2</sup>	100 W/m <sup>2</sup>

## **1.1.2 Solárny systém**

Solárny systém je forma využívania a premeny solárnej energie na tepelnú energiu.

Solárne systémy delíme z hľadiska využívania solárnej energie:

- Pasívne solárne systémy
- Aktívne solárne systémy

### **1.1.2.1 Pasívne solárne systémy**

Spočívajú vo využívaní slnečného žiarenia na vyhrievanie miestnosti. Fungujú na princípe premeny viditeľného - svetelného slnečného žiarenia po jeho dopade na povrchy stien, okien, podláh (absorbér) na dlhovlnné infračervené - tepelné žiarenie (fototermická premena). Základom využitia slnečnej energie, je vhodné umiestnenie a orientácia objektu v teréne.

### **1.1.2.2 Aktívne solárne systémy**

Využívajú technické zariadenia, ktoré zachytávajú, akumulujú a odovzdávajú teplo, získané zo solárnej energie. Slnečné lúče dopadajú na zbernú plochu, sú pohlcované absorpčnou plochou. Táto plocha teplo odovzdáva do zásobníka pomocou teplotnosného média. Odtiaľ sa teplo odoberá priamo na vykurovanie interiérov alebo TUV.

## **1.1.3 Solárne zariadenia**

Princíp solárneho zariadenia je založený na slnečnom lúče slnečnými kolektormi a ich premenou na tepelnú energiu. Najjednoduchšou cestou využitia solárnej energie je fototermálna premena absorpciou slnečného žiarenia na povrchu tuhých resp. kvapalných látok. Ak je z povrchu tepelná energia odvádzaná cielene a pomocou teplotnosného média prenesená do spotrebiča resp. akumulátora tepla hovoríme o solárnych systémoch.

### **Hlavné časti solárneho zariadenia:**

- slnečný kolektor
- tepelný zásobník
- systém pre prenos tepla – solárny okruh

### **1.1.3.1 Slnečný kolektor**

Slnečné kolektory sú zariadenia na premenu slnečnej energie na nízopotenciálové teplo, t.j. na energiu priamo využiteľnú človekom. Najčastejšie je to na ohrev vody a na prikurovanie. Maximálnu účinnosť má kolektor vtedy ak rozdiel teploty absorbera a okolia je rovný nule.

## Absorber/absorpčná plocha

Časť (plocha) solárnej trubice alebo plochého kolektora, ktorá pohlcuje (absorbuje) slnečné svetlo z globálneho žiarenia a premieňa ho na teplo. Úlohou absorbera je odovzdať vytvorené teplo solárnej kvapaline obiehajúcej v solárnom systéme, ktorá následne odovzdá teplo do TUV, do UK, do podlahového kúrenia alebo do bazénovej vody.

### Delenie podľa konštrukcie:

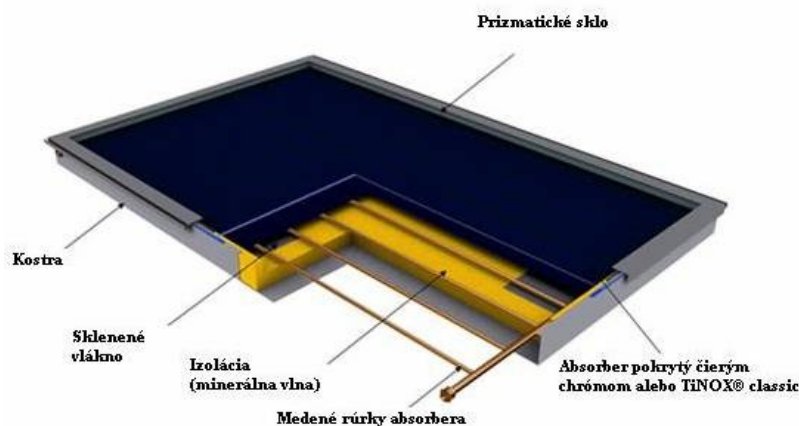
- ploché kolektory s medeným absorberom
- vákuové trubicové kolektory priamoprietočne
- vákuové trubicové kolektory na princípe Heat pipe

#### a. Konštrukcia plochého kolektora

Ploché kolektory sú najčastejšie používanými kolektormi na prípravu teplej vody. Kolektor predstavuje izolovaný box so skleneným alebo iným pokrytím. Na zníženie straty energie strany kolektora sú izolované. Použitý transparentný materiál je dôležitý z hľadiska strát energie. V plochých kolektoroch je solárny absorber opatrený tepelnou izoláciou, najčastejšie čadičovou vlnou, a zakrytý plochým sklom doskou proti tepelným stratám. Z hľadiska formy konštrukcie sa rozlišujú kolektory malé, kompletne predvyrobené (cca 2m<sup>2</sup>), a kolektory veľké (5 až 12m<sup>2</sup>), ktoré sa zasklievajú na streche. Na príprave teplej vody majú ploché kolektory trhovú podiel cca 80%.

### Výhodou plochých kolektorov sú:

- jednoduchá, robustná konštrukcia
- veľmi dobrý pomer ceny a výkonu



Obr.3 Konštrukcia plochého kolektora.

Zdroj: <http://www.envirotherm.sk/solarneKolektory.htm>

### Konštrukcia vákuového trubicového kolektora priamoprietočne

Trubicové vákuové slnečné kolektory sa používajú pre solárne systémy vyšších výkonov.

#### Výhody vákuovaných trubíc:

- dosiahnutie vyšších prevádzkových teplôt
- vyšší energetický zisk pri rovnakej absorpčnej ploche



Obr.4 Konštrukcia vákuového trubicového kolektora priamoprietočne.

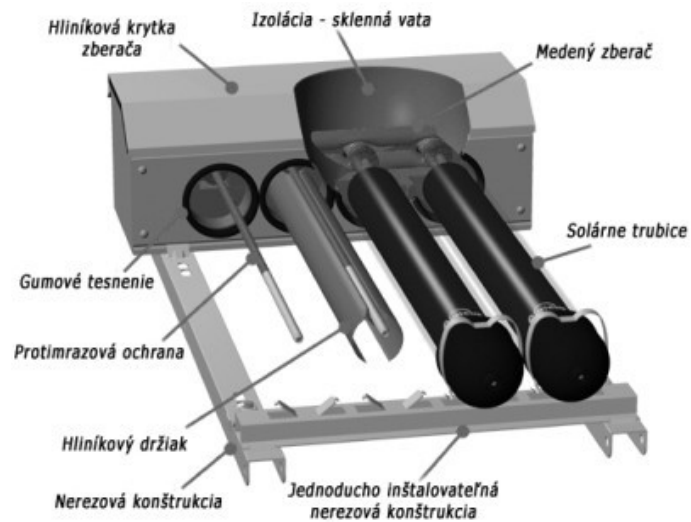
Zdroj: <http://www.envirotherm.sk/solarneKolektory.htm>

#### b. Konštrukcia vákuového trubicového kolektora na princípe Heat pipe

Základom solárneho kolektoru je dvojité sklenené vákuové trubicové kolektory a medená teplonosná trubka "HEAT-PIPE. Kolektor je činný aj pri zamračenom počasí, kedy absorpčná plocha kolektora pohlcuje aj iné formy žiarenia emitované zo slnka a dokáže ho v systéme premeniť na potrebné teplo. Pre zníženie strát konvencií a vedením tepla sa evakuujú sklenené trubice obdobne ako termoskové nádoby. Podľa stupňa vákua v nich potom nenastáva takmer žiadna konvenkčné/tepelné vodivé prostredie. Vďaka tepelnej izolácie vákuom dosahujú kolektorové polia s vákuovými trubicami, nezávisle na teplotnej úrovni prevádzky sústavy, vyššie energetické zisky. Vákuované trubice sú však podstatne drahšie než ploché kolektory, preto sa používajú iba pre malé solárne sústavy alebo pre sústavy podporujúce vykurovanie. Pre veľké sústavy k príprave teplej vody sa dosiaľ používajú iba na plochých strechách ako priamo pretekané trubice, pretože je pre ne potrebná jednoduchá nosná konštrukcia, a tým sa môžu vysoké náklady oproti plochým kolektorom znížiť.

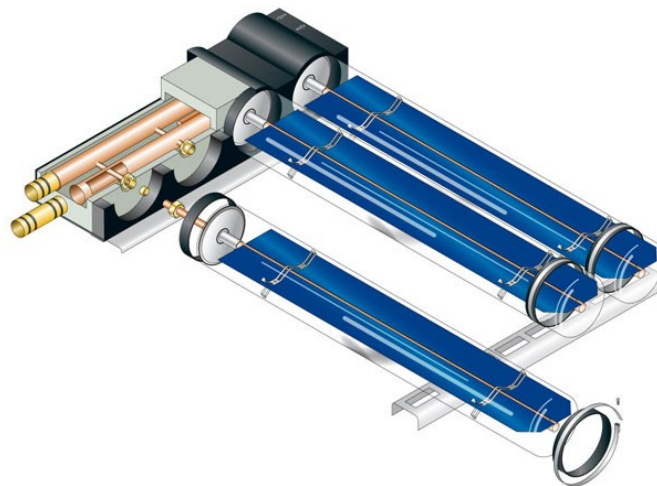
## Vákuované „Sydney trubice“/CPC

Aby sa zamedzilo možným stratám v spojoch skla s kovom, boli vyvinuté tzv. „Sydney trubice“, ako čisto sklenené trubky. Oproti iným vákuovým trubiciam u Sydney trubíc sa nachádza absorbér priamo na vnútornej sklenenej trubici. Tento typ – s relatívne nižšou cenovou úrovňou medzi ostatnými trubícovými vákuovanými kolektormi – môže i cez mierne nižšiu výkonnosť uhájiť na trhu s menšími sústavami dobrú pozíciu.



Obr.5 Konštrukcia vákuového trubícového kolektora na princípe Heat pipe.

Zdroj: <http://www.envirotherm.sk/solarneKolektory.htm>



Obr.6 Konštrukcia vákuového trubícového kolektora - Heat pipe.

Zdroj: <http://www.univenta.cz/produkty/solarni-kolektory>



### 1.1.3.2 Tepelný zásobník

Základnou úlohou tepelného zásobníka je uchovať prebytočne teplo na vstupe do solárneho systému a vykryť potrebu tepla v období, kedy je ho na vstupe do systému nedostatok. Pri zásobníku, je nutne zladiť nasledujúce parametre:

- tepelnú kapacitu
- tepelne straty
- veľkosť
- cenu

### 1.1.3.3 Solárny okruh

Solárny okruh je systém, ktoré zabezpečuje prepojenie najefektívnejší prenos energie medzi solárnym kolektorom a solárnym zásobníkom.

Skladá sa z nasledovných komponentov:

- potrubia a armatúry
- čerpadlo
- tepelný výmenník
- riadenie a regulácia okruhu
- teplonosne médium

#### Armatúry

Armatúry pre solárne systémy sú teplomery, tlakomery, uzavieracie zariadenia, spätné klapky a ventily potrubia. Všetky konštrukčné diely kolektorového okruhu musia vykazovať odolnosť voči teplotám  $>130\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Regulačné ventily vetiev, vybavené ukazovateľom prietoku, musia byť odolné voči teplonosným kvapalinám a teplote vôbec a musia byť prispôsobené merania teplonosnej kvapaliny alebo byť vybavený možnosťou prepočítat' hodnoty.

Ako uzavieracie zariadenie majú byť používané výhradne okrúhle kohútiky, aby sa vylúčili problémy s tesnením.

#### Čerpadlo

Obehové čerpadlo slúži na prekonanie tlakových strát v potrubnej sieti kolektorového okruhu a na transport teplonosnej látky medzi kolektormi a zásobníkom tepla. Na dopravu čistej mäkkej, chemicky neaktívnej teplonosnej látky sa používajú obehové čerpadlá zaradené priamo do potrubia, ktoré s elektromotorom vytvárajú kompaktný prvok

Čerpadlá nasadené do kolektorového okruhu musia byť odolné voči vysokým teplotám. Podiel mrazuvzdorného prostriedku v teplonosnej kvapaline nemá prekročiť v bežných čerpadlách 50%. **(Beranovský, Truxa, 2003).**

### **Teplonosné látky (kvapaliny)**

Pre ochranu sústav sa presadili tzv. teplonosné kvapaliny, ktoré pôsobia súčasne ako ochranná kvapalina proti mrazu. Pre tento účel sú používané prevažne zmesi etylén- a propylenglykol s vodou.

Mrazuvzdorná zmes 40 % glykolu s vodou spoľahlivo zabraňuje poškodeniu sústavy, naviac zostáva sústava až do cca -20 °C pripravená na prevádzku.

Aby bola zaručená bezpečná prevádzka sústavy s teplonosnou kvapalinou, je potrebné dbať na nasledujúce body:

- koncentrácii glykolu cez 50 % je nutné sa vyhnúť, môžu viesť k poškodeniu expanzných nádob a vyžadujú vyšší výkon čerpadiel
- materiály okruhu musia byť preukázateľne odolné voči glykolu
- v solárnom okruhu sa nemá vyskytovať zinok, ktorý je glykolom narušovaný

## **1.2 Solárne systémy z pohľadu rýchlosti prietoku**

### **1.2.1 High-Flow system (HF)**

Optimálne zisky sa dosahujú pri prietokoch 30 až 70 l/hod na m<sup>2</sup> plochy kolektorov. Tým dochádza k zvýšeniu teploty v kolektoroch o 8 až 12 °C pri plnom slnečnom žiarení. Prietok je závislý od nastavenia regulácie ako aj čerpadla. Malé zvýšenie teploty má tú výhodu, že je kolektor prevádzkovaný s dobrou účinnosťou. Aby teplonosné médium dosiahlo vyššie teploty, musí obehnúť systémom viackrát, tzn. že zásobník je vyhrievaný len pomaly, takže dosiahnutie požadovanej teploty trvá dlhšie. Menšie solárne systémy sú dnes prevádzkované prevažne touto technikou.

### **1.2.2 Low-Flow systém (LF)**

Pracujú so značne zníženým prietokom média v solárnom okruhu. Pri zníženom prietoku sa zvýši teplota kolektorov a to až o 50 °C. Aby sa táto výhoda naplno využila, prináleží LF systému zásobník s nabíjaním vo vrstvách. U toho to systému sa používajú trubice s menším priemerom. To vedie k menším tepelným stratám a cenovým úsporám. Rozdiel oproti HF systému je v hydraulike a v radení kolektorov. Zatiaľ čo pri HF systéme sú kolektory radené prevažne paralelné pri LF systémoch sú radené opačne. Vďaka výrazne menšiemu prietoku kvapaliny je pri veľkých kolektorových poliach potrebný menší výkon

čerpadla, ako by tomu bolo pri systéme HF. Aby nedochádzalo k tomu, že kolektor pracuje pri vyšších teplotách s horšou účinnosťou udržujeme teplotu na vstupe do kolektorov tak nízku, ako je to len možné. Veľké zostavy sú dnes takmer bez výnimky dimenzované pre prevádzku v LF systéme. Pri optimálne vyladených komponentoch a najmä dobrom vrstvení tepla v zásobníku, sú oproti HF systéme možné vyššie výnosy až o 20%. Pri LF systéme sa prietok kvapaliny pohybuje v rozmedzí 8-15 l/m<sup>2</sup> hod.

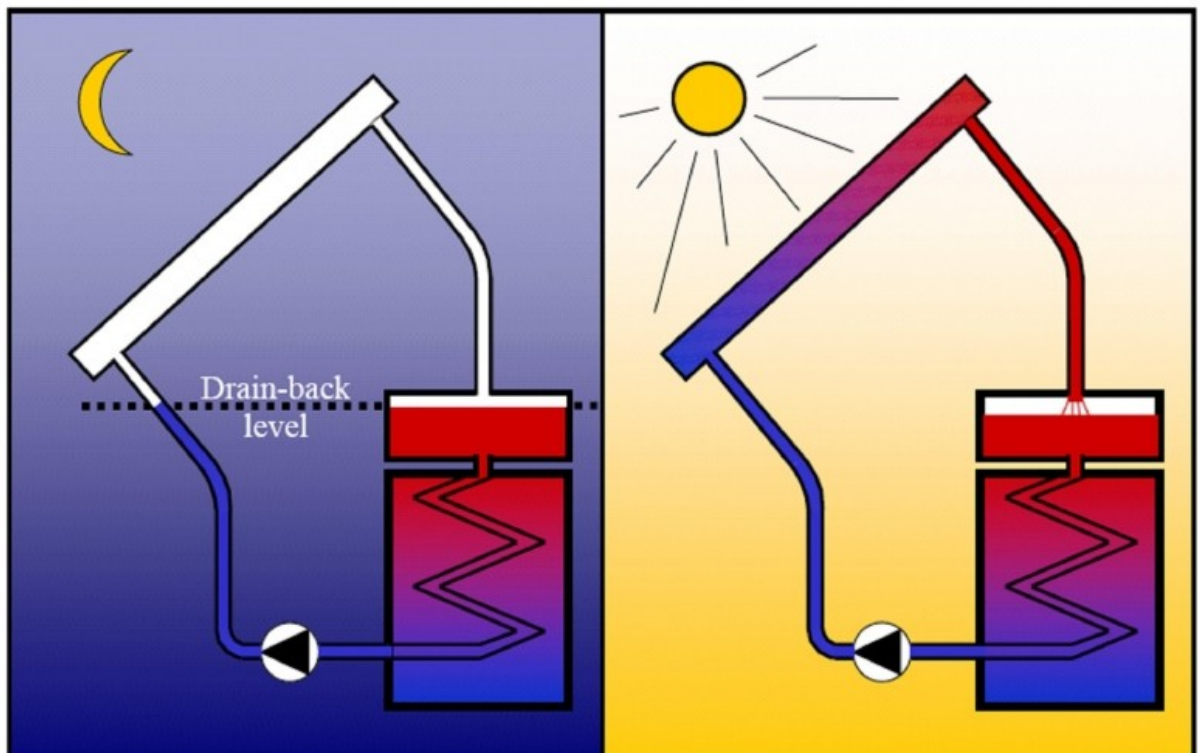
### 1.2.3 Matched-Flow systém (MF)

Spája výhody oboch systémov. S LF technikou docieli dostatočne vysoké teploty a s HF optimalizované výnosy. Špecifický prietok kvapaliny je medzi 10 - 40 l/m<sup>2</sup> hod.

### 1.2.4 Drain-Back systém (DB)

Systém funguje na nasledovnom princípe:

Keď nie je slnečné žiarenie dostatočné, teplotné médium vytečie z kolektorov do úmerne veľkej záchytnej nádrže a kolektory zostanú prázdne. Pri ďalšom nabehtutí čerpadla je kvapalina znova čerpaná do kolektorov. Systém je veľmi bezpečný .



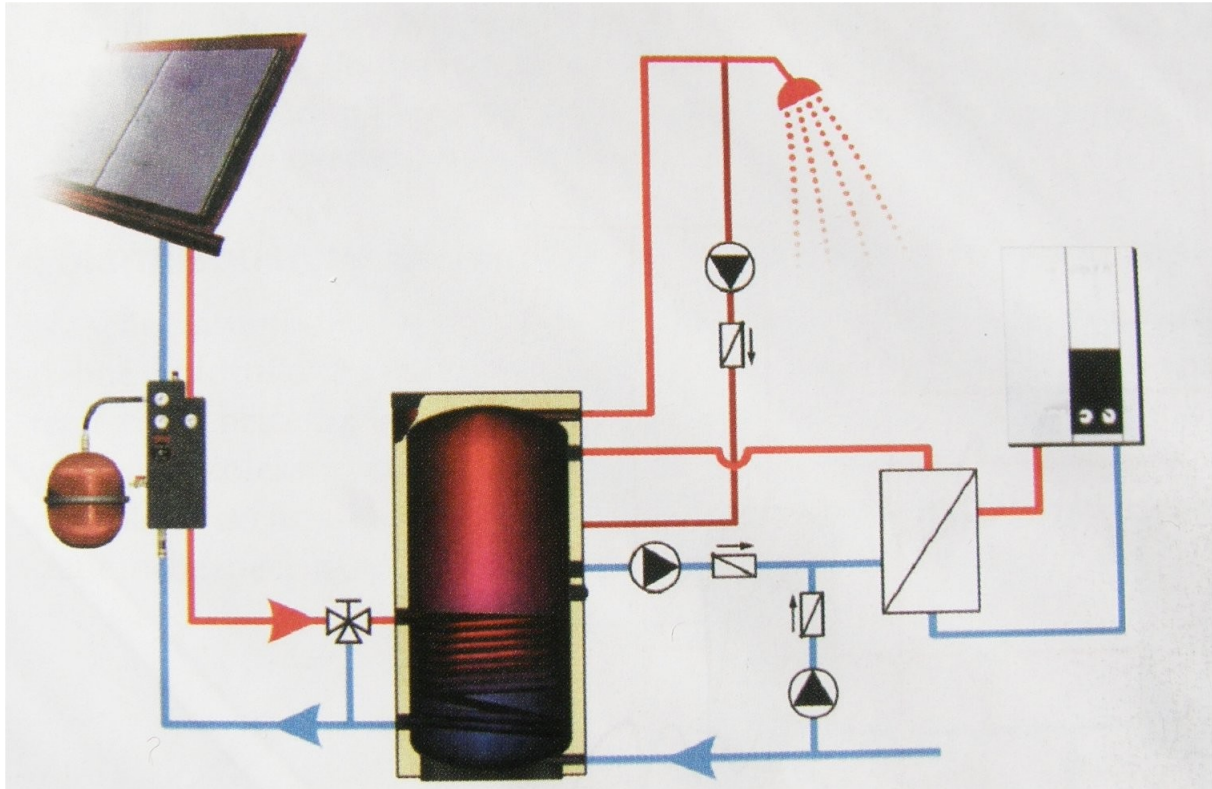
Obr.7 Drain-Back systém.

Zdroj: [http://www.zen-international.com/files/page\\_image/1220433622/drain%20back.jpg](http://www.zen-international.com/files/page_image/1220433622/drain%20back.jpg)

### 1.3 Delenie solárnych sústav:

#### 1.3.1 Sústavy s dvoma okruhmi

Sústavy sú označované ako sústavy so dvoma okruhmi, ktoré majú kolektorový okruh a okruh teplej vody. Zvyčajne je toto označenie volené aj pre malé solárne sústavy konštruované rovnakým spôsobom.



Obr.8 Konštrukcia solárneho systému s dvoma okruhmi.

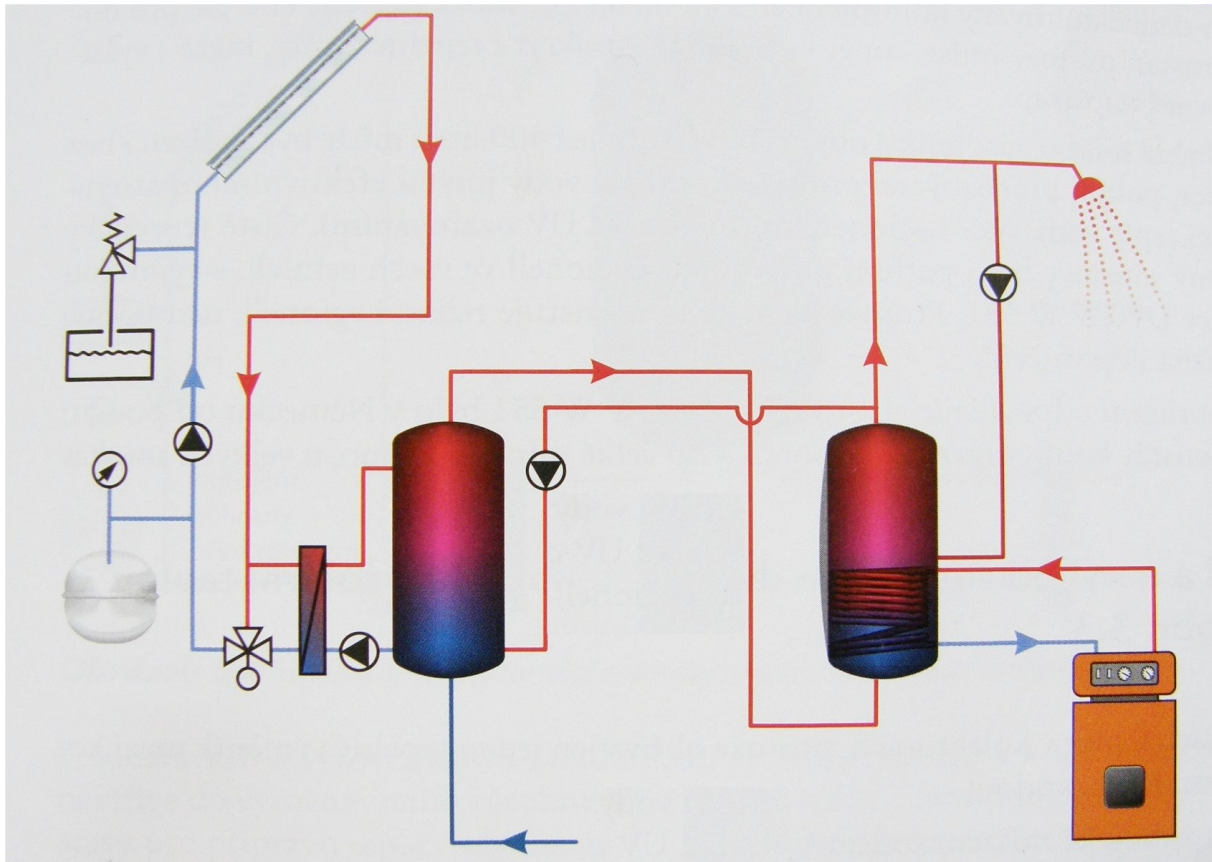
Zdroj: Karl-Heinz Remmers, Velká solární zařízení · Vydavateľstvo: ERA group, 2007

ISBN: 978-80-7366-110-6

#### 1.3.2 Sústavy s jedným zásobníkom teplej vody

Primerane ku skúsenostiam s prevádzkou menších sústav sa doporučuje pre solárne sústavy do 30 m<sup>2</sup> kolektorového poľa zohnať jednoducho konštruovaný a spoľahlivý systém s jedným zásobníkom. Skladba zásobníka má zodpovedať niektorému z „malých“ solárnych zásobníkov. Alternatívne môže byť pre dohrievanie zásobníka použité vnútorné nabíjacie zariadenie. Najprv sa u takejto sústavy ohrievajú kolektory a potrubie kolektorového okruhu, potom, po dosiahnutí teplotnej diferencie prostredníctvom dolného výmenníku, celý zásobník teplej vody. Takzvané bypassové obtokové zapojenie v kolektorovom okruhu pritom

zamedzuje vychladnutiu zásobníka pri rannom nábehu prevádzky sústavy. Pokiaľ teplá voda v hornej časti zásobníka nedosiahne požadovanú nastavenú teplotu, zapne sa dohrievanie.



Obr.9 Konštrukcia solárneho systému so zásobníkom teplej vody.

Zdroj: Karl-Heinz Remmers, Velká solární zařízení · Vydavateľstvo: ERA group, 2007

ISBN: 978-80-7366-110-6

#### Výhody:

- jednoduchá skladba sústavy, známe prvky sústavy
- priaznivá cena

#### Nevýhoda:

- podľa okolností nízke solárne zisky

### 1.3.3 Sústavy s viacerými zásobníkmi teplej vody

Solárna sústava s paralelne/sériovo prepojenými zásobníkmi teplej vody a s vnútornými tepelnými výmenníkmi.

Najskôr sa ohrieva cez obtok kolektorový okruh, bez toho aby teplo prúdilo vnútornými výmenníkmi. Tie sa zapojujú po dosiahnutí minimálnej teplotnej diferencie, takže sa začne vyhrievať zásobník. Aby sa dali využiť aj malé teploty v kolektorovom okruhu, môže sa najskôr nabíjať chladný zásobník a až neskôr ten teplejší. Zásobníky sú s kolektorovým

okruhom spojené zo strany nabíjanej paralelne. Pokiaľ ožiarenie kolektorovej plochy postačuje k dosiahnutiu potrebnej teplotnej diferencie, je prednostne nabíjaný teplejší zásobník. Obidva zásobníkové jednotka sú na strane vybijania zapojené sériovo. Zatiaľ čo paralelné zásobníky môžu behom nabíjania prijímať tú rovnakú teplotu, vznikajú radovým prepojením na vybijacej strane v zásobníkoch rôzne teplotné úrovne. Vytvárajú sa vrstvami teplej vody a dohrievanie smeruje do hornej časti pohotovostného zásobníku.

#### **Výhody vnútorných tepelných výmenníkov:**

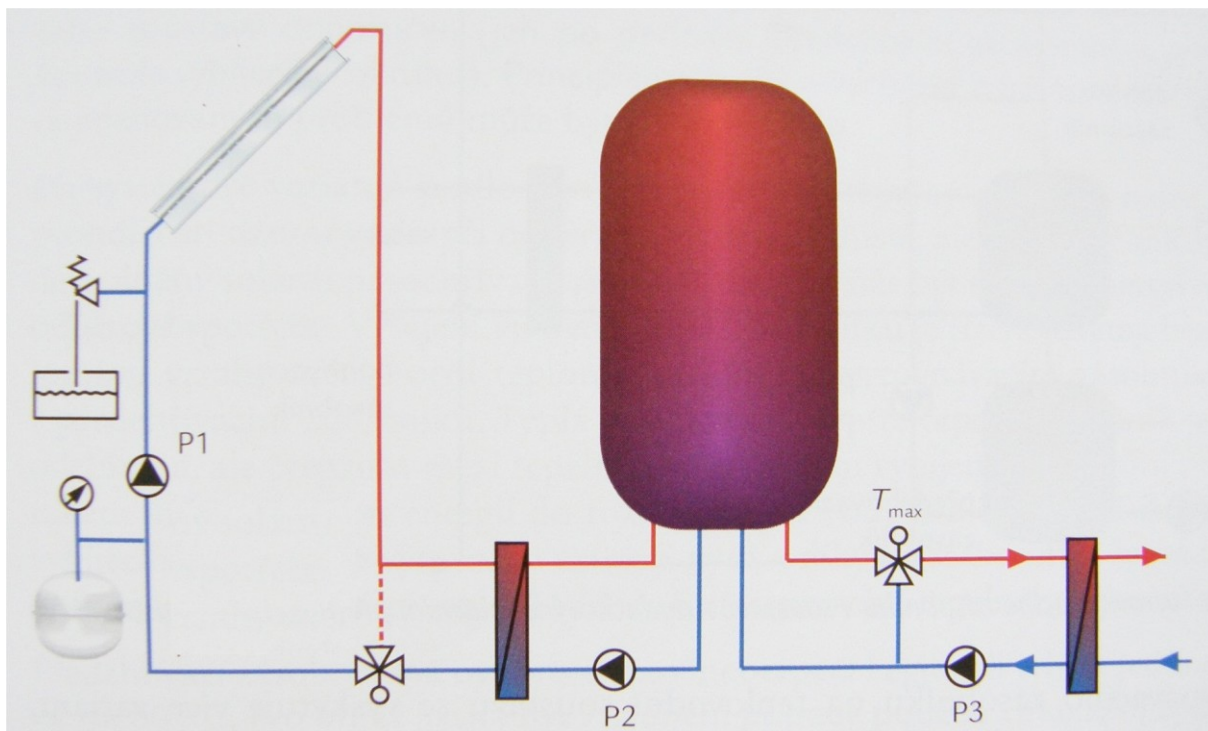
- jednoduchá montáž
- bez odberu teplej vody dochádza v jednotlivých zásobníkoch k premiešaniu

#### **Nevýhody vnútorných tepelných výmenníkov:**

- vysoké náklady - pre každý diel zásobníku je potrebný tepelný výmenník dimenzovaný na celkový výkon kolektorového poľa,

#### **1.3.4 Systavy s vyrovnávacím zásobníkom**

V sústavách s vyrovnávacím zásobníkom sa teplo získané z kolektorového okruhu zavedie najprv do vyrovnávacieho zásobníka a až potom – cez druhý tepelný výmenník – do sústavy pre prípravu teplej vody. Pri dosiahnutí nastaviteľného minimálneho osvetlenia kolektoru alebo využiteľnej teplotnej diferencie medzi kolektorovým poľom a vyrovnávacím zásobníkom štartuje najprv čerpadlo kolektorového okruhu a ohreje kolektorový okruh. Potom nastane na výmenníku kolektorového okruhu využiteľná teplotná diferencia, ktorá zapne čerpadlo vyrovnávacieho zásobníka a ten sa začne nabíjať. Nabíjacie čerpadlo a čerpadlo kolektorového okruhu sa súčasne vypne, keď zadaná nastaviteľná teplotná diferencia medzi vstupom do tepelného výmenníka kolektorového okruhu a dolnou časťou vyrovnávacieho zásobníka klesne pod nastavenú hodnotu. Výrobcom zabudované regulačné zariadenie čerpadla ho chráni pred tzv. taktovaciou prevádzkou (opakujúce sa krátkodobé zapínanie a vypínanie čerpadla).



Obr.10 Konštrukcia solárneho systému s vyrovnávacím zásobníkom teplej vody.

Zdroj: Karl-Heinz Remmers, Velká solární zařízení · Vydavateľstvo: ERA group, 2007

ISBN: 978-80-7366-110-6

#### Výhody všetkých sústav s vyrovnávacími zásobníkmi

- vplyvom nenáročných požiadaviek na tlak a hygienu sú to nízke náklady na vyrovnávací zásobník v porovnaní s obvyklým zásobníkom teplej vody.

#### Nevýhody všetkých sústav s vyrovnávacími zásobníkmi

- dva tepelné výmenníky medzi studenou vodou a kolektormi, tým o niečo vyššie teploty kolektorov a náklady;
- najmenej jedno dodatočné čerpadlo na vybíjacom tepelnom výmenníku, tým o niečo vyššia spotreba pomocnej energie a zvýšené náklady.

## 1.4 Dimenzovanie solárnych systémov

Základná metóda dimenzovania solárneho systému:

- Zhromaždenie požadovaných údajov
- Definícia prevádzkových systémov
- Predbežné dimenzovanie hlavných komponentov
- Optimalizovanie veľkosti solárnych zariadení s využitím odhadnutých výsledkov rôznych variantov

### 1.4.1 Účinnosť kolektorov

#### Celková plocha

Celková plocha kolektora sú vonkajšie rozmery, ktoré slúžia užívateľovi pre stanovenie celkovej plochy na streche. Údaje o účinnosti sa nevzťahujú na celkovú plochu. V praxi to má význam pri porovnávaní cien. Je potrebné preveriť, či sa cenové údaje na m<sup>2</sup> vzťahujú na celkovú plochu, alebo plochu absorbéru. Predovšetkým u kolektorov s vákuovými trubicami sa vyskytujú značné rozdiely.

#### Plocha apertúry

Pojem apertúra môže byť prekladaná ako vstupná plocha, ktorá je u plochých kolektorov tvorená priehľadnou sklenenou plochou (zasklená časť rámu nie je počítaná, pretože tadiaľto neprechádza žiadne žiarenie).

#### Plocha absorbéru

Účinná plocha absorbéru je plocha, na ktorej absorbér premieňa výkon solárneho žiarenia na teplo. Je spravidla menšia než plocha apertúry. U zvlínených absorbérov môže byť plocha absorbérov aj väčšia ako plocha apertúry. Nezávisle na veľkosti absorpčnej plochy sa môže na tepelný výkon absorbérov meniť iba apertúrou prechádzajúci výkon žiarenia zo Slnka. Zväčšovanie absorpčnej plochy kolektoru jej preto výkon nezvýši, pretože tabuľa skla nemôže prechádzať viac svetla, než pripustí plocha aparatúry. Údaje o výkonnosti vzťahenej na plochu apertúry zahrňuje nízke hodnoty pre  $\eta_0$  a nízke hodnoty  $k$  (súčiniteľ prestupu tepla) v zlomkoch vzorca pre výpočet účinnosti. Hodnota  $\eta_0$  je nízka, pretože len časť výkonu Slnka vstupujúceho do absorbéru je na malých plochách premenená na využiteľné teplo. Pretože straty kolektoru prestupom tepla zostávajú nezmenené, javí sa celková strata tepla vzťahená



na väčšiu plochu apertúry ako menšia (nižšia hodnota  $k$ ), vzťahená na malú plochu absorbéra ako väčšia (vyššia hodnota  $k$ ). Údaje pre  $\eta_0$  a hodnoty  $k$  stúpajú a klesajú podľa zmien vzťahovaných plôch primerane veľkostiam plôch.

Účinnosť kolektorov je daná vzťahom:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 \cdot (T_{kol} - T_u)}{E_0} - \frac{k_2 \cdot (T_{kol} - T_u)^2}{E_e}, \text{ kde } \eta_0 = \alpha \cdot \tau \cdot F' \quad (1)$$

### Kolektorové pole

Kolektory sa zapojujú paralelne alebo sériovo do kolektorových vetiev a potom do jedného kolektorového poľa. Rozsah sériových zapojení je pre vnútornú stranu zapojenia kolektorov (pomer tlakových strát medzi pásmi absorbérov a rozdeľovacími rúrami).

Tlaková strata kolektorového poľa ako celku nemá prekročiť hodnoty v tabuľke:

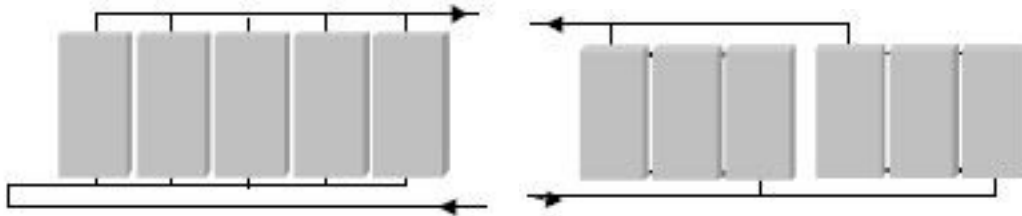
Tab.2 Veľkosť kolektorového poľa a tlakové straty.

Kolektorové pole [m <sup>2</sup> ]	Tlaková strata [kPa]	Tlaková strata [kPa]	Tlaková strata [m v.sl.]
50	30	300	3
200	60	600	6
500	80	800	8
1000	100	1000	10

Väčšie sériové zapojenia sa nedoporučujú vzhľadom k vyšším tlakovým stratám (a z toho vyplýva potreba čerpadla s vyšším výkonom), ako aj rozdelenie prietoku v kolektoroch (vnútorné prepojenie v kolektoroch).

V minulosti bolo vybrané i u veľkých kolektorových polí zapojenie podľa Tichelmanna. Tím sa malo vylúčiť sériové zapojenie, ktoré viedlo príliš často k vyšším teplotám v stredných kolektorových poliach u Low-Flow prietoku, ktorý bol požadovaný z cenových dôvodov. Na obrázku 11 je ukázané, ako je spojené potrubím kolektorové pole za použitia Tichelmannovho princípu. Je možné výrazne rozoznať veľké nároky na dĺžku potrubia, pričom nie je možné plne zaručiť rovnaký prietok. Príčinou je nedostatok pozornosti venovaných jednotlivým

sekundárnym odporom (napríklad letovacím perličkám vo vnútri potrubia, ktoré môžu meniť smer prúdenia v odbočkách, atd.). Predovšetkým u vákuovaných rúr podľa princípu tepelných trubíc s veľmi malými prietokovými odporami v kolektorovom tepelnom výmenníku sa nepodarí bez dodatočných vyrovnávacích opatrení rovnomerné prúdenie zaistiť.



Obr.11 Zapojenie kolektorov Tichelmannovho princípu.

#### 1.4.2 Nevyhnutné výkony a energie pre prípravu teplej vody

Sústava pre prípravu teplej vody potrebuje nasledujúcu energiu:

$$Q_{\text{celk}} = \text{ohrev vody} + \text{straty zásobníka} + \text{cirkulačné straty}$$

Energia potrebná k príprave teplej vody môže byť vypočítaná podľa vzorca:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T = V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta T \quad (2)$$

#### Úroveň teplôt

V mnohých prípadoch je ohrievaná studená voda 10° C na teplotu 45° C alebo 60° C. táto teplota je pri výtoku z ohrievača upravovaná studenou vodou na požadovanú výslednú teplotu. Pri rozdielnych úrovniach teploty v rôznych oblastiach použitia je pre ohrev 1 litra vody z 10° C podľa vyššie uvedenej rovnice potrebných:

$$25^\circ \text{ C} : 62,7 \text{ kJ} = 0,01742 \text{ kWh}$$

$$45^\circ \text{ C} : 146,3 \text{ kJ} = 0,04064 \text{ kWh}$$

$$60^\circ \text{ C} : 209,0 \text{ kJ} = 0,05806 \text{ kWh}$$

### 1.4.2.1 Tepelné straty tepelného zásobníka

Pre stanovenie strát zásobníka výrobcovia udávajú údaje o špecifických dátach výrobku podľa **DIN 4753 T8**. Vedľa vlastností tepelnej izolácie je venovaná pozornosť spôsobu napojenia prípojok, stratifikácií v zásobníku a polohe zásobníka (stojací, ležiaci).

Základný vzťah pre tepelné straty zásobníku má nasledovný tvar:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \cdot t \quad (3)$$

### 1.4.2.2 Cirkulačné potrubie – straty

Aby bola teplá voda rýchlo k dispozícii aj na výtokových potrubíach siete teplej vody, je zvykom vedenie najčastejšie doplniť o cirkulačné potrubie, v ktorom voda po dlhší čas cirkuluje.

Cirkuláciou teplej vody v týchto systémoch vznikajú tepelné straty, ktoré musia byť nahradzované konvenčným ohrievaním, prípadne solárnou sústavou. Rozvodné potrubie musí byť izolované. Požadované hrúbky izolácie sú k dispozícii v tabuľke 3.

Tab.3 Požadované hrúbky izolácie.

Menovité Dn potrubie	Min. hrúbka izolácie ( $\lambda = 0,035 \text{ W/(m.K)}$ )
Do DN 20	20 mm
DN 22 –DN 35	30 mm
DN 40 –DN 100	= DN v mm
>DN 100	100 mm

Keď bude použitá izolácia s tepelnou vodivosťou  $\lambda = 0,05 \text{ W/(m.K)}$ , alebo dosiahnuté izolovanie v strede tejto hodnoty (bezšpárovým prevedením izolačnej hmoty s malou tepelnou vodivosťou), môže byť tepelná strata vypočítaná prostredníctvom nasledujúcich vzorcov. Násobením doby prevádzky čerpadla bude vypočítaná energia potrebná pre krytie vznikajúcich tepelných strát:

Stratový výkon:

$$Q' = q'^{**} \cdot L \cdot \Delta T \quad (4)$$

Energia potrebná na deň:

$$Q' = q'^{**} \cdot L \cdot \Delta T \cdot b \quad (5)$$

Pri prevádzke tohto cirkulačného čerpadla sa spotrebuje pre nahradenie tepelných strát v prepočte ekvivalentom ročne viac než 200 litrov vykurovacieho oleja.

Na nájomných budovách izolácia nie je vždy namontovaná správne, čím sa straty výrazne zvyšujú.

Straty neizolovaných potrubí môžu byť vypočítané nasledovným spôsobom:

Stratový výkon:

$$Q' = q'^* \cdot L \quad (6)$$

$$\text{Potrebná energia za deň } Q' = q'^* \cdot L \cdot b \quad (7)$$

Pre približný výpočet **cirkulačných strát** sa často násobí hodnota **10 W/m** cirkulačného potrubia dobou chodu cirkulačného čerpadla.

### 1.4.3 Zisk solárnej sústavy

Formulácia „... energia privádzaná do pohotovostného zásobníka zo solárnej sústavy“ je možné pochopiť ako solárny zisk.

Potom platí:

**energia privádzaná do pohotovostného zásobníka zo solárnej sústavy**

**Solárne krytie =** \_\_\_\_\_

**súčet ostatných energií privádzaných do pohotovostného zásobníka**

U solárnych sústav v dvojkruhovom princípe s priamym nabíjaním zásobníka teplou vodou môže byť tento zisk zistený meraním množstva tepla dodaného z kolektorového okruhu, pričom u zmesi glykol/voda nie je zatiaľ – vzhľadom k ich teplotným vlastnostiam – žiadne ciachované meranie možné.

## 1.5 Riadenie a dimenzovanie čerpadiel

Veľkosti čerpadiel vyplývajú z celkových tlakových strát jednotlivých komponentov. Pre kolektorové pole so 100m<sup>2</sup> kolektorovej plochy v prevedení Low-Flow s prietokom 15l/(m<sup>2</sup> . h) a celkovým prietokom 1 500l/h je potrebné zvoliť čerpadlo, celková tlaková strata v kolektorovom okruhu činí 30 kPa (300 mbar, resp. 3 m v. sl.). Z charakteristiky čerpadla v príklade vyčítame pod využitím čerpadla stupeň I (najvyššia účinnosť čerpadla) a potrebný elektrický príkon.

Tab.4 Údaje o zmesiach vody s glykolom.

Protimrazový prostriedok [%]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Viskozita [mm <sup>2</sup> /s]	Merné teplo [kJ/(kg.K)]	Tlak pary [bar]
35 % Tyfocoru	1,034	3,8	3,75	0,02
40 % Tyfocoru	1,038	4,1	3,68	0,02
45 % Tyfocoru	1,042	5,2	3,6	0,02

Pre dimenzovanie čerpadla je potrebné brať v úvahu viskozitu teplotnej kvapaliny, výrazne sa líšiacej od vody, a porovnávať jej vplyv s údajmi výrobcu. Vypočítané tlakové straty budú ovplyvnené zmenou trasy potrubia a množstvo kvapiek kovu pri zváraní a spájkovaní v potrubí často prekročené. Tiež v údajoch o tlakových stratách kolektorov sa vyskytnú nepresnosti vplyvom spojovaného potrubia. Na realizovaných sústavách sa nameria oproti presným výpočtom o 20% vyššie tlakové straty. To je pri dimenzovaní čerpadiel nutné brať na vedomie.

### 1.5.1 Regulácia podľa rozdielu teplôt

Čerpadlo kolektorového okruhu sa zapína, ako náhle teplotný rozdiel medzi kolektorom a dolnou časťou zásobníku prekročí stanovenú hodnotu. Vypína sa, akonáhle teplotný rozdiel poklesne pod stanovenú hodnotu. Spravidla je nastaviteľný ešte minimálny čas dobiehania chodu čerpadla po impluzoch k vypnutiu. Typické hodnoty spínania sú:

- teplotný rozdiel pre spínanie cca 6 – 10 K;
- teplotný rozdiel pre vypínanie cca 3 – 4 K;
- minimálny čas chodu čerpadla cca 3 – 5 min.

Pokiaľ nie je k dispozícii ventilom riadený obtok, tak potom začína prenos tepla z kolektorového okruhu do zásobníka zapnutím čerpadla tohto okruhu. Kolektorový okruh a riadenie predávania tepla sú identické.

Na dlhých trasách potrubia medzi kolektorovým okruhom a zásobníkom a predovšetkým vtedy, keď je veľká časť potrubia mimo budovy (alebo v nevykúrených priestoroch), môže pri tejto jednoduchšej regulácii dochádzať k tomu, že dlhším prúdením studenej vody sa automaticky vypne. To platí vtedy, keď na čerpadle kolektorového okruhu nie je nastavená dostatočne dlhá doba pre dobiehanie chodu čerpadla ani po dosiahnutí nastaveného teplotného rozdielu. Pri krátkej dobe prevádzky môže byť ale energia celého zásobníka predaná do ešte studeného kolektorového okruhu, kde po vypnutí chodu dôjde k stratám v potrubí. Tento dej sa môže niekoľkonásobne opakovať, kým začne celá sústava stabilne pracovať. S uvedeným časom dobiehania čerpadla by sa zamedzilo efektu taktovania čerpadla, pretože v popísanom prípade teplotný skok v kolektore s najväčšou pravdepodobnosťou (iba) postačuje k zvýšeniu teploty zásobníka, nie však (chladnejšie) spiatočky v potrubí.

Dôležitý prostriedok ako zabrániť taktovanie čerpadla kolektorového okruhu predstavuje na obtok (bypass). Ten je aktivovaný teplotným rozdielom medzi vstupom do kolektorového okruhu, krátko pred tepelným výmenníkom teplotou dolnej časti tepelného zásobníka prostredníctvom ventilu. Ventil otvára cestu až vtedy, keď teplotný rozdiel stanovenú hodnotu prekročí. Táto hodnota leží účelne pod spínacím teplotným rozdielom pre kolektorový okruh (asi o 1 K). Ventil opäť otvára obtok, ako náhle rozdiel teplôt je nepatrne menší. Do kolektoru montované teplotné čidlo môže merať priemernú teplotu, platnú pre celé kolektorové pole, keď sú všetky kolektory pretekané rovnako. Ak je čidlo položené, ktorým prechádza menší alebo väčší objem kvapaliny, tak potom senzor dáva signály, ktoré vedú k príliš neskorému, alebo príliš skorému ovládaniu čerpadla.

### **1.5.2 Regulácia podľa žiarenia a rozdielu teplôt**

Pri ovládaní čerpadla kolektorového okruhu prostredníctvom žiarenia je montované do kolektoru miesto čidla teploty čidlo reagujúce na žiarenie dopadajúce na kolektorové pole. Ak žiarenie presiahne určitú hranicu zapne sa čerpadlo (napr. 150 – 200 W/m<sup>2</sup>).

Ak je pevne nastavený prah žiarenia nezohľadňuje stav teploty v dolnej časti zásobníka, môže dôjsť pri vysokej teplote ku skorému vypnutiu. VT preto musí byť pri tejto regulácii nevyhnutne obchádzaný obtokom (bypassom) tak dlho pokiaľ nebude diferencia dostatočne vysoká. Ak nebude prepojený obtok v smere tepelného výmenníka, tak sa čerpadlo kolektorového okruhu zapne už pri nedosiahnutých minimách žiarenia a po dosiahnutí tohto

minima sa zas vypne. Ak bude ale obtok uzavretý a teplo z kolektorového okruhu sa potom odvedie do tepelného výmenníka, bude signál čidla žiarenia zablokovaný. Odpojenie čerpadla kolektorového okruhu nasleduje teraz podľa teplotného rozdielu. Typické hodnoty odpojenia sú 2 až 3 K. Deaktivácia signálu vypínania z čidla žiarenia nedovolí, aby solárna sústava pri prechode hustého mraku alebo za neskorého popoludnia vypínala veľmi skoro, aj keď je v kolektorovom poli z hľadiska tepelnej kapacity nazhromaždených ešte mnoho užitočnej energie.

Regulácia s pevnými hodnotami prahov žiarení nie optimálne vhodná u sústav s vyššími a predovšetkým silne kolísavými teplotami dolných častí zásobníku. Pevná prahová hodnota, zladená s najnižšou možnou dolnou teplotou v zásobníku, môže viesť u vyšších teplôt v zásobníku k neužitočným dlhým dobám chodu čerpadla. Pre takéto sústavy sú regulácie závislé na žiarení, ktoré volí automaticky prah závislosti na teplote spodnej časti zásobníka, lepším riešením. Túto okolnosť zohľadňujú regulátory s tzv. Charakteristikami obtoku, ktoré sa učia samy. Pre sústavy určené výlučne pre prípravu teplej vody v budovách s pravidelnou dennou spotrebou stačí regulácia s pevne nastavenými prahovými hodnotami. Ako čidlá žiarenia sú vhodné fotovoltaiické články. Ich odchýlky môžu byť maximálne +/- 10 %. Dôležité je, že ich riadiaci ovládač môže byť digitálne nastavený podľa potreby. Nevhodné sú obľúbené fotodiódy. Pri predpokladaných závadách regulácie má byť prekontrolované najskôr čidlo žiarenia. U tohto druhu nabíjania môže odpadnúť teplotné čidlo v kolektore. Napokon má byť k dispozícii vzhľadom na kritickú situáciu v kľudovom stave.

### **1.5.3 Regulácia nabíjania vonkajším tepelným výmenníkom**

Pre použitie vonkajšieho tepelného výmenníka sa v podstate vždy vyskytuje kolektorový okruh a ovládanie predávania tepla. V protiklade k sústavám s vnútorným tepelným výmenníkom je navyše k riadenému čerpadlu potrebné nabíjacie čerpadlo. Čerpadlo nabíjania zásobníka bude zapnuté vtedy, keď teplotný rozdiel medzi vstupom do výmenníka tepla a do dolnej časti zásobníka dostatočne porastie (napr. 5 – 7 K). Obtok (bypass) nemá funkciu pripraviť kolektorový okruh na ustálené teploty skôr, ako bude zapnuté predávanie tepla. Obtok má za úlohu chrániť sekundárnu stranu pred zamrznutím. Teplota teplotonosnej kvapaliny môže po veľmi studenej zimnej noci klesnúť na  $-20^{\circ}\text{C}$ , cez deň zasvieti slnko na kolektory, tie sa ohrejú, avšak teplotonosná teplota sa neohrej. Ak sa teraz zapne kolektorový okruh, bude do tepelného výmenníka posunutý prúd veľmi studenej vody. Pri krátkych tratiach sa prúd môže ohriať. Ak sa táto studená voda dostane do tepelného výmenníka na sekundárnej strane môže voda okamžite zamrznúť a následkom čoho popraská

potrubie. Z tohto dôvodu otvorí ventil obtok pri výmenníku, keď je hodnota menšia než napr. 4° C a zavrie ho až vtedy ak teploty trocha vystúpi na prijateľnú hodnotu. Ide tu o ochranu pre zamrznutím tepelného výmenníka na strane zásobníka.

#### 1.5.4 Regulácia nabíjania pri dosiahnutí vysokých teplôt alebo cieľovej teploty

Vo všetkých hore spomenutých reguláciách je možnosť ovplyvňovať teplotu hornej časti zásobníka. U sústav s vonkajším nabíjacím tepelným výmenníkom musí byť čerpadlo kolektorového okruhu a nabíjacie čerpadlo zladené na rovnaký počet otáčok.

Pokiaľ chceme dosiahnuť čo najnižšiu teplotu, tak potom kolektorovým okruhom spočiatku prechádza malý prietok tak dlho, kým nie je dosiahnutá daná teplota. Potom sa prietok zvyšuje až táto teplota zostáva nezmenená, prinajmenšom neklesá. Tento koncept je výhodný predovšetkým pre sústavy, u ktorých najnižšie využiteľné teplo leží relatívne vysoko a upustí sa od konvenčného ohrievania. Musia sa však použiť vhodné zásobníky s vyladenou reguláciou dohrievania.

Pre kontrolu sústavy sa do kolektorového okruhu osadzuje merač tepla. Tieto merače dokladujú množstvo tepla vnášaného do zásobníka.

Množstvo tepla zodpovedá vzorcu:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \cdot t = v \cdot p \cdot \Delta T \cdot t \quad (8)$$

Hustota  $p$  a tepelná kapacita  $c$  sú vlastnosti kvapaliny závislej na teplote.  $\Delta T$  sa meria v kolektorovom okruhu bezprostredne pred vstupom do tepelného výmenníka.  $v$  je objemový prietok kolektorového okruhu. Cez pevné nastavenie výkonu čerpadiel v prevádzke sústavy môže prietok vplyvom zmien viskozity a nestabilných hydraulických pomerov kolísať až o 30 %. Pevné nastavenie na regulačnom ventilu vetvy potrubia je nevhodné.

K dispozícii nasledujúce postupy:

- meranie objemu turbínovým počítadlom pre veľké množstvo vody a vrtuľovým prietokomerom pre malé množstvo vody. U týchto výrobkov privádza prúdenie vody do rotácie turbínu alebo vrtuľku, impulz sa riadi elektronicky;
- meranie magneticko-induktívnym spôsobom, pre ktorom sa vytvára magnetické pole, ktorého zmeny sú ovplyvňované na merateľné signály;
- meranie ultrazvukom



Najčastejšie sa využíva meranie tepla prietokomerom, ktorý musí byť odolný teplotám do 120° C. Kompletný merač tepla sa skladá z prietokomeru, teplotných čidiel pre prívod, spiatočky a elektroniky, ktoré určujú množstvo tepla. Solárny zisk pri tejto metóde sa dá iba zhruba odhadnúť.

Výkonnosť sústavy závisí na nasledujúcich faktoroch:

- veľkosť sústavy v pomere ku spotrebe vody
- konštrukcia kolektorov, sklon a orientácia strechy
- aktuálne poveternostné podmienky
- správny výber, harmonizácia a funkčnosť jednotlivých prvkov solárnej sústavy

Každý z týchto faktorov sa môže prejaviť na celkovom výkone sústavy a eventuálne negatívne ovplyvniť i veľmi dobre pracujúcu sústavu. Merný zisk sústavy môže napríklad pri klesajúcej spotrebe teplej vody vplyvom zvýšenia pokrytia klesať, bez toho aby chyba nastala v sústave.

## 2 CIEĽ PRÁCE

Cieľom práce je využiť odborné literatúry navrhnuť a vyhotoviť aplikačný program pre simuláciu solárneho okruhu a zhodnotiť poznatky z oblasti solárneho ohrevu TUV. Modelovanie stavov a kontrola modelových výsledkov pomocou aplikačného softwaru na základe existujúcich poznatkov technologickom procese ohrevu teplej úžitkovej vody. V rámci riešeného aplikačného programu realizovať výpočty a vyhodnocovať:

- účinnosť kolektora v závislosti na rôzne vonkajšie parametre prostredia
- skutočný tepelný výkon na plošnú jednotku za definovaný časový úsek
- priebehu ohrevu TUV v zásobníku vzhľadom na rôzne počiatkové stavy
- optimalizáciu prietoku média v primárnom okruhu pomocou obehového čerpadla

Práca bude zameraná na monitorovanie solárneho okruhu so zabudovaným obehovým čerpadlom na ohrev teplej úžitkovej vody. V solárnom okruhu so zabudovaným obehovým čerpadlom bude vyhodnocované účinnosť kolektora vzhľadom na rôzne počiatkové hodnoty. V ďalšej časti aplikačného programu vypočítame skutočný tepelný výkon na plošnú jednotku v časových intervaloch v závislosti na rôzne počiatkové hodnoty vstupných parametrov systému. Ďalšia časť aplikačného softwaru sa zaoberá problematikou priebehu ohrevu TUV v zásobníku ako aj optimalizáciou prietoku média v primárnom okruhu. Výsledky budú v každej časti aplikačného modulu graficky znázornené.

### 3 METODIKA PRÁCE

Primárnym cieľom pri zostavovaní práce je vytvorenie aplikačného programu pre simuláciu prietoku média solárneho systému na základe zhromažďovaných informácií o v súčasnosti existujúcich solárnych systémoch vyhovujúcich pre ohrev TUV.

V praktickej časti vyberieme malý solárny systém pre ohrev TUV, ktorý sa najčastejšie využíva v malých poľnohospodárskych prevádzkach a domácnostiach. Bude vyhotovený aplikačný program pre vyhodnocovanie účinnosti kolektora v závislosti na rôznych vonkajších parametroch prostredia a okruhu, pre výpočty teploty TUV v zásobníku vzhľadom na rôzne počiatočné stavy ako aj pre vyhodnocovanie optimalizácie prietoku média v primárnom okruhu pomocou obehového čerpadla v časových intervaloch. V procese tvorby práce budú informácie čerpané z dostupných knižných a Internetových zdrojov informácií ako aj vlastných poznatkov, vedomostí a skúseností, ktoré som nadobudol počas vysokoškolského štúdia v Nitre.

Pre vyhotovenie aplikačného softwaru pre simuláciu solárneho okruhu využijem vývojové prostredie PowerBuilder, čo je spoľahlivým a overeným nástrojom pre tvorbu stredne veľkých aplikácií. Vizualný vývojový nástroj umožňuje rýchly vývoj aplikácií a značne uľahčuje návrh obrazoviek, objektov, dátových okien, zostavy ako aj grafy. Prostredie podporuje vývoj databázových aplikácií ako aj rôzne objektové modely.

Očakávaným primárnym výsledkom práce je vyhotovenie aplikačného softwaru pre simuláciu solárneho okruhu. Ďalším výstupom pre prax by mali byť aj odporúčania pre riadenie primárneho okruhu solárnych systémov čerpadla ako súčasti solárnych systémov pre ohrev TUV z dôvodu zvýšenia efektívnosti transféru energie zo Slniečného žiarenia do výmenníka.

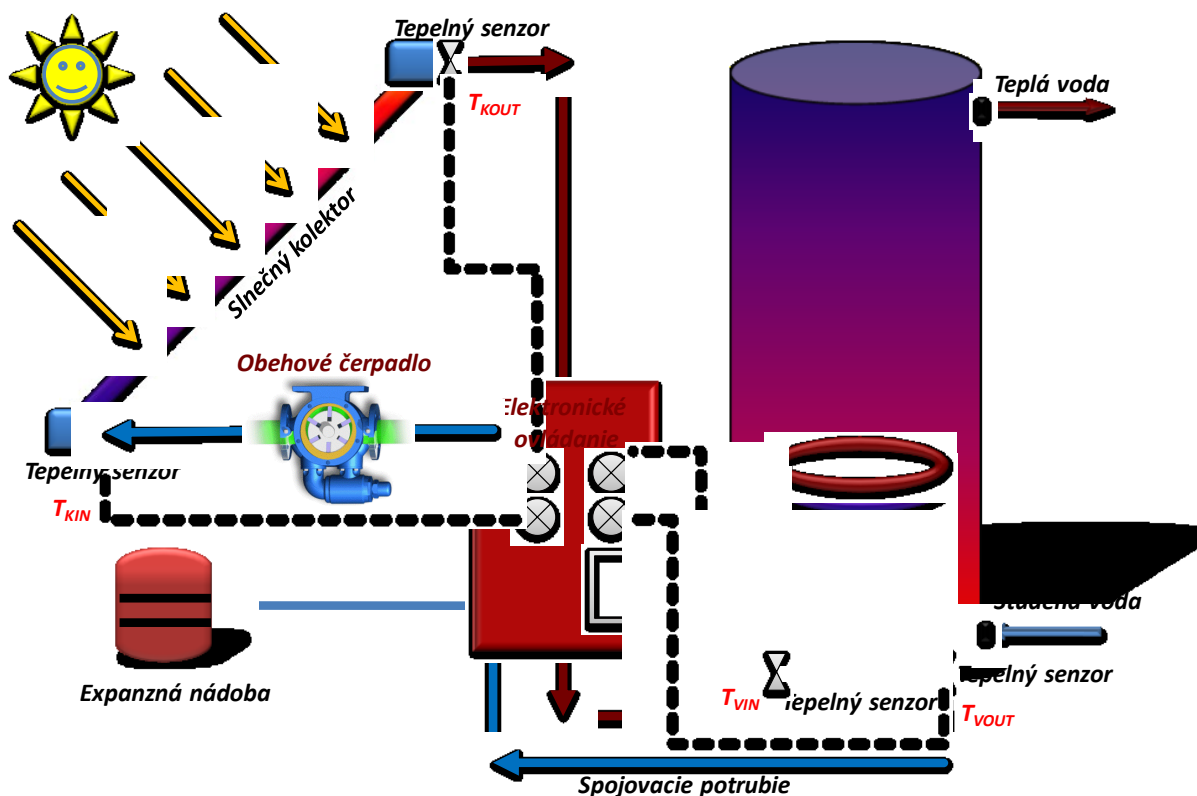
## 4 VLASTNÁ PRÁCA

### 4.1 Návrh aplikačného programu pre simuláciu prietoku média solárneho okruhu

Ak má byť navrhovaný solárny systém ekonomicky efektívny je nutné v maximálnej možnej miere optimalizovať prevádzkové parametre všetkých jeho častí a navrhnuť monitorovací a najmä riadiaci systém s čo najväčšou pružnosťou riadenia.

Vo vlastnej práci na základe existujúcich poznatkov v technologickom procese ohrevu teplej úžitkovej vody sme sa zamerali na návrh aplikačného programu pre vyhodnocovanie:

- účinnosti kolektora v závislosti na rôzne vonkajšie parametre prostredia
- skutočného tepelného výkonu na plošnú jednotku za definovaný časový úsek
- priebehu ohrevu TUV v zásobníku vzhľadom na rôzne počiatkové stavy
- návrhu optimalizácie prietoku média v primárnom okruhu pomocou obehového čerpadla



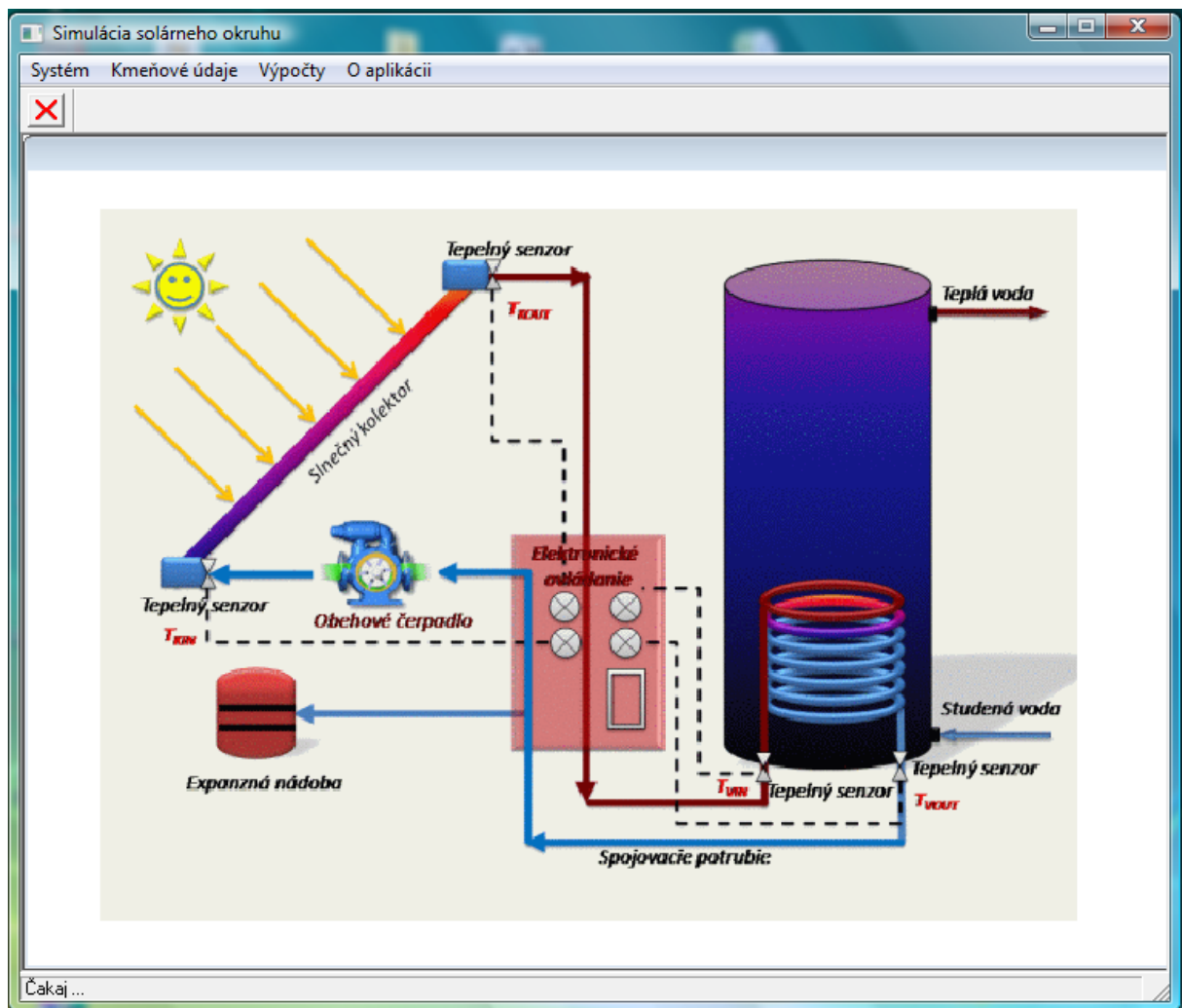
Obr.12 Schéma solárneho systému na ohrev TUV.

#### 4.1.1 Popis realizácie programu

Pre vyhotovenie aplikačného softwaru pre simuláciu solárneho okruhu som využil vývojové prostredie PowerBuilder, čo je spoľahlivým a overeným nástrojom pre tvorbu stredných aplikácií. Vizuálny vývojový nástroj umožňuje rýchly vývoj aplikácií a značne uľahčuje návrh obrazoviek, objektov, dátových okien, zostavy ako aj grafy. Prostredie podporuje vývoj databázových aplikácií ako aj rôzne objektové modely.

Program “**SimSO – Simulácia solárneho okruhu**” má nasledovné funkcie v menu:

- **Systém** - systémové nastavenia
- **Kmeňové údaje** – východzie nastavenie kmeňových dát uložených v databáze
- **Výpočty** – rôzne výpočty a grafické znázornenia
- **O aplikácii** – informácia o programe



Obr.13 Základná obrazovka aplikačného softwaru SimSo.

## I. Systém

- **Tlač – Setup...**

Výberom možnosti „Tlač – Setup ...“ z popup menu Systém sa zobrazí systémový dialóg na prednastavenie tlačiarne.

- **Koniec Ctrl + F4**

Výberom možnosti „Koniec“ z popup menu Systém sa zobrazí upozornenie na ukončenie práce s programom SimSO. Potvrdením tlačidla Áno sa aplikácia uzavrie. Aplikáciu možno ukončiť aj stlačením takzvaného horúceho kľúča (hot key) Ctrl a F4.

## II. Kmeňové údaje:

### 1. Slnčné kolektory

Výberom možnosti „Slnčné kolektory“ z popup menu „Kmeňové údaje“ sa zobrazí dialóg „Evidencia slnečných kolektorov“, ktorá umožňuje prezeranie, pridanie, aktualizáciu a odstránenie slnečných kolektorov, ktoré sú uchovávané v databáze.

#### Polia dialógu:

- **Typ slnečného kolektora** - Pri otvorení dialógu sa v textovom poli zobrazuje text „ – Vyberte typ slnečného kolektora“. Po kliknutí na šípku dole sa rozbalí listbox s možnými slnečnými kolektormi evidovaných v databáze. Po vybratí kolektora sa nastaví ďalšie atribúty kolektora do nižšie uvedených políčk.
- **Aktívna plocha kolektora** – numerický údaj, v ktorom je uvedená aktívna efektívna plocha kolektora v m<sup>2</sup>.
- **h<sub>0</sub> – (μ<sub>0</sub>)** súčiniteľ konverzie pri uhle žiarenia  $\theta = 0^\circ$
- **k<sub>1</sub>** – súčiniteľ tepelnej straty (lineárny)
- **k<sub>2</sub>** – súčiniteľ tepelnej straty (kvadratický)
- **ρ<sub>0</sub> – (ρ)** – hustota kvapaliny v kolektore [kg/m<sup>3</sup>]
- **c** – špecifická tepelná kapacita kvapaliny [kJ/kgK]

V tabuľke je možné aktualizovať koeficienty pre uhol dopadu slnečného žiarenia.

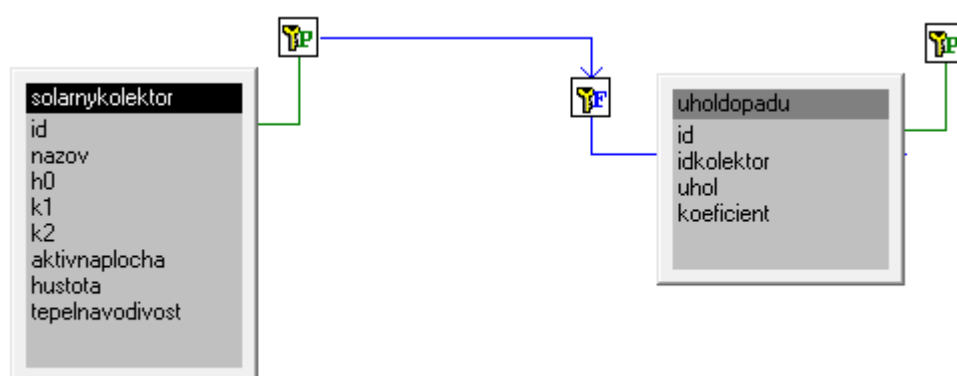
#### Tlačidlá:

- **Pridaj** – slúži na pridanie nového slnečného kolektora. Po stlačení sa zobrazí nový dialóg „Pridanie slnečného kolektora“. Atribúty na dialógu majú rovnakú funkciu.
- **Odstráň** – Slúži na odstránenie slnečného kolektora z databázy. Po stlačení sa zobrazí upozornenie „Odstrániť kolektor z databázy?“ Áno/Nie. Potvrdením tlačidla Áno sa kolektor vymaže.

- **Aktualizuj** – Slúži na aktualizácia slnečného kolektora v databáze zmenenými údajmi na tomto dialógu. Po stlačení sa zobrazí upozornenie „Aktualizovať kolektor v databáze?“ Áno/Nie. Potvrdením tlačidla Áno sa kolektor aktualizuje.
- **Zatvor** – zatvorí sa dialóg

Údaje o kolektore sa uchovávajú v databáze v triede **solarnykolektor** a údaje pre uhol dopadu do triedy **uholdopadu**. Nad obidvoma triedami je definovaný primárny kľúč **id**, a sú navzájom prepojené cudzím kľúčom, pričom pre previazanie platí:

**solarnykolektor.id = uholdopadu.idkolektor.**



Obr. 1 Triedy pre uchovanie kmeňových údajov.

**Nastavenie slnečných kolektorov**

Typ slnečného kolektora:

Aktívna plocha kolektora:  m<sup>2</sup>

h0 =

k1 =

k2 =

ro =  kg/m<sup>2</sup>

c =  kJ/kgK

Uhol dopadu [°]	Koeficient
0	1,000
10	1,000
20	1,010
30	1,020
40	1,050
50	0,900
60	0,670
70	0,420
80	0,160
90	0,000

Buttons: Pridaj, Odstráň, Aktualizuj, Zatvor

Obr.15 Obrazovka pre nastavenie slnečných kolektorov.

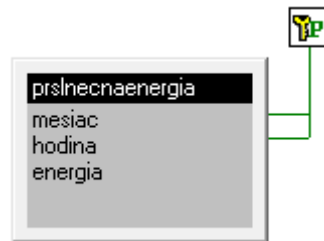
## 2. Slniečná energia

Výberom možnosti „Slniečná energia“ z popup menu „Kmeňové údaje“ sa zobrazí dialóg „Evidencia intenzity slnečnej energie“. Dialóg umožňuje prezeranie a aktualizáciu priemerných hodnôt intenzity slnečnej energie pre každý mesiac v roku. Hodnoty sa evidujú pre každú celú hodinu dňa v intervale od 0 do 23 hod.

### Tlačidlá:

- **Ulož** – slúži na zaevidovanie aktualizovaných údajov na dialógu do databázy
- **Zatvor** – zatvorí sa dialóg bez uloženia dát, aj keď boli aktualizované.

Údaje o priemernej intenzite slnečného žiarenia sa uchovávajú v databáze v triede **prslnečnaenergia**. Nad triedou je definovaný primárny kľúč mesiac + hodina.



Obr.16 Triedy pre uchovanie priemernej intenzity slnečného žiarenia.

## III. Výpočty

### 1. Účinnosť

Výpočet účinnosti kolektora v závislosti na rôzne vonkajšie parametre prostredia.

### 2. Tepelný výkon

Výpočet skutočného tepelného výkon na plošnú jednotku za definovaný časový úsek.

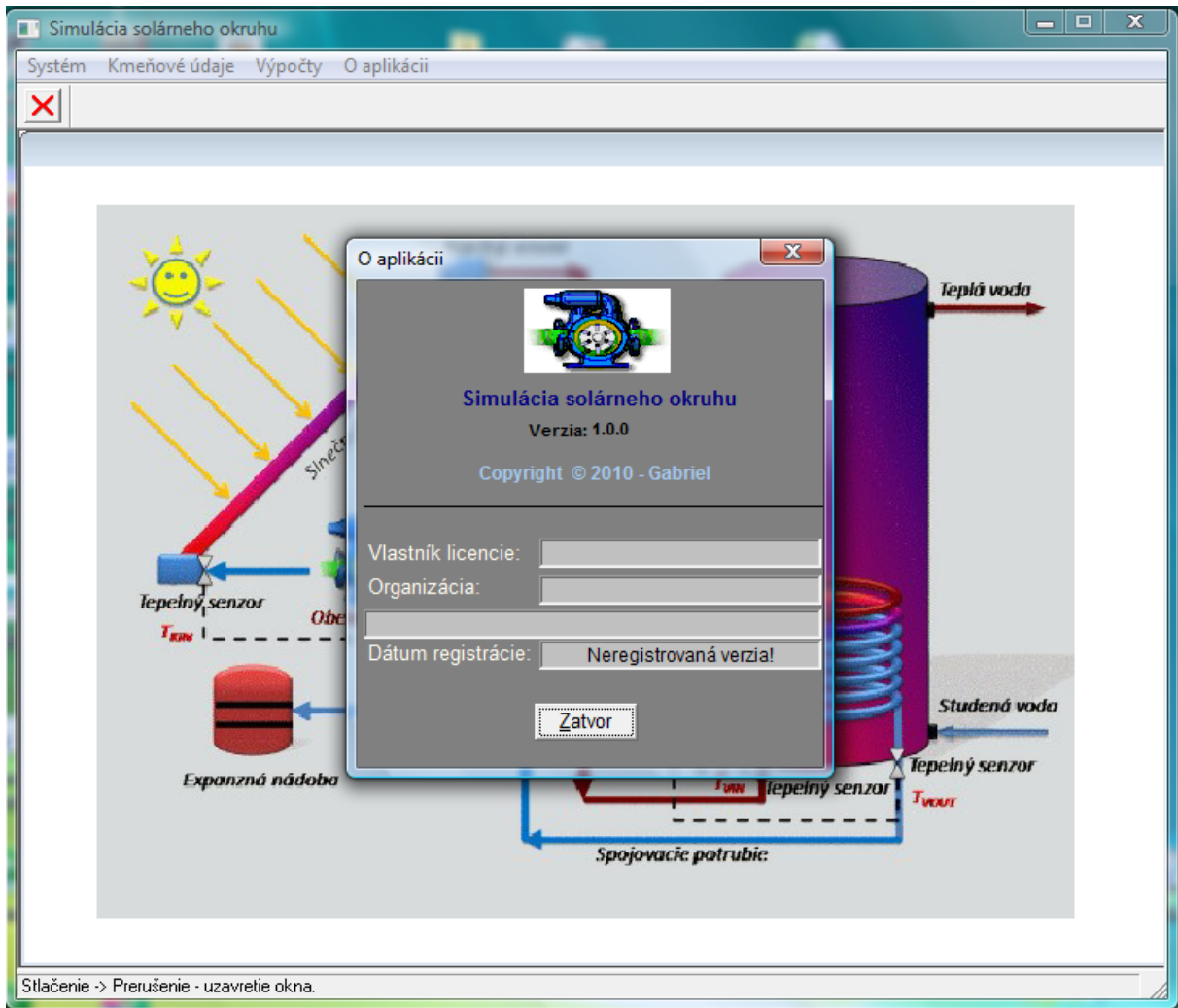
### 3. Ohrev vody

Výpočet priebehu ohrevu TUV v zásobníku vzhľadom na rôzne počiatkové stavy, a grafické znázornenie optimalizácie prietoku média v primárnom okruhu pomocou obehového čerpadla.



#### IV. O aplikácii:

Výberom možnosti „O aplikácii.“ sa zobrazí informačný dialóg o programe.



Obr.17 Informačný dialóg o programe.

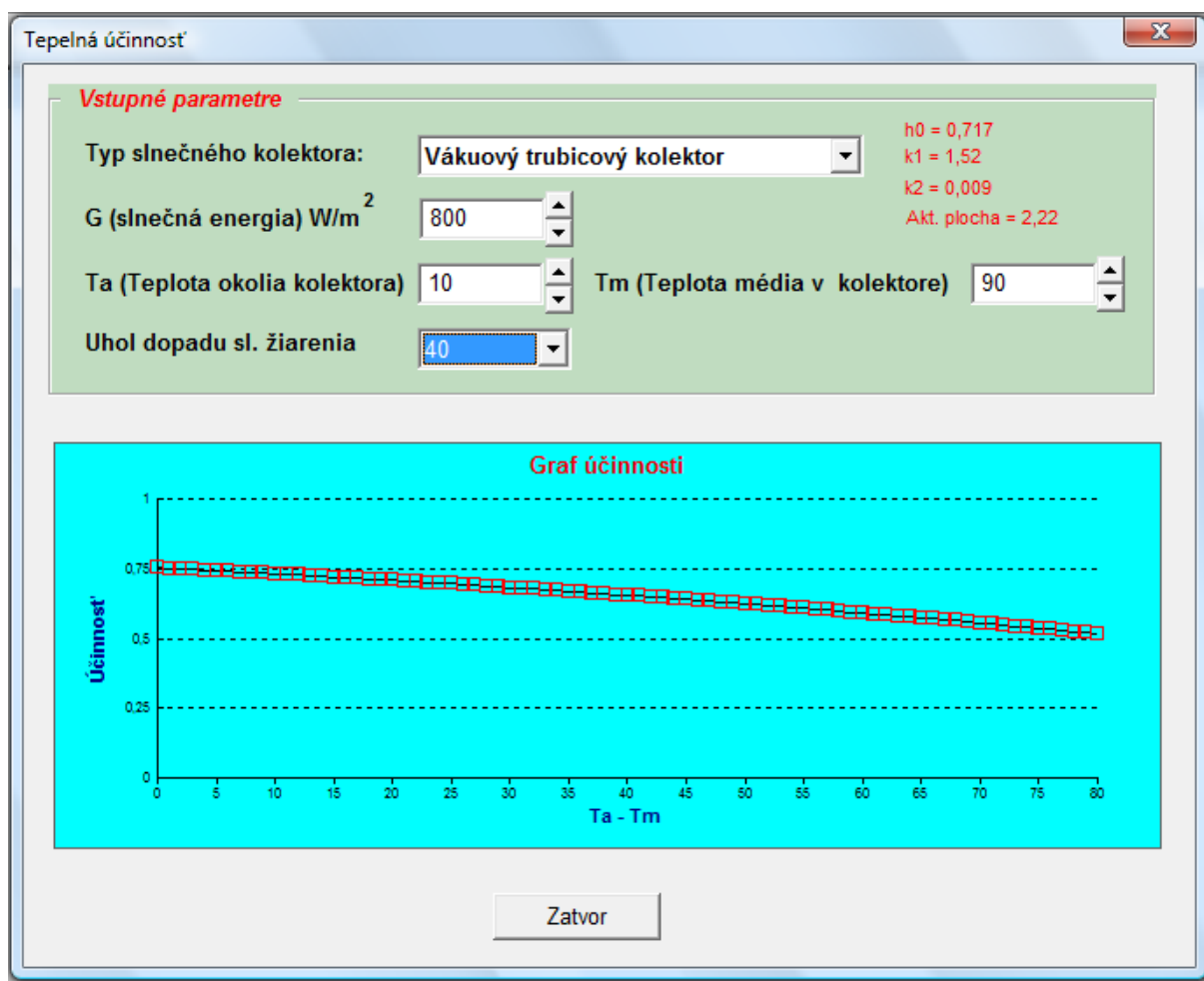
#### 4.1.2 Výpočet účinnosti kolektora v závislosti na vonkajšie parametre prostredia

Výberom možnosti „Účinnosť“ z pop-up menu „Výpočty“ sa zobrazí dialóg „Tepelná účinnosť“. Cieľom dialógu je grafické znázornenie účinnosti slnečného kolektora od rozdielu teplôt  $T_a$ (teplota okolia) –  $T_m$ (teplota média v kolektore).

Pre výpočet účinnosti bol použitý vzorec:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 \cdot (T_{kol} - T_u)}{E_0} - \frac{k_2 \cdot (T_{kol} - T_u)^2}{E_e}$$

V aplikácii pri výpočte účinnosti graf sa automaticky zobrazí ak sú známe všetky vstupné parametre pre výpočet alebo sa na dialógu zmení niektorá zo vstupných parametrov.



Obr.18 Obrazovka pre výpočet účinnosti kolektora.

#### 4.1.2.1 Vstupné parametre aplikačného modulu:

**Typ slnečného kolektora:** Pri otvorení dialógu sa v textovom poli zobrazuje text „ – Vyberte typ slnečného kolektora“. Po kliknutí na šípku dole sa rozbalí listbox s možnými slnečnými kolektormi evidovaných v databáze. Po výbere slnečného kolektora sa na pravo zobrazia základné parametre (konštanty) kolektora, ktoré sú nevyhnutné pre výpočet účinnosti. Zároveň sa do listboxu „Uhol dopadu slnečného žiarenia“ nastaví príslušné uhly dopadu, ktoré je možné vo výpočte použiť.

**G (slnečná energia):** V políčku sa eviduje intenzita dopadajúceho slnečného žiarenia. Prednastavená je hodnota  $800 \text{ W/m}^2$ . Údaj je možné meniť kliknutím na šípku hore alebo dole v rozsahu  $0 - 1400$ , pričom jedným kliknutím sa údaj zmení o hodnotu  $100$ . Ak potrebujeme inú hodnotu, číslo sa môže zapísať priamo do políčka.

**Ta (Teplota okolia kolektora):** V políčku sa eviduje teplota okolia v  $^{\circ}\text{C}$ . Prednastavená je hodnota  $10$ . Údaj je možné meniť kliknutím na šípku hore alebo dole v rozsahu  $0 - T_m$ , pričom jedným kliknutím sa údaj zmení o hodnotu  $10$ .

**T<sub>m</sub> (Teplota média v kolektore):** V políčku sa eviduje maximálna teplota média, ktorá sa dosiahne v  $^{\circ}\text{C}$ . Prednastavená je hodnota  $60$ . Údaj je možné meniť kliknutím na šípku hore alebo dole v rozsahu  $T_a - 160$ , pričom jedným kliknutím sa údaj zmení o hodnotu  $10$ .

**Uhol dopadu slnečného žiarenia:** Pri otvorení dialógu sa v textovom poli zobrazuje text „--“. Po kliknutí na šípku dole sa rozbalí listbox s možnými uhlami evidovaných v databáze. Po výbere konkrétneho uhla sa z databázy získa koeficient pre vybraný typ kolektora a uhla dopadu.

#### 4.1.2.2 Popis algoritmu pre výpočet účinnosti :

Podprogram **zistiucinnost**(idkolektor, intenzita, uhol)

Vstupným parametrom podprogramu sú idkolektor a uhol dopadu slnečného žiarenia, pre ktorý sa zisťuje účinnosť, parameter intenzita je vstupný parameter dialógu.

##### **Definícia premenných:**

Do premenných a,b,c a m\_uhol sa budú ukladať konštanty pre vybraný kolektor (h0, k1 a k2) a uhol dopadu

**dec ucinnost, a, b, c, m\_koefuhol**

**int poc, delta**

V prvom kroku získame konštanty pre vybraný solárny kolektor, ktoré sa uložia do premenných a,b,c.

```
SELECT "solarnykolektor"."h0",  
       "solarnykolektor"."k1",  
       "solarnykolektor"."k2"  
INTO :a, b, c  
FROM "solarnykolektor"  
WHERE "solarnykolektor"."id" = :idkolektor;
```

V ďalšom kroku získame koeficient pre vybraný uhol dopadu, ktorý sa uloží do premennej **m\_koefuhol**

```
SELECT "uholdopadu"."koeficient"  
INTO :m_koefuhol  
FROM "uholdopadu"  
WHERE ( "uholdopadu"."idkolektor" = :idkolektor ) AND  
       ( "uholdopadu"."uhol" = :uhol );
```

Vypočíta sa účinnosť kolektora podľa známeho vzorca v cykle, pričom sa mení hodnota delta v rozsahu 0 - Tm-1. Pre zjednodušenie hodnotu delta meníme s krokom 1.

```
for poc = minteplota to maxteplota  
    delta = maxteplota - poc  
    ucinnost = (a - b*delta/intenzita - c*(delta*delta)/intenzita) * m_koefuhol  
end for
```

### 4.1.2.3 Výpočet účinnosti kolektora

V rámci aplikačného programu účinnosť kolektora sme počítali na základe nasledovného vzťahu:

$$\eta = \eta_0 - \frac{k_1 \cdot (T_{kol} - T_u)}{E_0} - \frac{k_2 \cdot (T_{kol} - T_u)^2}{E_e}$$

Na vyjadrenie kvality kolektora slúžia parametre, ktoré je nutné namerať za použitia noriem (pre SR a EU je to **EN 12 975**).

Pre simuláciu sme vybrali rôzne typy slnečných kolektorov s parametrami podľa tabuľky 5.

Tab.5 Kvalitatívne parametre kolektorov.

Slnečný kolektor		Vákuový trubicový kolektor	Veľmi kvalitný plochý kolektor	Vákuový plochý kolektor
Optická účinnosť kolektora	$\eta_0$	0,717	0,79	0.81
Súčiniteľ tepelnej straty (lineárny) W/(m <sup>2</sup> K)	$k_1$	1,52	4,17	2.61
Súčiniteľ tepelnej straty (kvadratický) W/(m <sup>2</sup> K)	$k_2$	0,0085	0,011	0.008

Charakteristika IAM: Nasledujúca tabuľka obsahuje hodnoty závislosti na uhlu osvitu kolektora.

Tab. 1 Závislosť kolektora na uhlu osvitu.

Uhol osvitu kolektora	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Vákuový trubicový kolektor	1.0	1.0	1.01	1.02	1.05	0.9	0.67	0.42	0.16	0.0
Plochý kolektor	1.0	0.97	0.91	0.82	0.71	0.57	0.4	0.19	0.03	0.0

Uvedené koeficienty platia pre južnú orientáciu a sklon kolektorovej plochy 45°, pre odchýlky západ/východ.

Takto vypočítame hodnotu  $x$ , a po dosadení do vzťahu účinnosť, s akou je kolektor schopný spracovať uvedenú slnečnú energiu za daných podmienok. Strednú teplotu média v kolektore vypočítame ako priemer vstupnej a výstupnej teploty média  $[(T_{na\ vstupne} + T_{na\ výstupe}) / 2]$  do a z kolektora (kolektorového poľa).

Určíme si napríklad:

hodnotu žiarenia  $800\text{W/m}^2$

teplotu okolia  $10\text{ }^\circ\text{C}$

vstupnú teplotu média  $25\text{ }^\circ\text{C}$

výstupnú  $75\text{ }^\circ\text{C}$  potom  $T_m = (25+75)/2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ .

takže  $x$  hodnotu vypočítame:

$$x = (50-25)/800 = 0.03125$$

Po dosadení bude účinnosť kolektora:

$$\eta(x) = 0.717 - (1.52 \cdot 0.03125) - (0.0085 \cdot 800 \cdot 0.03125 \cdot 0.03125) = 0.663$$

Účinnosť je závislá aj na uhle dopadu slnečných lúčov: IAM

po uhlovej korekcii pre sklon  $30^\circ$  podľa tabuľky  $M = 1,02$  je celková účinnosť kolektora

$$h(x) = 0,663 \cdot 1,02 = 0,676$$

Takto dimenzovať systém v praxi by bolo však zbytočne zdĺhavé a náročné, pretože by sa (aj tak len na základe štatistických údajov z predchádzajúcich období) hodnotil výkon kolektora pre každý okamžik roku (minúta, hodina, deň, týždeň, mesiac,...).

V praxi sa používa priemerový odhadový spôsob návrhu a uvedené výpočty sa využívajú na porovnanie výkonu s plochým, resp. iným ľubovoľným kolektorom.

#### 4.1.2.4 Výsledky simulácie

##### Faktory ovplyvňujúce účinnosť kolektora:

- a) Typ kolektora, jeho vlastnosti
- b) Vzťah medzi vonkajšou a teplotou kolektora.
- c) Tepelné straty.
- d) Orientácia kolektorov vzhľadom k svetovým stranám. Optimálna pozícia kolektora je smerom na juh. Pokiaľ to ale podmienky nedovoľujú napr. pri členitej alebo nevhodne orientovanej streche, je možné kolektor umiestniť v smere  $\pm 25$  stupňov od južného smeru.
- e) Sklon kolektorov. Najoptimálnejším celoročným sklonom je sklon  $45^\circ$ .

Závislosť na uhle dopadu slnečných lúčov: IAM - je skratka pre Incidence Angle Modifier, čo znamená zmenu uhla dopadu a označuje zmenu o výkone kolektora a v množstve vyrobeného tepla pri zmene uhla dopadu žiarenia na kolektor. Charakteristika IAM hovorí v prospech vákuových trubíc.

Výkon kolektora nie je možné vyjadriť jedným merným údajom pretože tento je priamo závislý na okamžitých pracovných podmienkach, takže je možno hovoriť o jednom mernom údaji platnom pre presne definované podmienky, za ktorých je tento údaj pravdivý.

##### Analýza výsledkov konkrétnych výpočtov:

Pomocou aplikačného programu sme porovnali účinnosti rôznych (nami zadefinovaných) typov kolektorov. V rámci práce sme porovnali účinnosti vákuového trubicového kolektora, vákuového plochého kolektora a veľmi kvalitného plochého kolektora. Výkony sme porovnali tak, že si tie isté pracovné podmienky dosadili pre hore uvedené typy kolektorov. Keďže boli zadané presne identické podmienky pre všetky sledované kolektory je možno pokladať tento výpočet za kvalitatívne porovnanie.

Tab.7 Výsledky účinnosti porovnaných slnečných kolektorov.

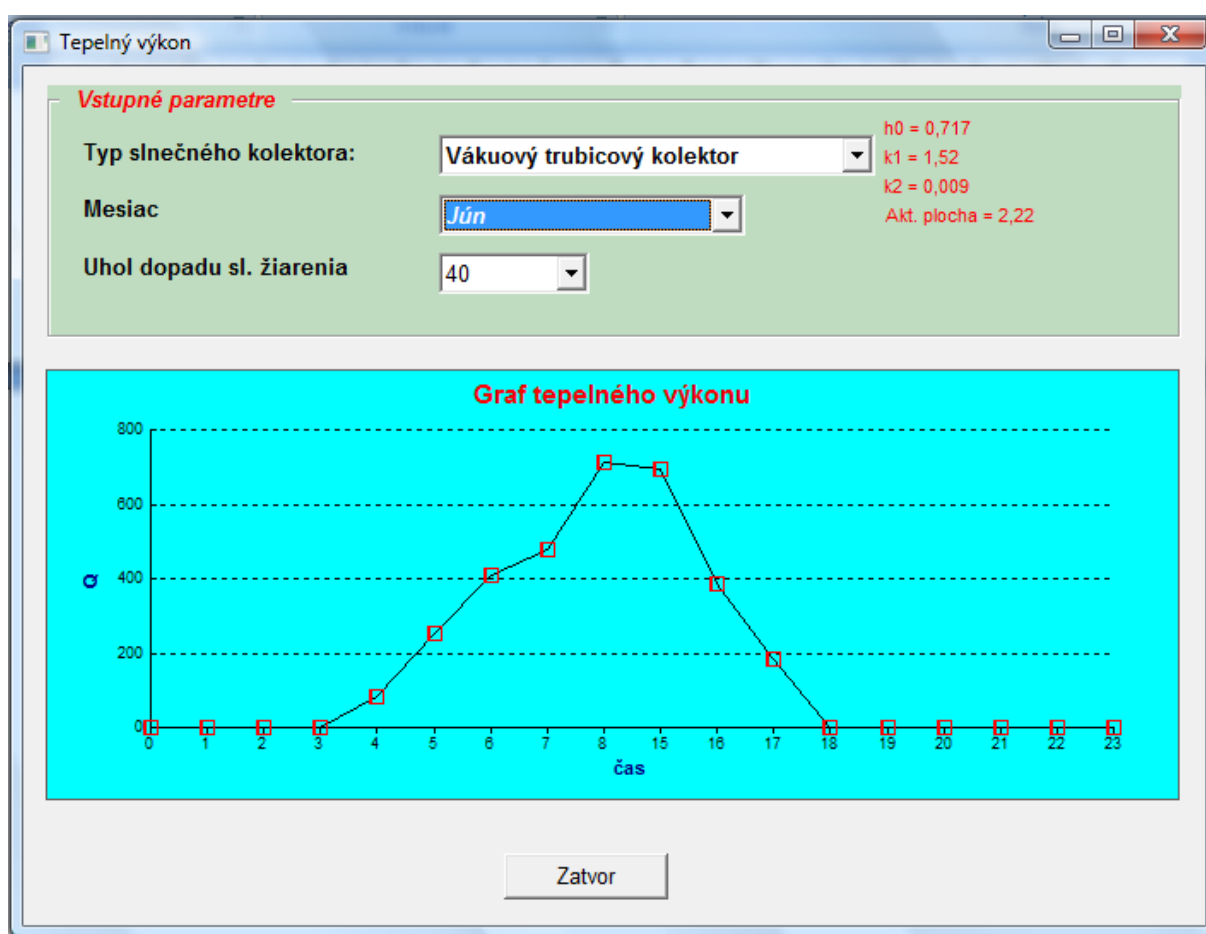
Slnečný kolektor		Vákuový trubicový kolektor	Veľmi kvalitný plochý kolektor	Vákuový plochý kolektor
Účinnosť pre identické pracovné podmienky	$\eta(x)$	0,676	0,474	0,516

Z výsledkov je jednoznačné, že zo skúmaných kolektorov účinnosť vákuového trubicového kolektora je najväčšia pre tie isté pracovné podmienky. Zároveň môžeme konštatovať na základe výstupov aplikačného modulu pre výpočet účinnosti kolektora, že maximálnu účinnosť má kolektor vtedy ak rozdiel teploty absorbera a okolia je rovný nule.

#### 4.1.3 Výpočet tepelného výkonu na plošnú jednotku za definovaný časový úsek

Výberom možnosti „Tepelný výkon“ z popup menu „Výpočty“ sa zobrazí dialóg „Tepelný výkon“. Cieľom dialógu je grafické znázornenie tepelného výkonu ( $Q$ ) v závislosti na čase. Pri výpočte je zohľadnená priemerná hodinová intenzita slnečného žiarenia v mesiaci a uhle dopadu slnečného žiarenia, ktoré sú definované v rámci vstupných parametrov tohto dialógu. Pre výpočet bol zvolený vzorec  $Q = \eta \cdot E$ . (9)

Graf sa automaticky zobrazí ak sú známe všetky vstupné parametre pre výpočet alebo sa na dialógu zmení niektorá zo vstupných parametrov.



Obr.19 Obrazovka pre výpočet tepelného výkonu.



#### 4.1.3.1 Vstupné parametre aplikačného modulu:

**Typ slnečného kolektora:** Pri otvorení dialógu sa v textovom poli zobrazuje text „ – Vyberte typ slnečného kolektora“. Po kliknutí na šípku dole sa rozbalí listbox s možnými slnečnými kolektormi evidovaných v databáze. Po výbere slnečného kolektora sa na pravo zobrazia základné parametre (konštanty) kolektora, ktoré sú nevyhnutné pre výpočet účinnosti. Zároveň sa do listboxu „Uhol dopadu slnečného žiarenia“ nastaví príslušné uhly dopadu, ktoré je možné vo výpočte použiť.

**Mesiac:** Pri otvorení dialógu je prednastavený mesiac „Január“. Po kliknutí na šípku dole sa rozbalí listbox s možnými mesiacmi v rozsahu Január - December..

**Uhol dopadu slnečného žiarenia:** Pri otvorení dialógu sa v textovom poli zobrazuje text „ -- “. Po kliknutí na šípku dole sa rozbalí listbox s možnými uhlami evidovaných v databáze. Po výbere konkrétneho uhla sa z databázy získa koeficient pre vybraný typ kolektora a uhla dopadu.

#### 4.1.3.2 Popis algoritmu pre výpočet skutočného tepelného výkonu:

Vstupným parametrom podprogramu sú idkolektor a uhol dopadu slnečného žiarenia, pre ktorý sa zisťuje účinnosť a mesiac.

##### **Definícia premenných:**

**int cas, intenzita, delta**

**real ucinnost, energia**

Nastavíme počiatočnú hodnotu delta na hodnotu 0 (predpokladáme, že teplota kolektora a okolia je rovnaká) **delta = 0**

Pre každú hodinu vypočítame hodnotu tepelnej energie

**FOR cas = 0 to 23**

Pri výpočte energie budeme postupovať v týchto krokoch:

Najprv získame z triedy **prslnecnaenergia** priemernú hodnotu intenzity žiarenia pre hodinu v cykle za mesiac, ktorý je vstupným parametrom.

```
SELECT "prslnecnaenergia"."energia"  
  INTO :intenzita  
FROM "prslnecnaenergia"  
WHERE ( "prslnecnaenergia"."hodina" = :cas ) AND  
      ( "prslnecnaenergia"."mesiac" = :mesiac );
```

Výpočet sa vykonáva iba v prípade ak intenzita v danej hodine je väčšia ako nula

```
IF intenzita > 0 THEN
```

Na výpočet účinnosti kolektora sa použije podprogram **zistiucinnost()**. Jeho popis je uvedený v časti Účinnosť.

```
ucinnost = zistiucinnost(m_idkolektor, intenzita, uhol, delta)
```

Po vypočítaní účinnosti kolektora vypočítame delta T – teplotu o ktorú sa zvýši teplota média v kolektore. Pre zjednodušenie sme v programe uvažovali s objemom 10 litrov. Tak že pre ďalšiu hodinu výpočtu sa zvýši teplota v kolektore a tým pádom sa mení aj hodnota delta, ktorá sa zohľadní pri výpočte účinnosti kolektora v nasledovnej hodine cyklu.

```
delta = delta + intenzita*ucinnost/((objem/1000) * m_ro * m_tv)
```

Celkovú energiu pre danú hodinu potom vypočítame tak že výslednú účinnosť vynásobíme intenzitou žiarenia v danej hodine a efektívnou plochou kolektora (m\_ep)

```
energia = intenzita * ucinnost * m_ep
```

```
IF energia < 0 THEN
```

```
  energia = 0
```

```
END IF
```

```
ELSE
```

```
  energia = 0
```

```
END IF
```

```
END FOR
```

### 4.1.3.3 Výsledky simulácie

#### Faktory ovplyvňujúce tepelný výkon:

- Typ kolektora, jeho vlastnosti
- Vzťah medzi vonkajšou a teplotou kolektora.
- Tepelné straty.
- Intenzita slnečného žiarenia
- Uhol dopadu slnečného žiarenia

#### Analýza výsledkov konkrétnych výpočtov:

Pomocou aplikačného programu sme porovnali skutočné tepelné výkony rôznych (nami zadefinovaných) typov kolektorov. Keďže boli zadané presne identické podmienky pre všetky sledované kolektory je možno pokladať tento výpočet za kvalitatívne porovnanie.

Skutočný tepelný výkon vákuového trubicového kolektora na plošnú jednotku pre definovaný okamžik intenzitu slnečného žiarenia  $800\text{W/m}^2$  je:

$$Q = \eta \cdot E = 0,676 \cdot 800 = 540 \text{ W/m}^2$$

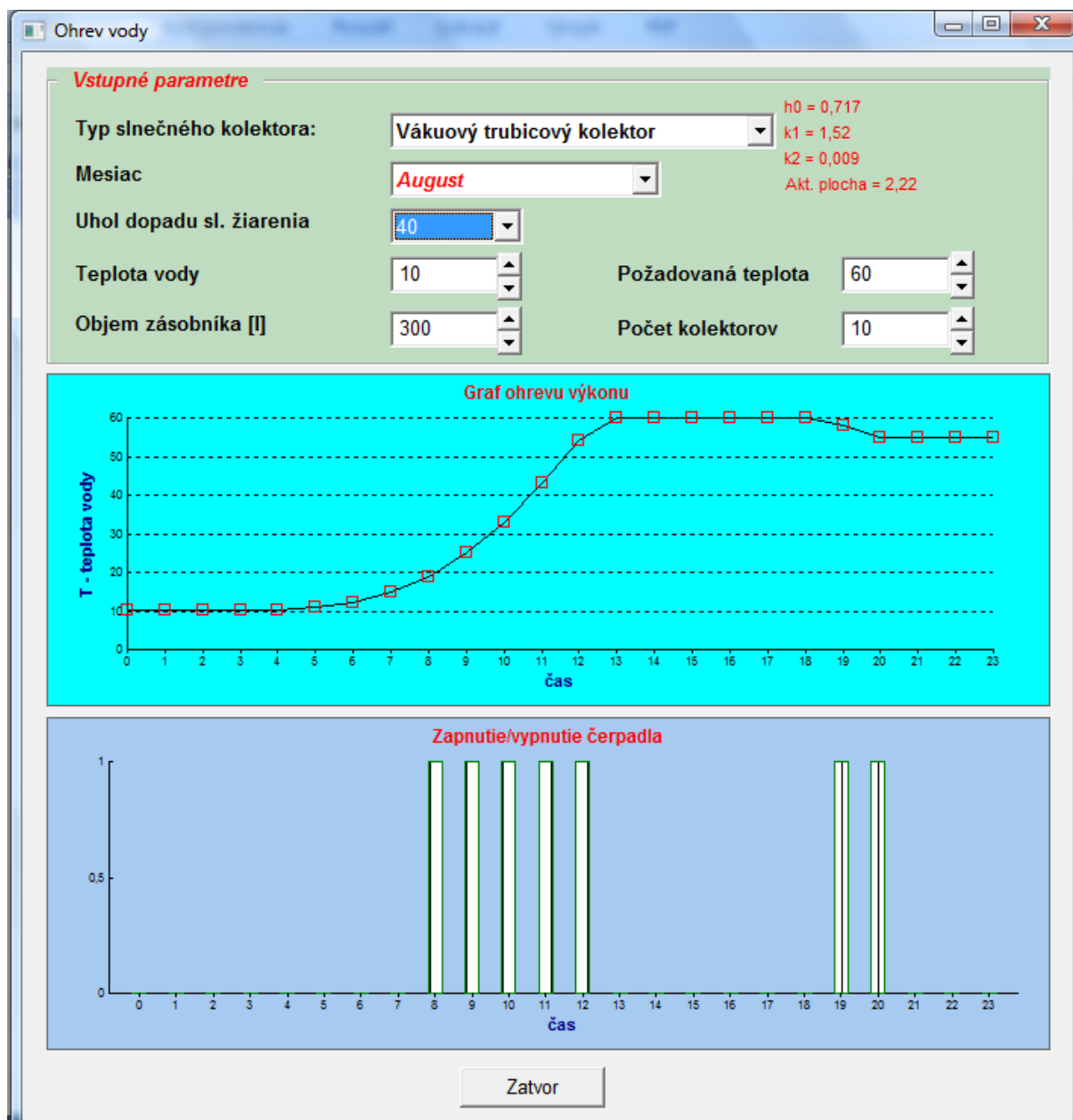
Tab.8 Výsledky účinnosti a výkonov porovnaných slnečných kolektorov.

Slnečný kolektor		Vákuový trubicový kolektor	Veľmi kvalitný plochý kolektor	Vákuový plochý kolektor
Účinnosť pre identické pracovné podmienky	$\eta_{(x)}$	0,676	0,474	0,516
Výkon/zisk pri rovnakých podmienkach z plošného metra ( $\text{W/m}^2$ )	$P_{800}$	540	379	413

Z výsledkov výpočtu môžeme konštatovať, že skutočný tepelný výkon závisí od účinnosti kolektora ako aj od intenzity slnečného žiarenia.

#### 4.1.4 Výpočet priebehu ohrevu TUV v zásobníku

Výberom možnosti „Ohrev vody“ z popup menu „Výpočty“ sa zobrazí dialóg „Ohrev vody“. Cieľom dialógu je grafické znázornenie teploty vody v závislosti na čase a grafické znázornenie činnosti čerpadla. Pri výpočte je zohľadnená priemerná hodinová intenzita slnečného žiarenia v mesiaci a uhle dopadu slnečného žiarenia, ktoré sú definované v rámci vstupných parametrov tohto dialógu.



Obr.20 Obrazovka pre výpočet ohrevu TUV ako aj zapínanie/vypínanie obehového čerpadla.

#### 4.1.4.1 Vstupné parametre aplikačného modulu:

**Typ slnečného kolektora:** Pri otvorení dialógu sa v textovom poli zobrazuje text „ – Vyberte typ slnečného kolektora“. Po kliknutí na šípku dole sa rozbalí listbox s možnými slnečnými kolektormi evidovaných v databáze. Po výbere slnečného kolektora sa na pravo zobrazia základné parametre (konštanty) kolektora, ktoré sú nevyhnutné pre výpočet účinnosti. Zároveň sa do listboxu „Uhol dopadu sl. žiarenia“ nastaví príslušné uhly dopadu, ktoré je možné vo výpočte použiť.

**Mesiac:** Pri otvorení dialógu je prednastavený mesiac „Január“. Po kliknutí na šípku dole sa rozbalí listbox s možnými mesiacmi v rozsahu Január - December..

**Uhol dopadu slnečného žiarenia:** Pri otvorení dialógu sa v textovom poli zobrazuje text „ --“. Po kliknutí na šípku dole sa rozbalí listbox s možnými uhlami evidovaných v databáze. Po výbere konkrétneho uhla sa z databázy získa koeficient pre vybraný typ kolektora a uhla dopadu.

**Teplota vody:** V políčku sa eviduje počiatočná teplota vody v °C. Prednastavená je hodnota 10. Údaj je možné meniť kliknutím na šípku hore alebo dole v rozsahu 0 – 40, pričom jedným kliknutím sa údaj zmení o hodnotu 1.

**Požadovaná teplota:** V políčku sa eviduje požadovaná teplota vody, na ktorú sa má zohriať. Prednastavená je hodnota 60. Údaj je možné meniť kliknutím na šípku hore alebo dole v rozsahu Teplota vody – 90, pričom jedným kliknutím sa údaj zmení o hodnotu 10. Ak potrebujeme inú hodnotu, číslo sa môže zapísať priamo do políčka.

**Objem zásobníka:** V políčku sa eviduje množstvo vody v zásobníku v litroch. Prednastavená je hodnota 300. Údaj je možné meniť kliknutím na šípku hore alebo dole v rozsahu 10 –10000, pričom jedným kliknutím sa údaj zmení o hodnotu 10. Ak potrebujeme inú hodnotu, číslo sa môže zapísať priamo do políčka.

**Počet kolektorov:** V políčku sa eviduje počet použitých kolektorov pre ohrev vody. Prednastavená je hodnota 10. Údaj je možné meniť kliknutím na šípku hore alebo dole, pričom jedným kliknutím sa údaj zmení o hodnotu 1.

#### 4.1.4.2 Popis algoritmu pre výpočet ohrevu TUV v zásobníku:

Vstupným parametrom podprogramu sú idkolektor a uhol dopadu slnečného žiarenia, pre ktorý sa zisťuje účinnosť a mesiac

##### Definícia premenných:

```
int cas, intenzita, teplotak,teplota, delta, delta2, cerpadlo
real ucinnost, energia
```

Nastavíme počiatočnú hodnotu delta na hodnotu 0 (predpokladáme, že teplota kolektora a okolia je rovnaká)

```
delta = 0
teplota = integer(em_ta.text)
teplotak = teplota
```

Pre každú hodinu vypočítame hodnotu teplotu vody v zásobníku

```
FOR cas = 0 to 23
```

Pri výpočte budeme postupovať v týchto krokoch:

Najprv získame z triedy **prslnecnaenergia** priemernú hodnotu intenzity žiarenia pre hodinu v cykle za mesiac, ktorý je vstupným parametrom.

```
SELECT "prslnecnaenergia"."energia"
  INTO :intenzita
  FROM "prslnecnaenergia"
  WHERE ( "prslnecnaenergia"."hodina" = :cas ) AND
        ( "prslnecnaenergia"."mesiac" = :mesiac );
IF intenzita > 0 THEN
```

Zistíme účinnosť kolektora, popísané vyššie

```
ucinnost = zistiucinnost(m_idkolektor, intenzita, uhol, delta)
```

Vypočítame teplotu média v kolektore, rovnako ako v predchádzajúcom prípade

```
delta = delta + intenzita*ucinnost/((objem/1000) * m_ro * m_tv)
teplotak = teplotak + delta
```

Vypočítame celkovú energiu všetkých kolektorov

```
energia = intenzita * ucinnost * m_ep * integer(em_pockol.text)
```

Vypočítame o koľko sa zvýši teplota vody v zásobníku

```
delta2 = energia/((integer(em_objem.text)/1000) * m_ro * m_tv)
```

```

teplota = teplota + delta2
IF teplota > integer(em_tm.text) THEN
    teplota = integer(em_tm.text)
END IF
END IF

```

V ďalšom kroku zistíme či čerpadlo má byť zapnuté alebo nie. Podmienkou bude rozdiel teplôt v zásobníku a v kolektore o viac ako 10 °C, dosiahnutie požadovanej teploty v zásobníku.

```

IF teplotak - teplota > 10 AND teplota < integer(em_tm.text) AND intenzita > 0
THEN
    cerpadlo = 1
else
    cerpadlo = 0
END IF
END FOR

```

#### 4.1.4.3 Výsledky simulácie

##### **Faktory ovplyvňujúce tepelný výkon:**

Pomocou aplikačného programu sme simulovali ohrev TUV v zásobníku (nami zadaných) typmi kolektorov.

- a) Typ kolektora, jeho vlastnosti
- b) Vzťah medzi vonkajšou a teplotou kolektora.
- c) Tepelné straty.
- d) Objem zásobníka
- e) Plocha solárneho kolektora

#### 4.1.5 Optimalizácia prietoku média v primárnom okruhu

Z predchádzajúcich analýz a z výpočtov jednotlivých parametrov solárneho okruhu je zrejmé, že množstvo dopadajúceho slnečného žiarenia spravidla nezodpovedá požiadavkám okamžitej potreby energie. Z tohto dôvodu je nutné, aby sa slnečná energia akumulovala. Riadenie ukladania slnečnej energie do zásobníka zabezpečujú elektronické regulátory solárneho systému. Z funkčného hľadiska musia zabezpečiť v prípade vhodných pracovných podmienok prenos získaného tepla do zásobníka. Súčasne musia zabrániť vynášaniu tepla zo zásobníka a zabezpečiť dodržanie bezpečných teplôt v zásobníku

Je niekoľko spôsobov ako sa tieto požiadavky dajú zabezpečiť. V solárnych systémoch sa predpokladá použitie čerpadla na obeh teplonosného nemrznúceho média. Pri simulácií v aplikačnom module sme zvolili princíp práce solárnych regulátorov na využívanie rozdielu tepla medzi kolektorom a zásobníkom. Ak je teplota v kolektore vyššia ako v zásobníku o požadovanú delta T, regulátor zopne čerpadlo, ktoré zabezpečí prenos tepla do zásobníka. Ak je rozdiel teplôt menší ako požadovaná hodnota delta T, čerpadlo nepracuje. Týmto spôsobom nemôže dôjsť k stavu, že teplo akumulované v zásobníku je vyžarované cez kolektory do vonkajšieho prostredia.

Čerpadlo kolektorového okruhu sa zapína, ako náhle teplotný rozdiel medzi kolektorom a dolnou časťou zásobníka prekročí stanovenú hodnotu. Vypína sa, akonáhle teplotný rozdiel poklesne pod stanovenú hodnotu. Spravidla je nastaviteľný ešte minimálny čas dobiehania chodu čerpadla po impluzoch k vypnutiu.

Hodnoty spínania sú:

- teplotný rozdiel pre spínanie 10 K;
- teplotný rozdiel pre vypínanie 3 K;

Alternatívne je možná regulácia štartu systému na základe zmeny tlaku teplonosnej kvapaliny. Optimálnym spôsobom regulácie prietoku teplonosného média v systéme by bolo samozrejme aj regulácia otáčok obehového čerpadla na základe požadovanej výstupnej teploty. Takto by sa menilo množstvo prečerpávaného teplonosného média v závislosti na intenzite slnečného žiarenia a zvyšoval by sa efektívnosť práce solárneho systému.

Riešený algoritmus v aplikačnom module neráta so zmenou regulácie otáčok obehového čerpadla. Simuluje len časové úseky pri ktorých z dôvodu zvýšenia účinnosti systému sa má zapínať/vypínať obehové čerpadlo.



## ZÁVER

Pri štúdiu literatúry súvisiacej so skúmanou tematikou som preštudoval odborné literatúry so zameraním na zariadenia produkujúce úžitkovú teplú vodu pomocou slnečnej energie. Prezrel som technické normy pojednávajúce o zariadeniach využívajúcich slnečnú energiu a tiež zozbieral som informácie o vývojových nástrojov vyhovujúcich pre vyhotovenie aplikácie na monitorovanie solárneho okruhu so zabudovaným obehovým čerpadlom. Zostrojil som model k vykonaniu simulácie solárneho systému fungujúceho na báze rozdielu medzi teplotou vystupujúcou z kolektora a teplotou v zásobníku, v ktorých sa parametre dajú meniť rôznymi spôsobmi.

Slnečnú energiu sa dá veľmi účinne pomocou dobrých technológií úspešne využívať na výrobu úžitkovej teplej vody, ale ak má byť celý navrhovaný systém ekonomicky efektívny je nutné v maximálnej možnej miere optimalizovať prevádzkové parametre všetkých jeho častí a navrhnúť monitorovací a najmä riadiaci systém s čo najväčšou pružnosťou riadenia.

Práca zhodnocuje poznatky z oblasti solárneho ohrevu TUV s využitím obehového čerpadla. Zrealizovaný aplikačný software slúži na overenie hlavných prevádzkových parametrov solárneho systému.

Navrhnuté programové vybavenie umožňuje výpočty:

- účinnosť kolektora v závislosti na rôzne vonkajšie parametre prostredia
- skutočný tepelný výkon na plošnú jednotku za definovaný časový úsek
- priebehu ohrevu TUV v zásobníku vzhľadom na rôzne počiatočné stavy
- optimalizáciu prietoku média v primárnom okruhu pomocou obehového čerpadla

Z hore uvedených faktov vyplýva, že veľmi podstatným prvkom optimalizácie primárneho okruhu navrhovaného zdroja TUV je hodnota prietoku primárneho okruhu.

Práca zhodnocuje poznatky z oblasti solárneho ohrevu TUV s využitím čerpadla pre optimalizáciu prietoku média v primárnom okruhu. Zaoberá sa len čiastkovou úlohou z oblasti efektívneho riadenia navrhovanej úpravy solárneho systému pre ohrev teplej úžitkovej vody.

Výpočty v solárnom okruhu poukázali na možnosť zvýšenia efektivity kolektora, resp. zníženia tepelných strát kolektora, riadením prietoku teplonosného média.

Dúfam, že táto diplomová práca ako aj návrh a riešenie programu pre simuláciu účinnosti kolektora, teploty TUV v zásobníku a prietoku média solárneho okruhu priblíži problematiku možnosti zvýšenia efektívnosti solárnych okruhov a sa v budúcnosti stane využívaným pre jednoduchú simuláciu solárneho systému pre ohrev TUV.

## ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [ 1.] BERANOVSKÝ, J.- TRUXA, J. 2003. *Alternativní energie pro váš dům*. Praha: ERA, 2003.125 s. ISBN 80-86517-59-4.
- [ 2.] ILIAŠ, I. 2006. Možnosti využitia slnečnej energie. Slnko k službám, [online]. 2006. [cit.2008-01-25]. Dostupné na internete :  
<[http://www.bramacsolar.sk/ECB\\_Moznosti\\_vyuzivania\\_slnecej\\_energie.pdf](http://www.bramacsolar.sk/ECB_Moznosti_vyuzivania_slnecej_energie.pdf)>. ISSN 80 969466-0-9.
- [ 3.] Matuška, T.- Schwarzer, J.- Šourek, B. Organizace: ČVUT v Praze, FS, Ústav techniky prostředí. Dostupné na internete :  
<<http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2641/>>
- [ 4.] Remmers, K. H. Velká solární zařízení · Vydavatel'stvo: ERA group, 2007 ISBN: 978-80-7366-110-6
- [ 5.] LADENER, H.- SPÄTE, F. 2003. Solární zařízení. Grada publishing Praha 2003. ISBN 80-247-0362-9
- [ 6.] O solárnej termickej energii [online]. [cit.2010-04-03] Dostupné na internete:  
< <http://www.vexcolt.eu/o-solarnej-termickej-energii/>>
- [ 7.] Solární soustavy - teorie a schémata (II)
- [ 8.] Slnečný kolektor [online]. [cit.2010-03-15] Dostupné na internete:  
< <http://www.technosolar.sk/> >
- [ 9.] Solárne kolektory [online]. [cit.2010-03-23]Dostupné na internete:  
< <http://www.envirotherm.sk/solarneKolektory.html>>
- [ 10.] Solárne kolektory [online]. [cit.2010-04-05] Dostupné na internete:  
< <http://www.univenta.cz/produkty/solarni-kolektory>>
- [ 11.] Solární systémy [online]. [cit.2010-03-26] Dostupné na internete:  
<<http://www.heliostar.cz/solarni-systemy>>
- [ 12.] Sybase[online]. [cit.2010-03-28]Dostupné na internete:  
< <http://www.sybase.sk/products.jsp?show=im&sub=powerbuilder>>
- [ 13.] Solární systémy [online]. [cit.2010-04-07] Dostupné na internete:  
<<http://www.thermosolar.sk/>>
- [ 14.] Technické informácie kolektorov:[online]. [cit.2010-03-27] Dostupné na internete:  
< [http://www.tripos.sk/ae3/main\\_techout\\_sk.htm](http://www.tripos.sk/ae3/main_techout_sk.htm) >

## **Prílohy**

**Príloha 1**      Aplikačný program pre simuláciu prietoku média solárneho okruhu (Nosič CD)