

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra měření
program: Inteligentní budovy

Implementace a optimalizace systému solárního ohřevu vody v inteligentních budovách

Implementation and optimization of solar water heating system in smart buildings

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval: Bc. Oto Vrána
Vedoucí práce: Ing. Pavel Mlejnek, Ph.D.
Konzultant: Ing. Michal Broum
Rok: 2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vrána**

Jméno: **Oto**

Osobní číslo: **519836**

Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**

Zadávací katedra/ústav: **Katedra měření**

Studijní program: **Inteligentní budovy**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Implementace a optimalizace systému solárního ohřevu vody v inteligentních budovách

Název diplomové práce anglicky:

Implementation and optimization of a solar water heating system in smart buildings

Pokyny pro vypracování:

Na základě předchozí rešerše a návrhu, doplňte v rámci DP systém solárního ohřevu vody o další nadstandardní funkce (měření množství vyrobeného tepla, možnost rozpuštění sněhu na kolektorech, připojení externího výměníku, propracovanější bezpečnostní funkce proti přehřívání systému).

Seznamte se s hlavní řídicí jednotkou od společnosti Regulus a implementujte systém do této jednotky.

Otestujte funkčnost systému pomocí simulačních prostředků a reálných testovacích scénářů.

Proveďte jeho validaci a optimalizujte systém pro zajištění spolehlivého fungování.

Vytvořte uživatelské a servisní rozhraní pro ovládání a používání systému.

Seznam doporučené literatury:

[1] MATUŠKA, Tomáš. Solární tepelné soustavy. Sešit projektanta – pracovní podklady. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. ISBN 978-80-02-02186-5.

[2] LAUGHTON, Chris. Solar Domestic Water Heating. Routledge, 2021, 256 s. ISBN 9780367787516.

[3] MATUŠKA, Tomáš. Solární zařízení v příkladech. Praha: Grada, 2013. Stavitel. ISBN 9788024735252.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Pavel Mlejnek, Ph.D. katedra měření FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **09.02.2024**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce:

do konce letního semestru 2024/2025

Ing. Pavel Mlejnek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

V Praze dne

.....
Bc. Oto Vrána

Poděkování

Děkuji Ing. Pavlu Mlejnkovi, Ph.D. za cenné vedení a za podnětné návrhy, které práci obohatily. Dále bych rád poděkoval Ing. Michalu Broumovi a Bc. Stanislavu Němcovi za odborné konzultace, které významně přispěly k úspěšnému dokončení této diplomové práce.

Bc. Oto Vrána

Název práce:

Implementace a optimalizace systému solárního ohřevu vody v inteligentních budovách

Autor: Bc. Oto Vrána

Studijní program: Inteligentní budovy

Obor: Inteligentní budovy

Druh práce: Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Pavel Mlejnek, Ph.D.
ČVUT

Konzultant: Ing. Michal Broum
Firma Regulus s.r.o.

Abstrakt: Využití obnovitelných zdrojů energie se stává klíčovým v globálním úsilí o udržitelnost a ochranu životního prostředí. Tato diplomová práce se zaměřuje na implementaci a optimalizaci systému solárního ohřevu vody v inteligentních budovách. Hlavním cílem je navrhnout a implementovat systém, který efektivně využívá solární energii a integruje pokročilé funkce s existujícími řídicími jednotkami. Práce vychází z předchozího projektu a rozvíjí základní systém solárního ohřevu vody o nové funkce a optimalizace. Metodologicky zahrnuje detailní analýzy, simulace a reálné testy, které potvrzují efektivitu a spolehlivost navrženého systému. Teoreticky tato práce přispěla k hlubšímu porozumění principům solárního ohřevu vody a jeho integrace do inteligentních budov. Prakticky poskytuje konkrétní řešení a postupy pro optimalizaci solárních systémů v reálném prostředí. Výsledky této práce jsou v souladu s existujícími studiemi a potvrzují výhody solárního ohřevu vody. Navržený systém je schopen poskytovat vysokou úroveň efektivitu a spolehlivosti při různých provozních podmínkách, čímž přispívá k dosažení udržitelnější budoucnosti a zvyšování energetické efektivitu budov.

Klíčová slova: Solární ohřev, Řídicí jednotka, inteligentní budovy, Simulace, Regulace

Title:

Implementation and optimization of solar water heating system in smart buildings

Author: Bc. Oto Vrána

Abstract: The use of renewable energy sources is becoming crucial in the global effort for sustainability and environmental protection. This thesis focuses on the implementation and optimization of a solar water heating system in smart buildings. The main objective is to design and implement a system that efficiently utilizes solar energy and integrates advanced features with existing control units. This work builds on a previous project and develops the basic solar water heating system with new features and optimizations. Methodologically, it includes detailed analyses, simulations, and real tests that confirm the efficiency and reliability of the designed system. Theoretically, this work has contributed to a deeper understanding of the principles of solar water heating and its integration into smart buildings. Practically, it provides concrete solutions and procedures for optimizing solar systems in a real environment. The results of this work are consistent with existing studies and confirm the advantages of solar water heating. The designed system is capable of providing a high level of efficiency and reliability under various operating conditions, thereby contributing to a more sustainable future and increasing the energy efficiency of buildings.

Key words: Solar Heating, Control Unit, Smart Buildings, Simulation, Regulation

Obsah

Úvod	1
1 Teoretický úvod	3
1.1 Principy solárního ohřevu vody	4
1.2 Rešerše existujících technologií a systémů	7
1.3 Popis základních funkcí solárního ohřevu	12
2 Navržený systém regulace solárního ohřevu vody	13
2.1 Popis fungování systému	13
2.2 Přehled nadstandardních funkcí	17
2.3 Vývojový diagram	19
3 Implementace systému do hlavní řídicí jednotky	23
3.1 Představení jednotky IR14	23
3.2 Vývojové prostředí jednotky IR14	24
3.3 Způsob implementace systému	25
3.4 Způsob programování a průběžné testování funkčnosti	26
4 Tvorba uživatelského a servisního rozhraní	29
4.1 Analýza požadavků na uživatelské rozhraní	29
4.2 Popis servisního rozhraní	30
4.3 Implementace uživatelského a servisního rozhraní	30
5 Simulace systému	35
5.1 Popis simulačního prostředí a jeho propojení s programovacím prostředím	35
5.2 Návrh simulačního scénáře	36
5.3 Průběh simulace	38
6 Testovaný reálný systém	39
6.1 Popis systému	39
6.2 Řídicí jednotka a implementace solárního ohřevu	40
6.3 Metodika testování	41
6.4 Testované období	41
7 Výsledky ze simulace a z reálného testování	43
7.1 Prezentace výsledků simulace	43
7.2 Prezentace výsledků z reálného testování	47
7.3 Shrnutí výsledků z testovacích metod	48
Závěr	51
Seznam obrázků	52
Seznam tabulek	53
Bibliografie	55

Úvod

Využití obnovitelných zdrojů energie se stává stále klíčovějším v globálním úsilí o udržitelnost a ochranu životního prostředí. Solární energie představuje jeden z nejčistších a nejdostupnějších zdrojů energie, který může výrazně přispět k redukci fosilních paliv. S rostoucím důrazem na ekologickou udržitelnost a energetickou efektivitu se solární ohřev vody stává důležitým prvkem moderních inteligentních budov.

Solární ohřev vody nabízí řadu ekologických a ekonomických výhod. Je to technologie, která využívá sluneční záření k ohřevu vody, což může výrazně snížit spotřebu tradičních energetických zdrojů, jako jsou elektřina nebo plyn. Inteligentní budovy, které integrují solární ohřev vody do svých systémů, tím mohou dosáhnout vyšší energetické nezávislosti a snížit svou uhlíkovou stopu.

Tato práce se zabývá implementací a optimalizací systému solárního ohřevu vody v inteligentních budovách, se zaměřením na vývoj pokročilých funkcí a jejich integraci do existujících řídicích jednotek. Hlavním cílem je navrhnout a implementovat systém, který efektivně využívá solární energii a je schopný se přizpůsobit různým podmínkám a požadavkům uživatelů.

Práce vychází z předchozího projektu, který se zabýval návrhem základního systému solárního ohřevu vody. Tento projekt poskytuje solidní základ a lze jej rozšiřovat o nové funkce a optimalizace, které jsou nezbytné pro zajištění maximální účinnosti a spolehlivosti systému. V rámci této práce je systém dále rozvíjen, aby byl schopen lépe reagovat na změny okolního prostředí a požadavky na spotřebu teplé vody.

Jedním z klíčových aspektů této práce je testování funkčnosti navrženého systému pomocí simulačních prostředků a reálných testovacích scénářů. Tyto testy jsou nezbytné pro ověření, zda systém funguje podle očekávání a splňuje všechny stanovené cíle. Simulace umožňují modelovat různé situace a podmínky, což pomáhá identifikovat potenciální problémy a optimalizovat systém pro reálný provoz.

Tato diplomová práce přispívá k rozvoji inteligentních budov tím, že poskytuje konkrétní řešení pro integraci solárního ohřevu vody, které je ekologicky šetrné a energeticky efektivní. Výsledky a závěry této práce mohou sloužit jako základ pro další výzkum a praktické aplikace v oblasti obnovitelných zdrojů energie. V následujících kapitolách jsou popsány teoretické základy solárního ohřevu vody, analýza existujících technologií a návrh a implementace nového systému do reálné řídicí jednotky.

Kapitola 1

Teoretický úvod

Sluneční energie patří mezi nejbohatší a nejekologičtější zdroje energie, které jsou na naší planetě k dispozici. Její využití pro obnovitelné zdroje energie se stalo klíčovým prvkem v globální snaze o snížení závislosti na fosilních palivech a omezování negativního dopadu lidské činnosti na životní prostředí. Princip využití sluneční energie spočívá v tom, že sluneční záření je absorbováno a přeměňováno na teplo nebo elektrickou energii prostřednictvím solárních technologií, jako jsou solární fotovoltaické panely nebo solární kolektory. Tento proces umožňuje produkci čisté a obnovitelné energie bez emisí skleníkových plynů či jiných škodlivých látek. V dnešní době je využití sluneční energie pro obnovitelné zdroje energie jedním z nejdynamičtějších sektorů energetiky a hraje klíčovou roli v přechodu k udržitelnějšímu a ekologičtějšímu energetickému systému [1].

Sluneční záření, které se skládá z různých vlnových délek elektromagnetického záření, dopadá na povrch solárního kolektoru, kde dochází k absorpci části tohoto záření. Během procesu absorpce fotonové částice slunečního záření interagují s atomy nebo molekulami povrchu absorberu. Tento interakční proces způsobuje excitaci elektronů v atomech nebo vibrace molekul, což vede ke zvýšení tepelné energie materiálu absorberu. Tato tepelná energie se následně přeměňuje na teplo, které je rozptylováno mezi atomy nebo molekuly absorberu ve formě tepelných vibrací. Teplo získané absorpcí slunečního záření je pak přenášeno do nosiče tepla v kolektoru, který může fungovat prostřednictvím různých mechanismů, jako je vedení, konvekce, nebo záření. Tento proces absorpce, excitace a přeměny sluneční energie na teplo, je klíčový pro fungování solárních kolektorů a jejich schopnost poskytovat teplo pro různé tepelné aplikace [1].

Svým charakterem se solární systémy řadí spíše mezi úsporná opatření (spořiče energie) než typické zdroje, které lze na povel zapnout a vypnout. V ekonomicky reálných instalacích proto solární zařízení potřebují pro celoroční provoz vždy záložní zdroj tepla. Solární teplo je využitelné všude, kde potřeba tepla vzniká. Ne všude jsou však solární zařízení konkurenceschopná s konvenčními zdroji tepla [2].

Solární ohřev vody zahrnuje využití sluneční energie k ohřevu vody pro různé účely, jako je domácí spotřeba teplé vody, vytápění budov nebo ohřev bazénů. Hlavní princip spočívá v tom, že sluneční záření je absorbováno solárními kolektory a přeměněno na teplo, které je následně přenášeno a absorbováno v zásobníku vody.

1.1 Principy solárního ohřevu vody

Sluneční záření, které dopadá na povrch solárních kolektorů, způsobuje zahřátí jejich absorpčních ploch, přičemž tato tepelná energie je následně předávána teplotněmu médiu. Teplotně médium je v podobě vody nebo speciální nemrznoucí solární kapaliny, která proudí potrubím až k zásobníku vody, kde může předat své teplo pomocí výměníku tepla. Chladné médium pak proudí zpět do kolektoru, kde dochází k jeho opětovnému ohřívání.

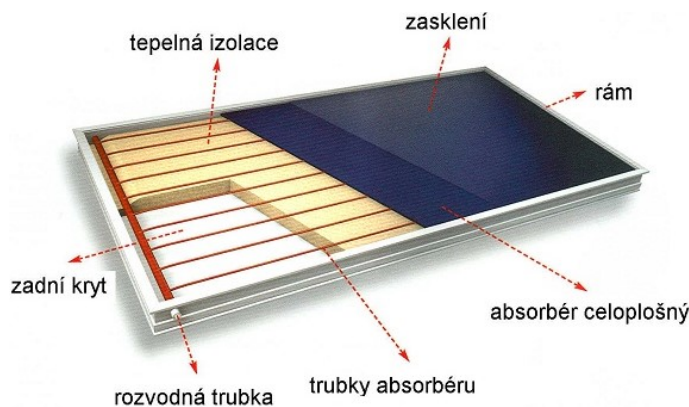
Tímto způsobem se voda v zásobníku postupně zahřívá, aniž by bylo nutné používat fosilní paliva nebo elektrickou energii. Tento mechanismus umožňuje efektivní využití sluneční energie pro zajištění teplé vody pro domácnosti a další účely s minimálním dopadem na životní prostředí.

1.1.1 Popis solárních kolektorů

Solární kolektory jsou nejčastěji využívány pro ohřev teplé vody, ohřev vody v bazénech nebo jako podpora ve vytápění s nízkoteplotním otopným systémem (podlahové topení, stěnové vytápění a stropní vytápění). Kolektorů existuje více druhů provedení ale ty jsou vhodnější pro specializované (konkrétní) účely. V praxi jsou dnes pro běžně instalované systémy do rodinných/bytových domů nejrozšířenější dva typy: plochý a trubicový kolektor [3].

1.1.2 Plochý solární kolektor

Jako první je popsán plochý solární kolektor, který se skládá z 5 základních částí. Skladbu takového kolektoru lze vidět na obrázku 1.1.



Obrázek 1.1: Skladba plochého solárního kolektoru [4]

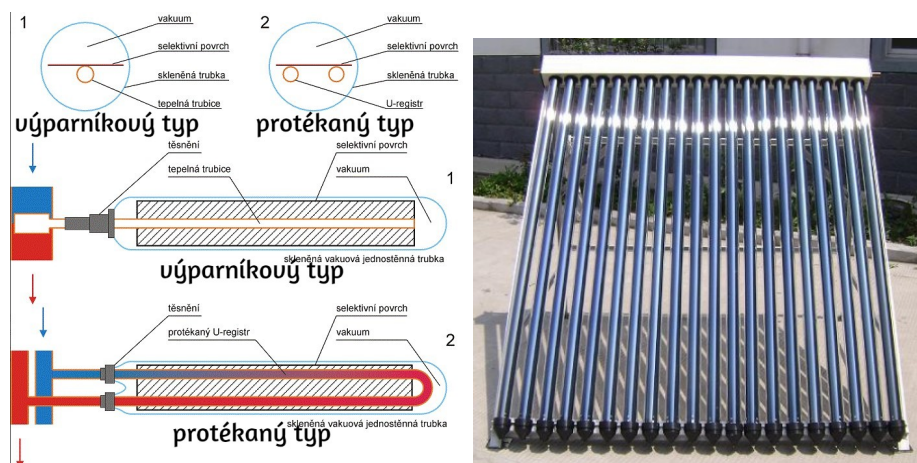
První částí solárního kolektoru je jeho rám a zadní kryt, které tvoří základní nosný prvek. Tyto části jsou obvykle vyrobeny jako plechové výlisky ze dvou kusů, což zajistí jejich těsnost proti vlhkosti a tak chrání vnitřní části kolektoru před degradací. Tato struktura vytváří jakousi "vanu", do které se následně instaluje tepelná izolace. Ta minimalizuje tepelné ztráty na zadní straně kolektoru, což vede ke zvýšení tepelné účinnosti.

Nejdůležitější součástí kolektoru je tepelně vodivý absorbér, který pokrývá celou plochu. Na něj je nalisován nebo navařen trubkový registr, který slouží k proudění teplotnosné kapaliny. Kolektoru pak dodává schopnost efektivně přeměňovat sluneční energii na teplo.

Posledním dílem je krycí solární sklo, které plní dvě důležité funkce. Zaprvé omezuje tepelné ztráty sáláním, protože je nepropustné pro dlouhovlnné záření. Zároveň vytváří před absorbérem vzduchovou vrstvu, která slouží jako tepelný odpor mezi absorbérem a okolním prostředím. Tím se celkově zvyšuje účinnost solárního kolektoru.

1.1.3 Trubicový solární kolektor

Druhým typem je trubicový solární kolektor, jehož základním prvkem jsou skleněné trubice, ve kterých byl během výroby vytvořen velmi nízký tlak, resp. vysoké vakuum. Tyto trubice se dále dělí na dva typy provedení. V prvním typu protéká teplotnosná látka přímo vlastní trubicí. Ve druhém typu je absorpční plocha vodivě spojena s výparníkem, ve kterém se vypařuje pracovní látka. Oba typy jsou vyobrazeny na levé části obrázku 1.2.



Obrázek 1.2: Skladba a celý vakuový trubicový kolektor [4, 5]

Princip protékaného typu kolektoru je velmi podobný tomu plochému, jen je v trubicovém provedení. Tepelné trubice s výparníkem mají poněkud jiný princip fungování. Sluneční záření způsobí odpaření pracovní látky ve výparníkové části trubice. Vzniklá pára přirozeně stoupá do vrchního kondenzačního prostoru, kde zkondenzuje zpět na kapalinu a opět se stéká do výparníkové části. Při této změně skupenství z páry na kapalinu se uvolňuje značné množství tepla, které odvádí teplotnosná látka v kondenzační části. Takto se celý proces opakuje stále dokola [6].

Trubicový solární kolektor se pak skládá z několika skleněných vakuových trubic, uvnitř kterých se nacházejí zmíněné tepelné trubice s výparníkem nebo absorbéry s přímým průtokem. Celý kolektor je vidět na pravé části obrázku 1.2.

1.1.4 Porovnání

Různé konstrukce obou typů solárních kolektorů vedou k odlišným vlastnostem a chování těchto kolektorů v určitých podmínkách. Hlavní rozdíl spočívá v ploše, kterou oba kolektory využívají k zachycení slunečního záření a způsobu jejich izolace. Plochý kolektor využívá až 90 % své celkové plochy k zachycení paprsků, zatímco u kolektoru trubcového typu to činí pouze zhruba 50 %. Naopak co se týče izolačních vlastností, je výhodnější trubcový kolektor, jelikož využívá princip vakua [6].

Příliš vysoká izolační schopnost u trubcových kolektorů je jednou z jejich hlavních nevýhod, jelikož brání úniku tepla do okolí tak dokonale, že když kolektor pokrývá vrstva sněhu, je mimo provoz, dokud sníh sám neroztaje. Zatímco ploché kolektory díky horší tepelné izolaci dokáží sami rozpustit vrstvu sněhu, která je pokrývá [6].

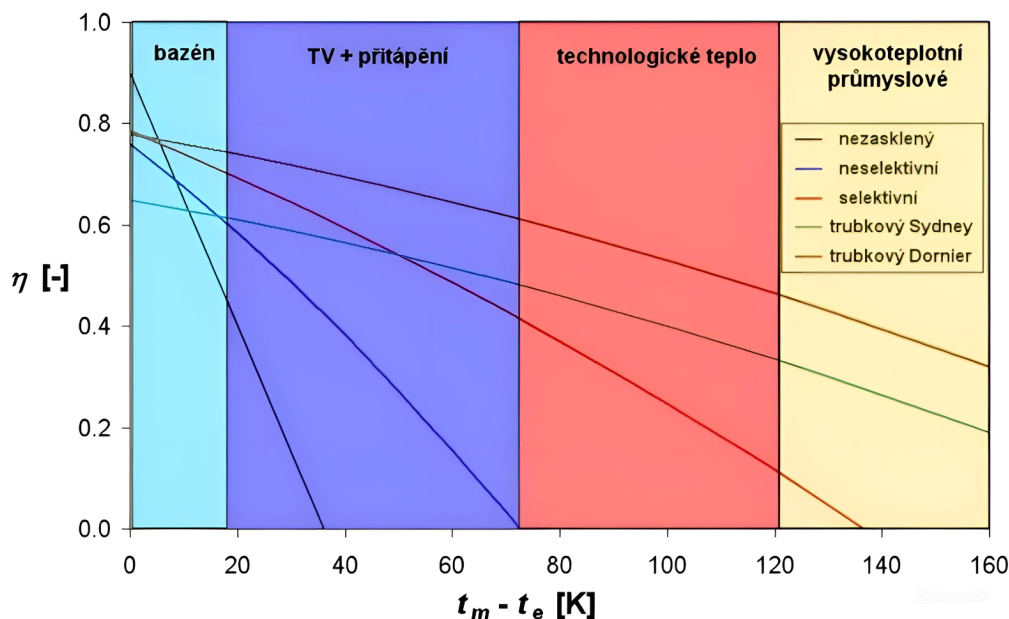
Další nevýhodou trubcových kolektorů je nemožnost obnovení vakua v trubcích, které vlivem poškození a degradace mohou během několika let přijít o svoji izolační schopnost. Obecně lze říct, že trubcové kolektory dosahují vyšších tepelných zisků i při nižších teplotách okolního prostředí oproti plochým kolektorům. Přes jejich dvě základní nevýhody jsou ale stále častěji používanějším typem ploché deskové solární kolektory [6].

1.1.5 Srovnání účinnosti solárních kolektorů

Účinnost solárního kolektoru η závisí na venkovních klimatických podmínkách (sluneční ozáření G , venkovní teplota t_e) a provozních podmínkách (střední teplota teplotnosné kapaliny t_m). Měří se experimentální zkouškou dle ČSN EN 12975, jejíž výsledkem je křivka 2. řádu ve tvaru:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_e}{G} - a_2 \frac{(t_m - t_e)^2}{G} \quad (1.1)$$

Tato křivka ukazuje, jak se účinnost kolektoru mění s teplotním rozdílem mezi teplotnosnou kapalinou a okolím. Hlavními parametry křivky jsou optická účinnost (η_0), lineární součinitel tepelné ztráty (a_1) a kvadratický součinitel tepelné ztráty (a_2). Optická účinnost vyjadřuje schopnost kolektoru přeměňovat sluneční záření na teplo při nulovém teplotním rozdílu, zatímco a_1 a a_2 vyjadřují tepelné ztráty kolektoru. V grafu na obrázku 1.3 jsou znázorněny typické křivky účinnosti základních druhů solárních kolektorů, vyjádřené v závislosti na teplotním rozdílu pro hodnotu slunečního ozáření $1000W/m^2$.



Obrázek 1.3: Typické křivky účinnosti různých druhů solárních kolektorů [7]

Z grafu účinnosti je patrné, že nezasklené kolektory mají vysokou optickou účinnost, ale také vysoké tepelné ztráty, které jsou především způsobeny rychlostí proudění okolního vzduchu (větrem). Naopak, kvalitní solární kolektory s nízkými tepelnými ztrátami, (selektivní absorbéry, vakuové kolektory) si udržují vyšší účinnost i při rostoucím teplotním rozdílu. V grafu jsou také vyznačeny typické rozsahy provozních teplotních rozdílů mezi teplotou kapaliny a okolním vzduchem v základních aplikacích.

Typické použití různých kolektorů vyplývá z porovnání křivek jejich účinnosti: nezasklené kolektory jsou vhodné pro sezónní ohřev bazénové vody, zatímco pro přípravu teplé vody a vytápění jsou vhodné trubkové vakuové kolektory a atmosférické ploché kolektory. Pro průmyslové aplikace s vysokými provozními teplotami jsou nejvhodnější kolektory s velmi nízkou tepelnou ztrátou, jako jsou trubkové vakuové nebo kvalitní koncentrační kolektory.

1.2 Rešerše existujících technologií a systémů

Systémy se solárními kolektory k ohřevu vody využívají jako hlavní zdroj sluneční energii. To je jednoduchý a účinný způsob jak v budovách snížit náklady na ohřev vody. Solární kolektory tak představují moderní a udržitelný způsob získávání tepla, který spojuje komfort s ohleduplností k naší planetě. Pro dosažení optimálního a efektivního solárního systému na ohřev vody je klíčové mít kvalitní regulaci, jelikož ta zabezpečuje chod a optimální nastavení celého solárního systému. Zařízení starajícím se o tuto funkci jsou solární regulátory, které lze rozdělit do dvou skupin - na primitivní a inteligentní.

Do jednoduchých může například patřit regulátor STDC-E nebo SRS1-T. Ty jsou schopné spravovat regulaci menších solárních systémů, často dodatečně instalovaných jako doplněk k existujícímu topnému systému. Tyto regulátory jsou schopny řídit pouze solární systémy, které obsahují pouze jedno pole kolektorů a jeden solární spotřebič. Řízení takových regulátorů probíhá na základě jednoduchého porovnávání jejich vzájemných teplot a většinou neobsahují veliký počet přídatných funkcí a možnosti inteligentního nastavování parametrů instalované soustavy.

Tato práce se však zabývá podrobnějším fungováním solárních termických systémů, a proto se zaměřuje na inteligentní a propracované regulační jednotky. Tyto systémy se vyznačují schopností provádět pokročilé regulační zásahy a řídit solární systémy s větším počtem polí kolektorů a solárních spotřebičů. Kromě toho zvládají pokročilejší ovládání výstupních prvků, jako je například PWM řízení oběhových čerpadel, a bývají kompatibilní s řízením celého topného systému, pokud již tento prvek není integrován přímo do regulátoru.

Dále se tato kapitola zaměřuje na posouzení a srovnání tří vybraných regulátorů dostupných na českém trhu a jednoho regulátoru ze zahraničí. Srovnání regulátorů na českém trhu vychází z informací z předchozího projektu, které byly rozšířeny o data zahraničního regulátoru.

1.2.1 EnergyFace x422



Obrázek 1.4: Solární řídicí jednotka EnergyFace x422 [8]

Jednotka EnergyFace od výrobce PROPULS SOLAR s.r.o. nabízí komplexní řízení solárních a fotovoltaických systémů spolu s dalšími topnými systémy jako jsou kotle na dřevo, plynové kotle, tepelná čerpadla a sálavé stropní panely. Systém umožňuje i ovládání kombinací těchto různých tepelných zdrojů. Jednotka EFx422, která je v práci popsána, je vybavena programem pro řízení solárního systému, ohřevu bazénu a automatického kotle nebo kamen s ručním přikládáním. Nabízí osm regulačních schémat pro základní nastavení, umožňuje připojení až dvou polí kolektorů a dvou solárních spotřebičů včetně ohřevu bazénu s řízením filtrace. Jednotka disponuje funkcemi zahrnující výpočet tepla vyrobeného solárním systémem, detekci omezeného průtoku zanesením filtru nebo zavzdušněním, ochranu proti zamrznutí a přehřátí solárních kolektorů, vychlazování zásobníků, zobrazení přehledových schémat a grafů teplot a možnost vzdálené správy a obsluhy přes internetové připojení [9] [8] [10] [11].

1.2.2 TECH EU-402n PWM



Obrázek 1.5: Solární řídicí jednotka TECH EU-402n PWM [12]

Řídicí jednotka TECH EU-402n PWM, vyráběná společností TECH Controllers, je zaměřena na řízení solárních instalací a je využívána pro solární instalace prováděné firmou Solární systémy Kocián v České republice. Tato inteligentní jednotka umožňuje řízení až dvou kolektorových polí a dvou solárních spotřebičů přímo připojených k solárnímu okruhu, s možností výběru 17 přednastavených schémat. Regulátor zajišťuje práci solárních čerpadel na základě porovnání teplot kolektorů a solárního spotřebiče a umožňuje připojení dalších zařízení, jako je cirkulační čerpadlo nebo elektrické topné těleso. K regulátoru lze připojit dodatečný GSM modul pro dálkovou kontrolu a přijímání SMS zpráv v případě alarmu, a lze přidat modul s Ethernetem nebo WiFi pro vzdálený přístup. Jednotka zajišťuje ochranu před přehřátím kolektorů a spotřebičů s možností takzvaného režimu "dovolená" pro vychlazování spotřebičů. Nicméně, chybí zde funkce výpočtu vyrobeného tepla solárním systémem a zobrazování grafů teplot [13] [12] [14].

1.2.3 TWI SGC 67

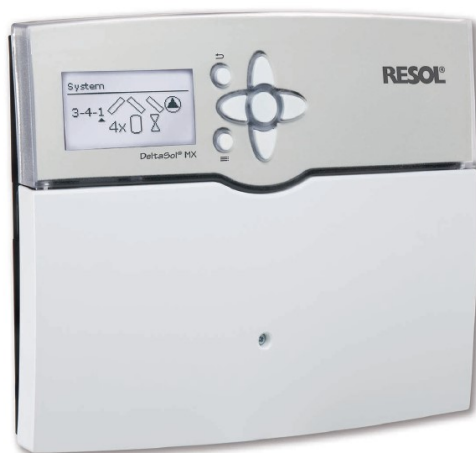


Obrázek 1.6: Solární řídicí jednotka TWI SGC 67 [15]

Řídicí jednotka TWI SGC 67, od firmy TWI s.r.o., nabízí širokou variabilitu a rozsah možností nastavení parametrů systému, což ji činí jednou z nejvíce flexibilních řídicích jednotek na trhu. I když tato rozmanitost může vyžadovat více času a úsilí pro inicializaci systému, umožňuje precizní nastavení schémat podle specifických požadavků uživatele. Jednotka dokáže zpracovat výstup ze čtyř teplotních senzorů a ohřívat tři spotřebiče z jednoho kolektorového pole, nebo dva spotřebiče při použití dvou kolektorových polí. Díky množství ovládaných výstupů a možnosti parametrizovat neobsazené výstupy lze jednotku přizpůsobit individuálním potřebám [16] [17].

Díky rozsahu a variabilitě systému zde nechybí žádné z předchozích funkcí. Naopak systém nabízí širokou škálu možností pro manuální ovládání a vypínání jednotlivých komponentů a jejich částí. Lze například přiřadit zásobníkům pořadí pro postupné ohřívání a nechat je automaticky prohazovat podle ročních období. Další zajímavou funkcí je ANTI-BLOCK, ta aktivuje každý pátek večer všechny nevyužité výstupy po dobu 10 sekund, což přispívá k prevenci potenciálního zablokování systému [18] [17].

1.2.4 DeltaSol® MX System controller



Obrázek 1.7: Solární řídicí jednotka DeltaSol® MX [19]

Regulační jednotka DeltaSol® MX System controller od společnosti Resol přináší komplexní možnosti řízení solárních a topných systémů. S touto jednotkou je možné připojit až tři solární pole a pět zásobníků, což umožňuje efektivní využití solární energie. Dále jednotka disponuje až pěti možnými variantami hydraulického zapojení s různými ovládacími výstupními prvky. Díky dvěma kompenzovaným topným okruhům a externímu výměníku tepla lze snadno integrovat solární systém do stávajícího topného systému. Regulator umožňuje kontrolu rychlosti čerpadel a podporuje vysokou flexibilitu v nastavení a konfiguraci systému. S 12 teplotními senzory a dalšími vstupy pro senzory a snímače je možné přesně monitorovat a řídit provoz solárního systému. Další funkce zahrnují měření množství tepla, funkce ochrany proti mrazu a přetížení, možnosti nastavení teplotních limitů a regulace proudění vody. Regulační jednotka DeltaSol® MX System controller poskytuje komplexní řešení pro solární ohřev vody a topení s vysokou účinností a flexibilitou v nastavení, což přispívá k optimalizaci provozu a minimalizaci negativního dopadu na životní prostředí.

1.2.5 Srovnání

Pro dosažení co nejlepšího způsobu porovnání byla v rámci projektu vytvořena strukturovaná tabulka, která sama zobrazuje klíčové parametry jednotlivých zařízení. Tato tabulka slouží jako nástroj pro přehledné a srovnatelné zhodnocení vlastností, jako jsou maximální počty kolektorů a spotřebičů, počet regulačních schémat, flexibilita systému, přidané funkce a další. Závislost na vybraných parametrech umožní rychle a přesně identifikovat, která řídicí jednotka nejlépe vyhovuje specifickým požadavkům a preferencím. Tímto systematickým přístupem lze lépe pochopit výhody a omezení jednotlivých systémů a zvolit optimální řešení pro vlastní návrh solárního řídicího systému.

Tabulka 1.1: Tabulka porovnávající řídicí jednotky pro solární ohřev

Název:	STDC-E	EFx422	Tech EU	Twi sgc	DeltaSol
maximální počet polí kolektorů	1	2	2	2	3
maximální počet spotřebičů	1	2	2	3	5
počet regulačních schémat	1	8	17	30+	47
flexibilita systému	×	×	✓	✓	✓
počet měřených teplot	3	4	4	4	12
počet vstupů a výstupů	3/2	4/4	4/4	7/6	39/45
funkce chlazení zásobníků	✓	✓	✓	✓	✓
různé hydraulické zapojení	✓	×	×	×	✓
funkce chlazení kolektorů	✓	✓	✓	✓	✓
zobrazení měřených dat	✓	✓	×	✓	✓
výpočet vyrobeného tepla	×	✓	×	✓	✓
připojení k internetu	×	✓	✓	✓	✓
prioritizace zásobníků	×	×	×	✓	✓
cena	5 336 Kč	6 490 Kč	4 622 Kč	7 450 Kč	22 123 Kč
Údaje jsou uvedeny k datu 06.01.2024 a ceny jsou včetně DPH					

Hlavním výstupem z hodnotící tabulky je, že řídicí jednotka DeltaSol® MX vyniká ve všech aspektech s výjimkou ceny. Kde je ten rozdíl oproti zbylým třem jednotkám výrazně vyšší. Na druhou stranu, pokud je potřeba řídit velký systém o třech kolektorových polích a pěti solárních spotřebičích, tak poměr ceny regulační jednotky k celkové ceně za kompletní systém nebude tak výrazně velký, jako u ostatních jednotek pro systémy o dvou kolektorových polích a dvou zásobnicích.

Na druhém místě podle tabulky skončila jednotka TWI SGC 67. Ta nabízí také velmi dobrý výčet funkcí a možností regulace. Je sice oproti zbylým dvěma jednotkám dražší, ale je však důležité poznamenat, že rozdíl mezi hodnotami je v porovnání s celkovou cenou instalace systému naprosto zanedbatelný. Z tabulky lze také odvodit další informace, například jednotky EFX422 a TECH 402n jsou si v základních parametrech velmi podobné, obě nabízejí maximálně 2 pole kolektorů a 2 spotřebiče, a mají shodný počet vstupů a výstupů.

Podle této skutečnosti lze odvodit, že oba systémy disponují podobným nebo téměř identickým počtem regulačních schémat. Nicméně vzhledem k odlišným výrobcům může být prezentace variant a jejich počtu schémat různá. Na základě ostatních parametrů lze tvrdit, že obě řídicí jednotky mají srovnatelnou flexibilitu. Klíčový rozdíl mezi nimi tedy spočívá v přidaných funkcích, kde jednotka od společnosti EnergyFace dosahuje lepších výsledků díky kvalitnějšímu zpracování měřených dat.

Po pečlivém prozkoumání a porovnání čtyř typů solárních řídicích jednotek – EnergyFace x422, TECH EU-402n PWM, TWI SGC 67 a DeltaSol® MX System controller, byly získány důležité poznatky a nápady, které vedly k návržení optimálního solárního systému s flexibilním nastavením pro jednotlivé konkrétní instalace. Každá z těchto jednotek přináší unikátní vlastnosti a funkce, které byly zohledněny při návrhu a implementaci konkrétního solárního systému pro ohřevu vody.

1.3 Popis základních funkcí solárního ohřevu

Solární ohřev je efektivním způsobem využívání sluneční energie k ohřevu vody. Klíčové funkce solárního regulátoru jsou nezbytné pro optimální provoz solárního systému. Tyto funkce budou následně popsány dále.

Monitorování teploty solárních kolektorů: Regulátor neustále sleduje teplotu solárních kolektorů a teploty ve spotřebičích. Na základě těchto dat a přednastavených schémat rozhoduje, kdy a kam je vhodné zapnout nebo vypnout oběhová čerpadla pro cirkulaci teplotnosného média, čímž je aktivován ohřev vody ve spotřebiči.

Řízení cirkulace teplotnosného média: Regulátor kontroluje rychlost cirkulace teplotnosného média v solárních kolektorech a do zásobníku vody. Pokud teplota kolektorů naznačuje dostatečné sluneční záření pro účinný ohřev vody, regulátor může zvýšit rychlost cirkulace, aby se co nejefektivněji využila sluneční energie.

Ochrana proti přehřátí: Regulátor sleduje teplotu solárních kolektorů a v případě hrozby jejich přehřátí spustí čerpadlo tak, aby byly ohřívány zásobníky nad požadovanou teplotu až do dosažení jejich maximální možné teploty. Tímto způsobem chrání solární kolektory a zajišťuje jejich dlouhodobou spolehlivost.

Komunikace a monitorování: Některé regulátory jsou vybaveny funkcemi pro komunikaci s uživatelem a monitorování provozu systému. Tyto funkce umožňují uživatelům efektivně řídit a spravovat svůj solární systém. Poskytují informace o aktuálním dění v systému, momentálních teplotách, stavu čerpadel a dalších relevantních parametrech.

Kapitola 2

Navržený systém regulace solárního ohřevu vody

V této kapitole je detailně popsán vývoj a fungování navrženého solárního systému, který vychází z analýzy informací a poznatků z předchozích částí práce a také ze zpracovaného projektu. Systém představuje komplexní strukturu, která umožňuje flexibilně volit počet kolektorových polí (1-2) a počet solárních spotřebičů (1-3) podle konkrétních potřeb uživatele.

Celkový systém lze rozčlenit do tří klíčových vývojových fází. První fáze představuje základní konfiguraci, ve které je možné ohřívat pouze jeden spotřebič z jednoho kolektorového pole. Druhá fáze zahrnuje rozšíření systému o více spotřebičů, což vyžaduje řešení prioritizace ohřevu mezi jednotlivými spotřebiči. Poslední, třetí fáze, představuje rozšíření o další kolektorové pole a umožňuje tak efektivní využití dvou solárních zdrojů současně.

2.1 Popis fungování systému

V této části je detailně analyzována každá vývojová fáze systému, včetně jeho principů fungování. Na základě této analýzy je poskytnut ucelený pohled na navržený solární systém pro ohřev vody a jeho potenciál v praxi.

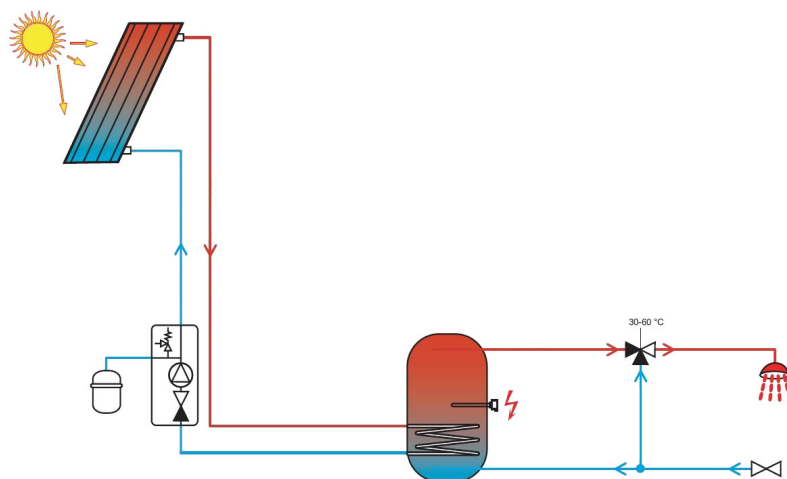
Pro správné fungování systému je klíčové vybrat vhodné schéma instalace ze všech možných variant. Tato volba zahrnuje určení počtu kolektorových polí a spotřebičů, které budou součástí systému. Kromě toho je důležité definovat pořadí ohřevu pro každý ze spotřebičů.

Nastavení jednotlivých parametrů pro konkrétní zařízení je dalším zásadním krokem. Těmito parametry mohou být například požadované a maximální teploty ve spotřebičích, spínací a vypínací hranice teplot pro spuštění oběhového čerpadla, maximální a kritické teploty pro solární kolektory, či hystereze pro všechny teplotní hodnoty.

Uživatel, nebo v praxi spíše odborný technik, má tak možnost ručního nastavení všech parametrů. Tím je zajištěna flexibilita a přizpůsobivost systému potřebám konkrétních uživatelů. Zvolené schéma a nastavení parametrů určují, jak systém pracuje. Buď v jednotlivých fázích nebo v jejich kombinacích.

První fáze

Jedná se o jednoduchý systém, který se skládá z jednoho pole solárních termických kolektorů a jednoho solárního spotřebiče. Schématickou podobu systému lze vidět na obrázku 2.1.



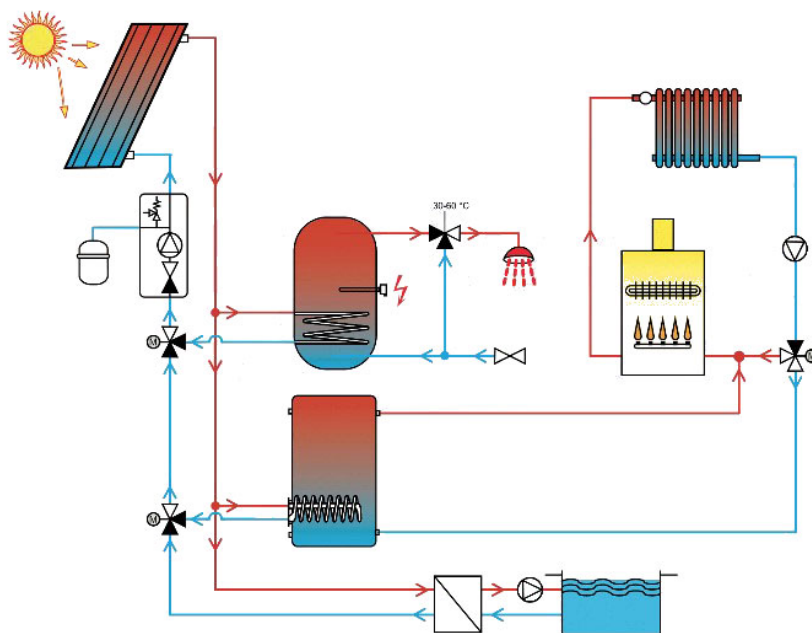
Obrázek 2.1: Schéma systému o jednom kolektorovém poli a jednom spotřebiči [20]

V této fázi funguje systém tak, že vyhodnocuje rozdíl teploty mezi kolektory a spotřebičem. Pokud tento rozdíl překročí nastavenou hodnotu, dojde k sepnutí jediného výstupního prvku a tím je oběhové čerpadlo, což má za následek ohřev vody ve spotřebiči. Tím také začne klesat teplota uvnitř kolektorů a tím také začne klesat teplotní rozdíl. Když klesne pod nastavenou spodní mez, dojde k vypnutí oběhového čerpadla. To způsobí ustálení teploty v kolektorech, která se může následně zase začít ohřívat a umožnit opětovný nárůst rozdílu nad spínací mez.

Takto systém neustále přepíná ohřev vody do doby, než bude ve spotřebiči dosaženo maximální (požadované) teploty. K přerušení ohřevu může také dojít při zatažení oblohy nebo v noci, kdy teplota v kolektorech prudce klesá k teplotě okolního vzduchu. Proto je nutné čekat na východ slunce, kdy se opět začne ohřívat voda uvnitř kolektorů.

Druhá fáze

Tato fáze solárního systému pro ohřev vody nabízí možnost využití dvou nebo tří spotřebičů, přičemž určení pořadí ohřevu probíhá na základě přidělení priorit jednotlivým spotřebičům. Podobu takového systému lze vidět na obrázku 2.2, kde jsou tři solární spotřebiče (zásobník teplé vody, akumulční nádrž pro vytápění a bazén). Pro systém o třech spotřebičích jsou výstupními ovládacími prvky nejen oběhové čerpadlo ale i dva třícestné ventily. V případě dvou spotřebičů by bylo použito o jeden třícestný ventil méně.



Obrázek 2.2: Schéma systému o jednom kolektorovém poli a třech spotřebičích [20]

Přidělení priorit zásobníkům ovlivňuje nejen pořadí jejich ohřívání, ale také určuje jejich důležitost a primárnost v celém systému. Pokud je nějakému spotřebiči přiřazena priorita 1, systém se bude snažit upřednostnit ohřev tohoto spotřebiče. To i v případě, že už dřív splnil teplotní podmínky pro ohřev jiného spotřebiče.

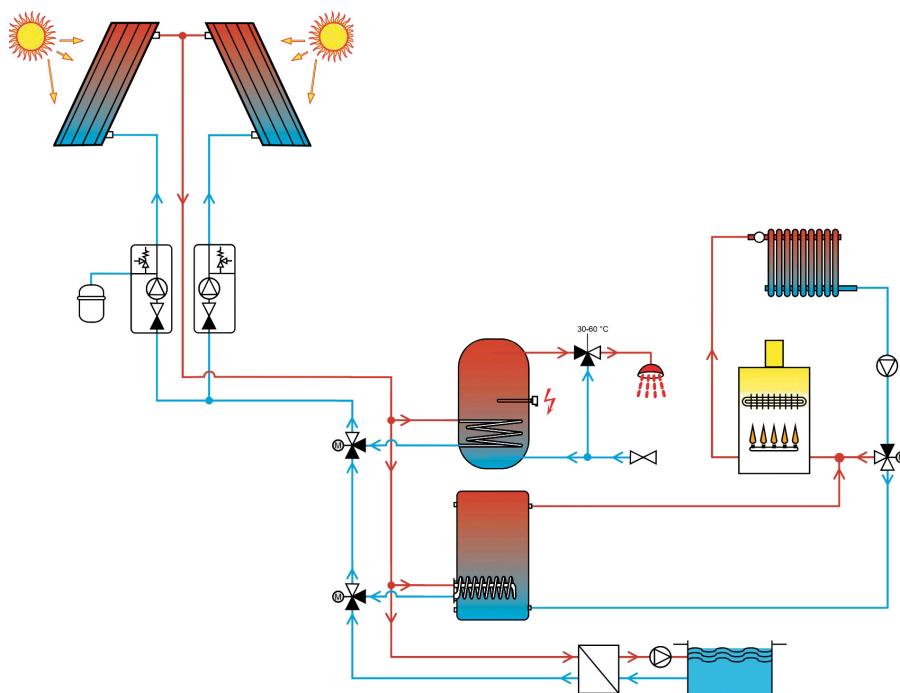
Rozhodování je založeno na měření nárůstu teploty na kolektoru. Když je oběhové čerpadlo vypnuté a kapalina v soustavě ustálena, systém sleduje, jak rychle se teplota na kolektoru zvyšuje. Výsledkem je hodnota teplotního přírůstku za definovaný časový úsek. Pro každý spotřebič jsou předem stanoveny limity pro porovnávání s nárůstem teploty na kolektoru. V případě, že naměřený gradient překročí limit prioritního spotřebiče, je zde předpoklad, že je sluneční záření tak silné, aby mohlo dojít k ohřátí solárního kolektoru nad spínací hranici u primárního spotřebiče. Měření a vyhodnocování nárůstu probíhá do doby začátku ohřevu daného spotřebiče na základě splnění podmínek, které zahrnují, podobně jako u první fáze, hlídání překročení spínací meze rozdílem teplot mezi kolektorem a spotřebičem.

Když však měřený gradient na kolektoru klesne pod stanovenou hranici prioritního spotřebiče, systém analyzuje možnost ohřevu ostatních spotřebičů. Pak podle jejich přidělených priorit zahájí časově omezený ohřev zvoleného neprioritního spotřebiče. Po uplynutí časového limitu systém opět začne monitorovat nárůst teploty na kolektorech a dochází ke stejnému vyhodnocování, které už bylo uvedeno výše.

Třetí fáze

Tato varianta umožňuje připojení druhého kolektorového pole na střechu, což může být užitečné při instalaci na sedlovou střechu orientovanou na východ a západ. Díky této variantě lze dosáhnout rovnoměrného rozložení zisků solární energie během celého dne.

Každé kolektorové pole má své vlastní oběhové čerpadlo, které je připojeno na přívod do kolektorů. Výstupy z kolektorů jsou pak spojeny do společného okruhu solárních spotřebičů, podobně jako u předchozích fází. Schématické zapojení je uvedeno na obrázku 2.3, kde jsou připojeny stejné tři spotřebiče jako v předchozím příkladu.



Obrázek 2.3: Schéma systému o dvou kolektorových polích a třech spotřebičích [20]

Princip určování, který spotřebič má být v jakém okamžiku ohříván, zůstává stejný jako u předchozích fází, avšak přidává se další hodnota teploty na kolektorech. To znamená, že se sleduje druhý teplotní rozdíl a také druhý teplotní nárůst, které jsou potřeba porovnávat se spínacími mezemi. U systému s více kolektorovými poli nedochází k prioritizaci jednoho pole před druhým. Vždy se sepne to oběhové čerpadlo, pro které jsou splněny spínací meze mezi kolektorovým polem a daným spotřebičem.

Je důležité mít na paměti, že v solárním systému může existovat pouze jedna otevřená cesta k jakémukoliv spotřebiči. To znamená, že pokud probíhá ohřev z prvního kolektorového pole do prvního spotřebiče, nemůže se současně spustit ohřev mezi druhým kolektorovým polem a druhým nebo třetím spotřebičem, i kdyby byly splněny podmínky pro tento proces. Pokud však podmínky pro ohřev stejného spotřebiče splní i druhé kolektorové pole, dojde k sepnutí i druhého oběhového čerpadla. Obě pole pak budou pracovat současně, a pokud jedno z polí ztratí podmínky pro sepnutí, vypne se, zatímco zbylé pole může stále pokračovat v ohřevu.

2.2 Přehled nadstandardních funkcí

Je důležité si uvědomit, že solární kolektory nejsou spínané zdroje, ale fungují podle toho, jak na ně dopadá sluneční záření. Pokud na ně slunce svítí delší dobu a regulace nezajistí sepnutí oběhu, a tím odvod tepla z kolektorů, může během několika málo minut dojít k jejich přehřátí. Z toho důvodu by měl systém kromě hlavního fungování ohřevu vody také disponovat doplňujícími funkcemi, které fungují bez ohledu na to o jaké zapojení systému se jedná. Tyto funkce pak systému přináší ochranu jednotlivých zařízení, úspory a také celkové zlepšení jeho fungování.

Chlazení kolektorů

Jedním z klíčových prvků pro ochranu solárních kolektorů je jejich chlazení, které má za cíl předejít jejich přehřátí. Pokud by totiž nebylo včas zajištěno efektivní chlazení, mohlo by dojít k vypařování solární kapaliny uvnitř kolektorů. Pro prevenci přehřátí se používá monitorování teploty uvnitř kolektorů, a když se teplota blíží k maximální pracovní hodnotě, spouští se oběhové čerpadlo, které odvádí nadbytečné teplo do spotřebičů až do jejich maximálního teplotního bodu.

Některé solární spotřebiče, například bazény, by neměly být přehřívány. Proto by funkce měla umožňovat individuální nastavení pro každý spotřebič, zda může být přehříván nebo ne. Tím se zajistí, že budou zohledněna bezpečnostní hlediska pro každý konkrétní spotřebič.

Chlazení spotřebičů

Další funkcí je chlazení samotných spotřebičů, které udržuje jejich teplotu na bezpečné úrovni. Nedostatečné chlazení může zvýšit riziko popálení uživatelů a omezit schopnost systému efektivně využívat sluneční energii pro ohřev vody. Tato funkce neustále monitoruje teploty ve spotřebičích a kolektorech. Když teplota ve spotřebiči přesáhne maximální hodnotu a teplota v kolektoru je nižší o požadovaný rozdíl, sepne se oběhové čerpadlo. V tomto okamžiku solární kolektory fungují jako chladiče a přebytečné teplo je odvedeno do okolního vzduchu. Pokud systém obsahuje více spotřebičů, chlazení probíhá od nejméně prioritního spotřebiče k tomu nejvíce prioritnímu. Očekává se totiž, že z primárního spotřebiče bude teplo odebíráno jako první, a proto je důležité udržet ho jako nejteplejší spotřebič v systému. Funkce je obzvláště užitečná v letních měsících, kdy jsou přebytky solární energie vyšší a domácnosti bývají často opuštěny. Například během dovolené, kdy navíc v systému nedochází k žádnému odběru teplé vody.

Sezonní vypnutí spotřebiče

Možnost sezonního vypnutí spotřebiče umožňuje uživateli pro zařízení jako je venkovní bazén nebo předeřev pro vytápění, jednoduše a flexibilně ovládat chod systému. V zimním období může být vyhřívání bazénu zbytečné, a tato funkce umožňuje systému ignorovat tento spotřebič. Když si uživatel později přeje znovu vyhřívát bazén, stačí pouze zapnout spotřebič a systém ho opět začlení do režimu ohřevu.

U sezonního vypnutí systém stále počítá se spotřebičem při provozu bezpečnostních funkcí. Například funkce předeřevu pro vytápění může být v letním období vypnuta, ale systém stále může ukládat přebytečné teplo do takového spotřebiče. U bazénu však tato možnost není aplikovatelná, protože systém z bezpečnostních důvodů zabraňuje jeho přehřívání.

Servisní vypnutí spotřebiče

Funkce servisního vypnutí spotřebiče umožňuje systému úplně ignorovat vybraný spotřebič a zachovat se tak, jako by nebyl vůbec zapojen. Tímto způsobem systém i při poruše či údržbě na tomto spotřebiči může nadále fungovat. To umožňuje servisu provádět zásah na dálku již dříve, než se technik dostaví na místo opravy.

Měření množství vyrobeného tepla

Tato funkce poskytuje uživateli informace o množství vyrobeného tepla ze solárních kolektorů. Většinou však instalované systémy nepoužívají kalorimetr, a proto je hodnota aktuálního průtoku získávána pomocí IPWM signálu z oběhových čerpadel. To může vést k vysoké odchylce od skutečné hodnoty vyrobeného tepla. I přesto však může být tato informace užitečná pro uživatele jako indikátor funkčnosti systému. Pokud by například hodnota vyrobeného tepla za slunečného dne odpovídala hodnotě za zataženého, deštivého dne, může to naznačovat problém se systémem, který je potřeba prověřit.

Zde se otevírá možnost rozšíření systému o senzor slunečního osvětlení. Kde pokud by po několika dnech po sobě byla zaznamenána nesrovnalost mezi slunečním osvětlením a množstvím vyrobeného tepla, mohlo by to sloužit jako upozornění na snížení výkonu a signál k prověření funkčnosti systému.

Rozpouštění sněhu na kolektorech

Funkce umožňuje manuálně spustit solární čerpadlo s cílem rozpustit sníh pokrývající solární kolektory. Režim je aktivní po dobu určenou uživatelem a poté se regulátor vrátí do automatického provozu. Uživatel má možnost vybrat, z jakého spotřebiče bude teplo využito. Nicméně je zde spouštěcí podmínka ohledně minimální teploty a servisního povolení pro zvolený spotřebič. Funkci je také možné předčasně vypnout nebo ji pro zvýšení bezpečnosti úplně zakázat nebo skrýt pro konkrétního uživatele.

Externí výměník

Funkce umožňuje provoz spotřebiče s externím výměníkem. To znamená řízení dalšího oběhového čerpadla při spuštění ohřevu tohoto spotřebiče. Zároveň tato funkce zajišťuje protimrazovou ochranu výměníku. Pokud teplota ve výměníku klesne pod stanovenou mez spustí se přídatné oběhové čerpadlo, které ohřeje výměník pomocí tepla z připojeného spotřebiče. Vzhledem k tomu, že při proudění tepla z kolektorů do výměníku dochází k dopravnímu zpoždění, může zůstat ve výměníku po vypnutí solárního čerpadla stále dost tepla. Proto lze prodloužit dobu sepnutí přídatného čerpadla, pokud je teplotní rozdíl mezi výměníkem a spotřebičem dostatečný.

Bezpečnostní funkce proti přehřívání systému

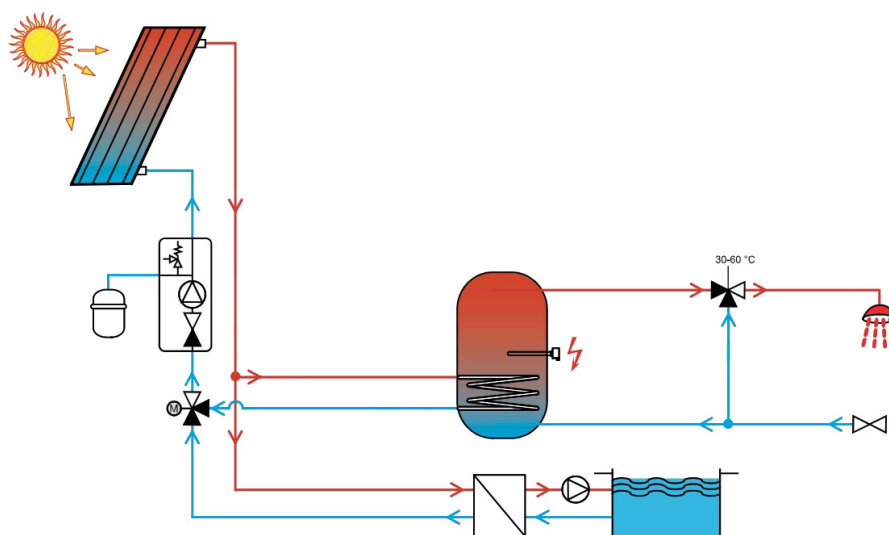
Systém bude schopný pracovat s aktivovaným režimem "dovolená" ze strany uživatele, kde se během tohoto režimu bude očekávat minimální spotřeba tepla v domácnosti. Navíc pokud by "dovolená" probíhala v letních měsících, lze očekávat vysoké tepelné přebytky, kvůli kterým bude docházet k velkému přehřívání solárních spotřebičů. Systém tedy bude maximalizovat účinnost jejich vychlazování, tj. chladit od nejteplejšího spotřebiče k co nejnižším teplotám bude možné. Tím se zajistí, že spotřebiče budou mít dostatečnou kapacitu pro uložení tepla z kolektorů na další den a tím se minimalizuje riziko jejich přehřátí, což může pozitivně ovlivnit životnost kolektorů a připojených součástí.

2.3 Vývojový diagram

Tato část je zaměřena na popis fungování navrženého solárního systému pomocí vývojového diagramu. Diagram vychází z důkladného zkoumání technických parametrů, variant systémů a popisu jeho struktury. Získané informace z předchozích kapitol, odborných článků, literatur, a také zpracovaného projektu, mají za cíl poskytnout hlubší vhled do vývoje systému a jeho klíčových prvků. Takováto vizualizace může pomoci lépe pochopit jak spolu jednotlivé části systému komunikují a jaké operace se kdy provádějí. Tyto vzájemné interakce jsou důležité pro budoucí realizaci řídicího programu.

2.3.1 Popis typické sestavy systému

Z důvodu rozmanitosti možností sestavení konkrétního systému jsem pro vyobrazení diagramu zvolil typickou a často instalovanou konfiguraci. Ta obsahuje systém o jednom poli solárních kolektorů a dvou solárních spotřebičích. Jedno pole se obvykle sestává ze dvou solárních kolektorů. Spotřebičům se přiřazuje jejich priorita v systému. Jako důležitější (primární) bývá zvolen zásobník pro ohřev teplé vody a roli vedlejšího (sekundárního) zastává výměník pro ohřev vody v bazénu. Celý systém je pak řízený solárním regulátorem. Pro lepší představu o podobě sestavy je schéma systému vidět na obrázku 2.4.



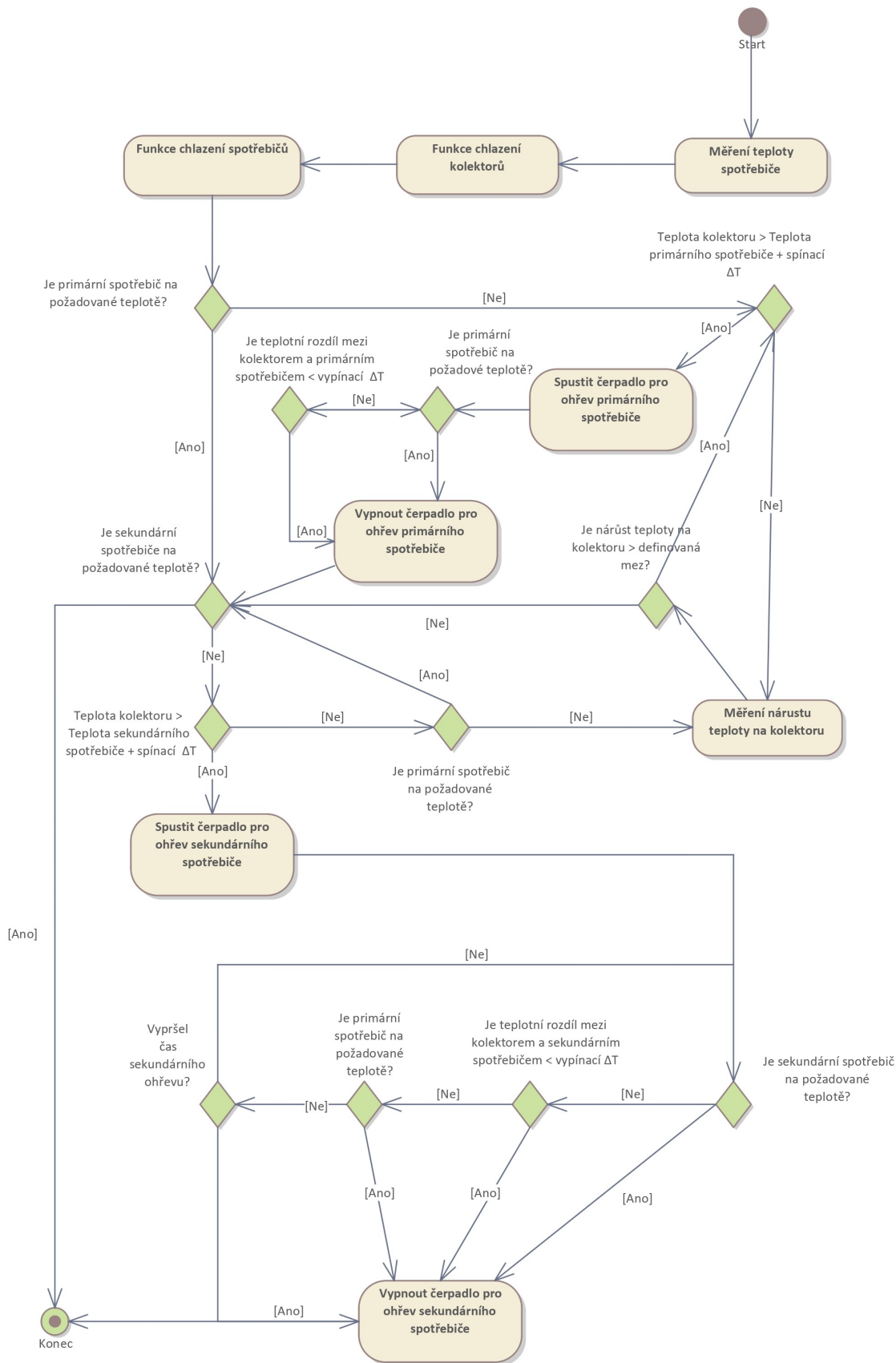
Obrázek 2.4: Schéma typické sestavy solárního systému [20]

2.3.2 Popis vývojového diagramu

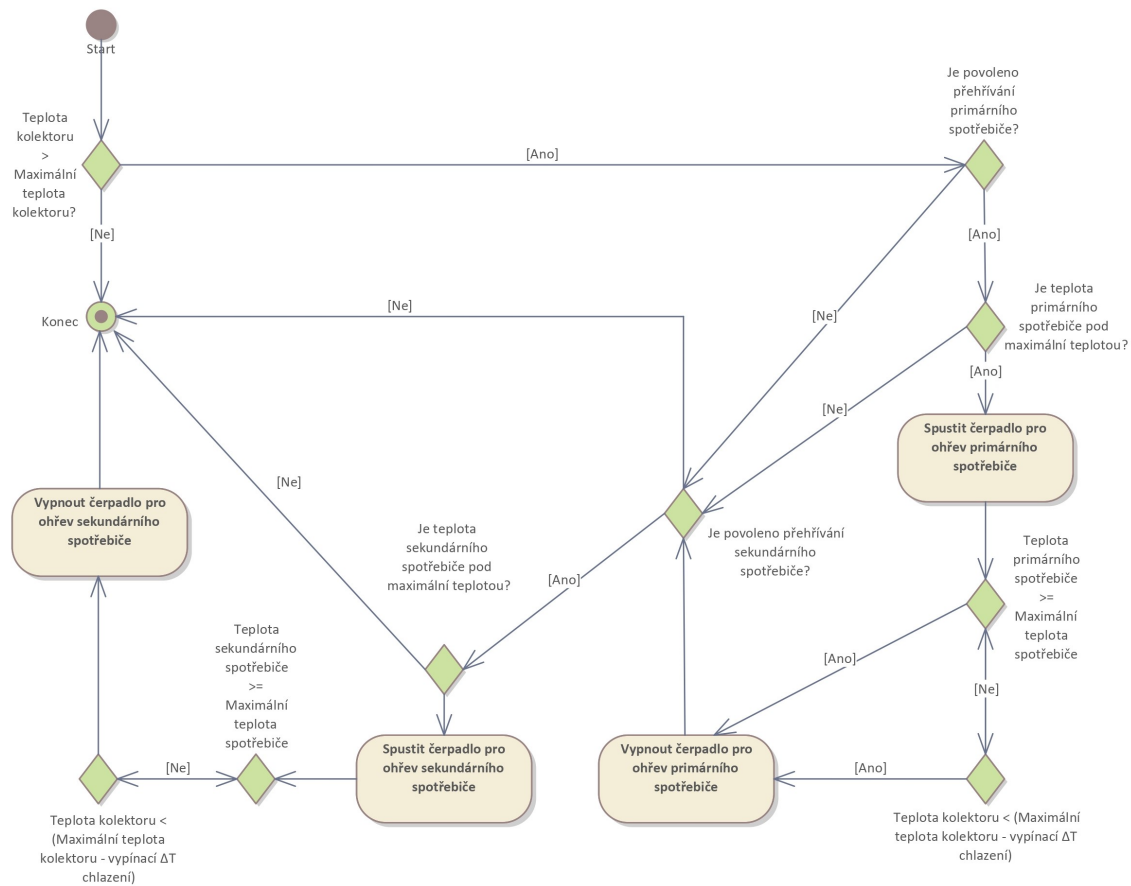
V první řadě je nezbytné popsat celý proces a definovat všechny možné stavy, které by mohly nastat. K tomu lze využít grafické znázornění pomocí vývojového diagramu. Tento diagram nám umožňuje zobrazit logiku fungování systému solárního ohřevu vody pro typickou konfiguraci. Proces začíná měřením teploty kolektorů a spotřebičů. Následně prochází funkcemi chlazení spotřebičů a kolektorů.

V diagramu je také znázorněno, jak jsou přiřazeny priority jednotlivým spotřebičům. Diagram tedy pracuje s pevně daným pořadím, podle kterého se ohřívají jednotlivé spotřebiče. Podrobnější informace o základním principu fungování lze nalézt v předchozí podkapitole o druhé fázi, viz 2.1.

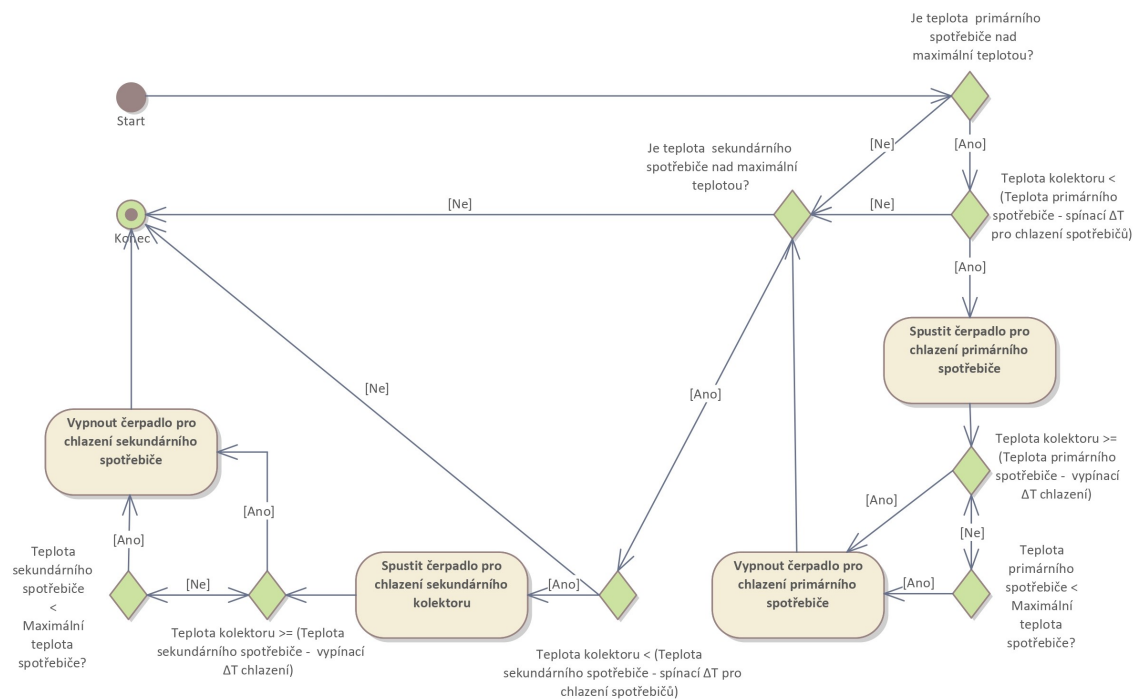
Z důvodu přehlednosti byly funkce chlazení spotřebičů a kolektorů zpracovány do vlastních vývojových diagramů. Hlavní vývojový diagram, znázorněný na obrázku 2.5, se v úvodu odkazuje na diagram pro chlazení spotřebičů, který lze vidět na obrázku 2.7, a na diagram pro chlazení kolektorů, ten je na obrázku 2.6.



Obrázek 2.5: Vývojový diagram typicky instalovaného systému [21]



Obrázek 2.6: Vývojový diagram funkce chlazení kolektorů [21]



Obrázek 2.7: Vývojový diagram funkce chlazení spotřebičů [21]

Vytvořené vývojové diagramy poukazují na provázanost a fungování navrženého solárního systému. Tato vizualizace slouží nejen jako nástroj pro analýzu a návrh, ale také jako prostředek pro lepší pochopení celého procesu, který je na pozadí solárního ohřevu vody. Každý krok a akce jsou definovány a umožňují tak jasnější chápání operací probíhajících uvnitř solárního systému. Jeho jedinečnost také spočívá v možnosti adaptace na různé konfigurace systémů. Přestože byla vybrána typická konfigurace pro názorné představení, tak diagram je do jisté míry flexibilní a umožňuje přizpůsobit jednotlivé kroky a procesy podle konkrétních požadavků a potřeb instalace.

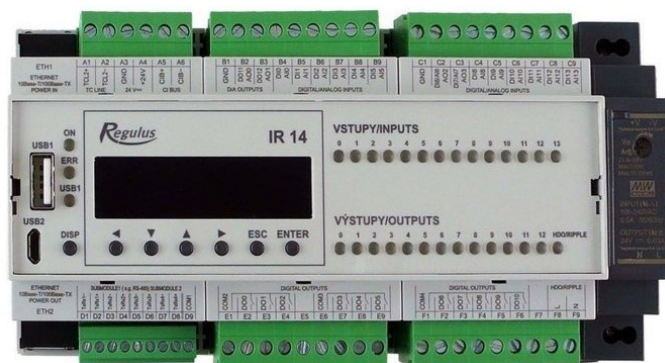
Představením vývojového diagramu bylo ukázáno, že solární ohřev vody není pouze o technologiích, ale také o jeho zdokonalování v procesech a hledání optimálních řešení. Tato kapitola slouží jako důležitý krok směrem k reálnému vytvoření efektivního a udržitelného solárního systému pro ohřev vody.

Kapitola 3

Implementace systému do hlavní řídicí jednotky

3.1 Představení jednotky IR14

Hlavní řídicí jednotka je klíčovou komponentou každého sofistikovaného solárního termického systému. V této práci se zaměřím na implementaci systému do hlavní řídicí jednotky IR 14 od firmy Regulus. Ta je upravenou verzí PLC Foxtrot 2 CP-2007 vyrobenou firmou Teco a.s.. Programovatelný logický automat (PLC) je digitální počítač používaný pro automatizaci průmyslových procesů. Jednotka IR 14 nabízí předdefinované vstupy a výstupy, což usnadňuje integraci a optimalizaci solárních systémů pro ohřev vody. Řídicí jednotku firmy Regulus lze vidět na obrázku 3.1



Obrázek 3.1: Hlavní řídicí jednotka IR 14 [22]

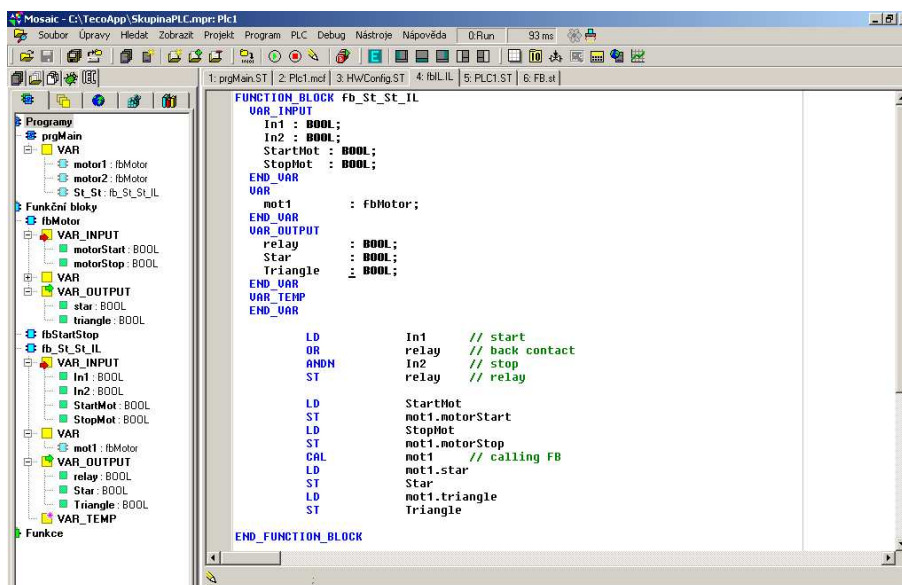
Jednotka IR 14 je regulátor topné soustavy, který zvládne obsloužit až šest otopných zón se směšovacími ventily a připravit teplou vodu pomocí tepelného čerpadla nebo doplňkového zdroje. Disponuje 11 analogovými vstupy pro měření teplot pomocí teplotních čidel Pt 1000, analogovým vstupem pro snímač tlaku (4-20 mA) a vstupem pro signál HDO. Kromě toho obsahuje 11 reléových výstupů a dva PWM/0-10 V výstupy pro plynulé řízení [23] [24].

Jednotka IR 14 je také vybavena vestavěným web serverem pro vzdálený přístup přes PC nebo chytrý telefon. Součástí dodávky je microSD karta o kapacitě 32 GB pro ukládání provozních hodnot a 15W zdroj napětí 24 V DC. Jednotka je kompatibilní se softwarem Mosaic, vyvinutým společností Teco a.s., což umožňuje efektivní programování a správu systému [22].

3.2 Vývojové prostředí jednotky IR14

Jednotka IR14 od firmy Regulus je stejně jako Foxtrot 2 vybavena vývojovým prostředím Mosaic. Tento software slouží k programování PLC jednotek řady TECOMAT, TECOREG a Foxtrot. Pro řadu Foxtrot je založen na standardu IEC 61131, což je mezinárodně uznávaná norma pro programování průmyslových řídicích systémů. Definuje modely architektury systémů, formáty pro výměnu dat, standardy pro dokumentaci a diagnostiku, ale také pět základních typů programovacích jazyků, jimiž jsou:

- **LD (Ladder Diagram):** Jazyk podobný elektrotechnickým schémátům, často používaný v průmyslu.
- **ST (Structured Text):** Textový, vysokoúrovňový programovací jazyk, podobný Pascalu.
- **FBD (Function Block Diagram):** Grafický jazyk, kde se program vytváří pomocí bloků funkcí.
- **SFC (Sequential Function Chart):** Grafický jazyk pro sekvenční řízení, využívající stavy a přechody.
- **IL (Instruction List):** Nízkoúrovňový textový jazyk podobný assembleru [25].



Obrázek 3.2: Vývojové prostředí Mosaic [26]

Programování v prostředí Mosaic začíná vytvořením projektu, kde se definují vstupy a výstupy, a pokračuje návrhem logiky pomocí jednoho či kombinací více z výše uvedených programovacích jazyků. Mosaic také umožňuje připojení takzvaného Simulačního PLC, které slouží pro simulaci a ladění programu před nasazením na skutečnou jednotku. Díky tomu mohou vývojáři ověřit správnost a optimalizovat výkon svého programu v bezpečném prostředí, než jej implementují na reálný systém. Další funkcí Mosaic je správa verzí, která umožňuje udržovat různé verze projektu. To je užitečné pro sledování změn a zajištění, že všechny úpravy jsou zaznamenány a mohou být snadno vráceny zpět, pokud je to nutné. Mosaic také poskytuje nástroje pro komunikaci a monitorování, které umožňují přístup k datům z PLC v reálném čase. To umožňuje monitorování a diagnostiku na reálném systému, což je klíčové pro zajištění jeho spolehlivosti a efektivity [26].

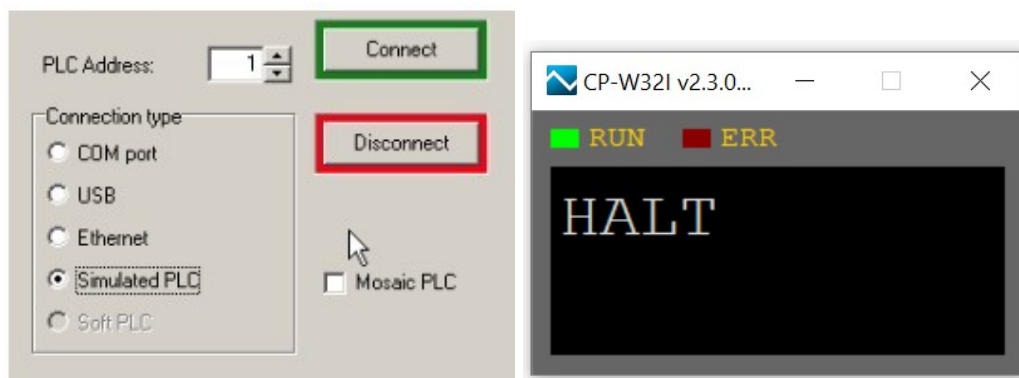
Součástí programovacího prostředí Mosaic je nástroj WebMaker, který umožňuje vytvářet webové stránky pro vizualizaci a ovládání PLC systému. Tyto stránky mohou běžet na interním webovém serveru jednotky IR14, což umožňuje vzdálený přístup k systému. WebMaker poskytuje uživatelům několik důležitých funkcí a první z nich je tvorba HMI (Human-Machine Interface). Ta uživatelům umožňuje vytvářet přehledné a intuitivní ovládací panely pro správu a sledování systému. Tyto panely mohou zahrnovat grafy, tabulky a další vizuální prvky, které usnadňují sledování výkonu a stavu systému [27].

WebMaker také umožňuje správu a konfiguraci systému prostřednictvím webových stránek. To znamená, že uživatelé a servisní firma mohou vzdáleně nastavovat a upravovat parametry systému, což zjednodušuje údržbu a optimalizaci. Funkce alarmů a notifikací v rámci WebMakeru upozorňují na nestandardní stavy či alarmy, které jsou okamžitě viditelné v uživatelském rozhraní. Tímto způsobem lze rychle reagovat na případné problémy a zajistit tak plynulý a bezchybný chod systému [27].

3.3 Způsob implementace systému

Implementace systému solárního ohřevu vody do hlavní řídicí jednotky IR 14 je komplexní proces, který vyžaduje detailní plánování a přesné provedení. Tento proces zahrnuje návrh hlavního funkčního bloku (FB), který bude obsahovat celý princip fungování solárního systému a vedlejších funkčních bloků a funkcí, které se starají o konkrétní úkoly v rámci systému, od monitorování teploty až po řízení oběhových čerpadel a ventilů. Cílem je vytvořit modulární a přehledný kód.

Celá funkce byla vyvíjena ve vlastním projektu, odděleném od programu v hlavní řídicí jednotce. Tento oddělený projekt pracuje v režimu simulovaného PLC (jeho volba viz obrázek 3.3), což umožňuje testování a ladění programu před jeho nasazením na skutečný systém. Pro návrh implementace bylo důležité prozkoumat program hlavní jednotky, aby nově vytvořený hlavní funkční blok mohl být po jeho dokončení správně a jednoduše integrován do stávajícího chodu programu.



Obrázek 3.3: Volba simulovaného PLC [26] a okno jeho terminálu

Prvním krokem při návrhu implementace bylo definování všech vstupů a výstupů, které hlavní funkční blok obsluhuje. Vstupy zahrnují hodnoty teplot z teplotních čidel umístěných v kolektorech a jednotlivých spotřebičích, stejně jako informace o průtoku za oběhovými čerpadly. Výstupy zahrnují reléové kontakty pro řízení třístavých ventilů a oběhových čerpadel, která mohou být také plynule řízeny pomocí signálu PWM v rozsahu 0-10 V. Tím je zajištěno, že je systém schopen přesně a efektivně monitorovat a řídit všechny důležité prvky solárního systému.

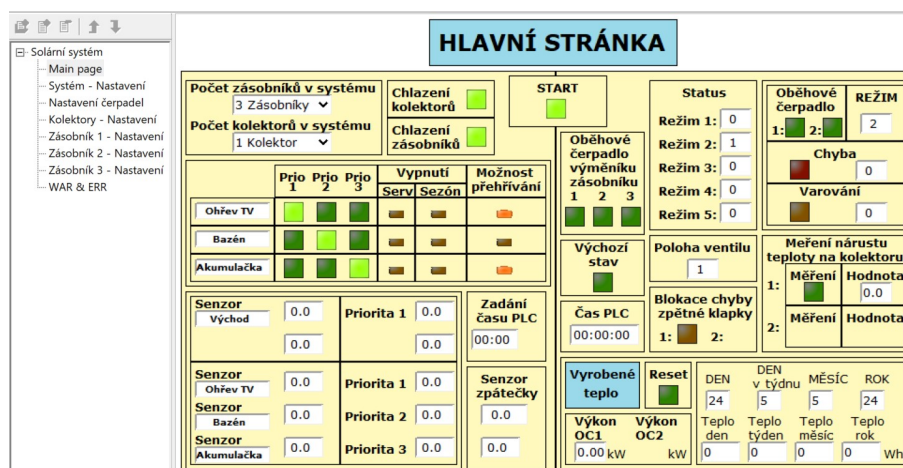
Po definování vstupů a výstupů následovalo postupné programování od základních funkcí, ke kterým se postupně přidávaly další přídatné funkce. Tento přístup zajišťoval, že jednotlivé části systému byly dobře a funkčně integrovány. Postupem času se všechny jednotlivé funkce spojily do kompletního systému, který bylo možné po dokončení začlenit do hlavní řídicí jednotky jako celek.

3.4 Způsob programování a průběžné testování funkčnosti

Celý program systému solárního ohřevu vody byl psán v programovacím jazyce Structured Text (ST). Tento jazyk byl zvolen pro svou čitelnost, efektivitu a schopnost zpracovávat složité logické operace. ST, jako jeden z pěti programovacích jazyků definovaných standardem IEC 61131-3, je široce používán v průmyslové automatizaci. Jeho strukturovaný a jasně definovaný syntax umožňuje vývojářům dobře číst, udržovat a rozšiřovat kód, což je klíčové pro dlouhodobou správu a optimalizaci systémů.

Programování postupovalo po jednotlivých fázích systému, jak byly popsány v předchozích kapitolách. Tento přístup umožňoval přehledný a smysluplný vývoj systému. Každá fáze byla nejprve naprogramována, následně testována a teprve poté byla přidána další funkcionalita. Tímto postupným přidáváním dílčích funkcí a jejich průběžným testováním se postupně formovala konečná podoba systému ohřevu.

Pro průběžné testování naprogramovaných částí systému byly vytvořeny základní stránky ve WebMakeru. Tyto stránky obsahovaly pole pro zadávání parametrů systému, okna pro manuální zadávání teplot, a signalizační objekty pro sledování chování jednotlivých výstupů. Manuální zadávání teplot umožňovalo rychlé a snadné dosažení stavů potřebných pro testování konkrétních funkcí. Signalizační objekty na stránkách pak poskytovaly vizuální zpětnou vazbu o stavu výstupů, což bylo klíčové pro ověření správného fungování programu. Tyto objekty zastupovaly reálné výstupy a umožňovaly sledovat, jak by systém reagoval na různě zadané podmínky a vývoj vstupních proměnných. Podobu hlavní stránky pro testování lze vidět na obrázku 3.4.



Obrázek 3.4: Podoba hlavní stránky pro testování

Hlavní funkční blok byl navržen jako stavový automat, kde se přechody mezi jednotlivými stavy určovaly podle velikosti systému, tedy podle počtu polí kolektorů a počtu solárních spotřebičů. Každý stav pak obsahoval dílčí funkční blok, který rovněž fungoval jako stavový automat. Přechody mezi stavy v těchto dílčích částech byly založeny na porovnávání naměřených teplot s nastavenými spínacími a vypínacími mezemi.

Jakmile byly všechny funkce naprogramovány a úspěšně otestovány, bylo třeba celý systém sbalit a spojit. Tento proces probíhal formou vytvoření uživatelské knihovny, do které se nahrály všechny vytvořené funkční bloky a stávající knihovny, na jejichž základech byly jednotlivé funkce vytvářeny. Tato uživatelská knihovna umožňuje snadnou implementaci programu do hlavního kódu řídicí jednotky IR 14 a případně i do dalších programů jiných řídicích jednotek. Takto sbalený systém je nejen přehledný a snadno spravovatelný, ale také připravený pro rychlou integraci a optimalizaci v různých aplikačních scénářích.

Kapitola 4

Tvorba uživatelského a servisního rozhraní

Tato kapitola se zaměřuje na návrh a implementaci uživatelského a servisního rozhraní pro ovládání a údržbu systému solárního ohřevu vody. Uživatelské rozhraní je klíčovým prvkem pro zajištění snadného a intuitivního ovládání systému, zatímco servisní rozhraní poskytuje prostředek pro nastavení, diagnostiku a údržbu systému. Vytvoření obou rozhraní probíhalo pomocí nástroje WebMaker v programovacím prostředí Mosaic. Tento nástroj umožňuje vytvářet přehledné a interaktivní uživatelská rozhraní (HMI) přímo propojená s řídicími jednotkami, jako je IR14 nebo Foxtrot 2.

4.1 Analýza požadavků na uživatelské rozhraní

Na základě firemních zkušeností a znalostí o uživateli topných systémů bylo zjištěno, že je zapotřebí relativně velká variabilita v tom, jaké parametry by měly být uživateli přístupné pro jejich nastavování a ovládání. Obecně lze však říci, že většině běžných uživatelů postačí zobrazování aktuálních teplot a stavu systému.

Uživatelské rozhraní by mělo umožňovat zobrazování teplot na výstupech z kolektorů a uvnitř spotřebičů. Mělo by také zobrazovat aktuální stav oběhových čerpadel, způsob jejich řízení (On/Off nebo PWM), a do jakého spotřebiče je systém momentálně nasměrovaný pomocí polohových ventilů. Důležitým prvkem pro uživatele může být zobrazení aktuálního stavu systému pomocí hodnoty režimu a aktuálního stavu. Rozhraní by mělo také poskytovat informace o varováních a případných poruchách systému.

Dalším prvkem k vizualizaci jsou informace o množství vyrobeného tepla, které by v případě dostupnosti hodnot o průtocích, mohly být také uživateli prezentovány. Tyto hodnoty jsou ale většinou spíše informativního charakteru, jelikož často dochází k velkým odchylkám v přesnosti měření průtoku kapaliny systémem. Velikost průtoku se totiž u většiny systému dopočítává na základě hodnoty IPWM signálu z oběhových čerpadel, což vede ve výsledku k velkým nepřesnostem. Pokud by však uživatel stál o přesnější hodnoty množství vyrobeného tepla, je možnost do systému zapojit kalorimetr, ze kterého lze odečítat průtok s vysokou přesností a tím docílit reálnějších hodnot vyrobeného tepla.

Nastavování parametrů ohřevu ze strany uživatele by mělo být omezené na základní funkce, jako je zadání žádané teploty uvnitř spotřebiče a stanovení priority ohřevu, pokud jich je v systému zapojeno více než dva. Funkce rozpouštění sněhu z kolektorů, včetně nastavení jejich parametrů jako volby kolektorového pole, spotřebiče pro použití tepla a doby rozpouštění, by také měly být dostupné uživateli. Z pohledu firmy jakožto servisu je vždy lepší zpočátku uživateli nastavit omezenější pravomoce, které v případě potřeby postupem času navyšovat, než uživateli zpřístupnit příliš mnoho a pak řešit problémy a poruchy způsobené rozladěním celého systému.

Dalším dobrým prvkem pro uživatele může představovat stránka s namalovaným schématem celého systému. Jelikož když se do takového schématu přidají na měřené místa odpovídající aktuální naměřené hodnoty a u akčních členů budou signalizační prvky jejich činnosti. Může pak takovéto vzniklé schéma pro technicky znalého člověka představovat rychlý a přehledný způsob vizualizace fungování celého systému.

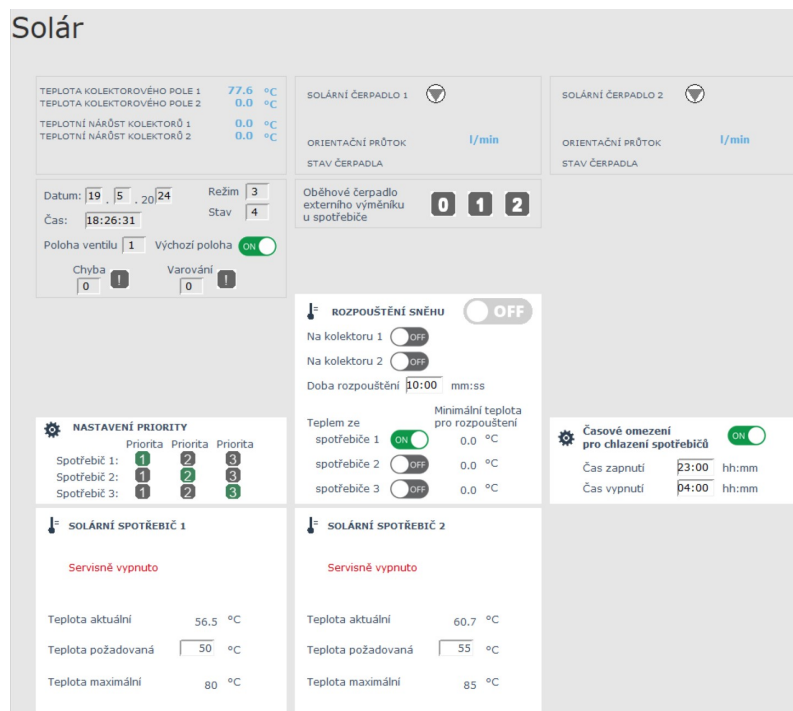
4.2 Popis servisního rozhraní

Servisní rozhraní bylo navrženo tak, aby poskytovalo plný přístup k nastavování všech parametrů a zobrazování všech údajů, které systém solárního ohřevu umožňuje. To také zahrnuje signalizační nástroje pro monitorování a diagnostiku jednotlivých komponent systému v reálném čase. Jelikož práce se servisním rozhraním už vyžaduje znalosti nejen solárních topných systému ale také přehled ve fungování této specificky vytvořené funkce. Je zapotřebí aby byl přístup do tohoto rozhraní omezen pouze na autorizovaný servisní personál. Plný přístup k těmto funkcím umožňuje servisním technikům efektivní diagnostiku systému. Servisní rozhraní tak tvoří základ pro chod a údržbu celého systému, protože umožňuje provádět zásahy v nastavení a tím rychle a efektivně řešit jakékoli problémy, které mohou nastat.

4.3 Implementace uživatelského a servisního rozhraní

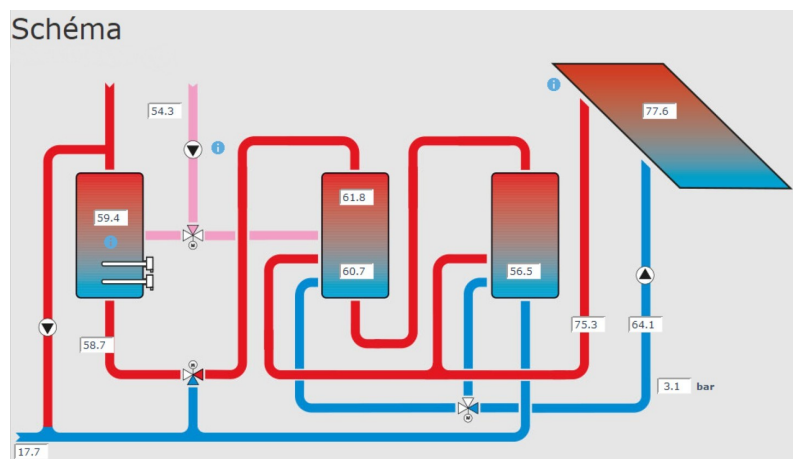
Prvním krokem k implementaci bylo zvolení grafické koncepce a vizuálních nároků. Ty byly stanoveny firmou Regulus na základě podoby ostatních funkcí topného systému. Systém už byl předem rozdělen do dvou úrovní přístupu: uživatel a servis. To už za mě vyřešilo problém s autorizovaným přístupem do servisního rozhraní. Obě úrovně obsahují stránky s funkcemi systému, kde jsou jednotlivé parametry uspořádány do dlaždic.

Každá dlaždice pak představuje uspořádanou sadu parametrů vztahujících se k jednomu konkrétnímu prvku či samostatné funkci. Bílé dlaždice slouží pro nastavování parametrů, průhledné (tudíž šedé podle pozadí stránky) dlaždice poskytují informativní údaje. Jsou tu ještě krycí dlaždice, které slouží pro skrývání či odkrývání určitých oblastí.



Obrázek 4.1: Uživatelské rozhraní

Vzhled uživatelského rozhraní je zachycen na obrázku 4.1. V tomto případě bylo zvoleno zobrazení základních prvků, které jsou zpřístupněny pro většinu uživatelů. Schéma systému doplněné o hodnoty teplot a činnosti akčních členů je ukázáno na obrázku 4.2 a zobrazení podoby servisního rozhraní je z důvodu rozsáhlosti rozděleno na obrázky 4.3 a 4.4.



Obrázek 4.2: Schéma systému s aktuálně měřenými hodnotami

ON START
ON Nový solár

TEPLOTA PRVNÍHO KOLEKTOROVÉHO POLE **77.6 °C**

TEPLOTNÍ NÁRŮST PRVNÍHO KOLEKTORU **0.0 °C**

SOLÁRNÍ ČERPADLO 1 **▼**

ORIENTAČNÍ PRŮTOK **l/min**

STAV ČERPADLA

SOLÁRNÍ ČERPADLO 2 **▼**

ORIENTAČNÍ PRŮTOK

STAV ČERPADLA

Datum: 19. 5. 2024 Režim 3 Chyba 0 Varování 0

Čas: 18:24:47 Stav 4

Poloha ventilu 1 Východí poloha **ON**

Oběhové čerpadlo externího výměníku u spotřebiče **1 2**

Aktuální výkon kolektoru 1 **0.00**

Aktuální výkon kolektoru 2 **0.00**

VÝBĚR SCHÉMATU

Počet spotřebičů v systému **2 Zásobníky**

Počet kolektorů v systému **1 Kolektor**

Typ zapojení systému **Tří cestné vi**

NASTAVENÍ PRIORITY

Priorita 1 Priorita 2

Spotřebič 1: **1 2**

Spotřebič 2: **1 2**

SOLÁRNÍ SPOTŘEBIČ 1 **ON**

Teplota **56.5 °C**

Požadovaná teplota **80 °C**

Volba čidla spotřebiče **1**

Absolutní priorita °C

Požadovaná teplota °C

Maximální teplota °C

Kritická teplota °C

Hystereze

Absolutní priority °C

Požadované teploty °C

Maximální teploty °C

Kritické teploty °C

Spínací diference °C

Vypínací diference °C

Hranice nárůstu °C

Doba pro neprioritní ohřev mm:ss

Diference pro zpětnou klapku °C

Možnost přehřívání spotřebiče

Servisní vypnutí spotřebiče

Regenerace do země

Externí výměník

Blokace chlazení spotřebiče

Blokace rozpuštění sněhu

Sezónní vypnutí spotřebiče

SOLÁRNÍ SPOTŘEBIČ 2 **ON**

Teplota **60.7 °C**

Požadovaná teplota **85 °C**

Volba čidla spotřebiče **2**

Absolutní priorita °C

Požadovaná teplota °C

Maximální teplota °C

Kritická teplota °C

Hystereze

Absolutní priority °C

Požadované teploty °C

Maximální teploty °C

Kritické teploty °C

Spínací diference °C

Vypínací diference °C

Hranice nárůstu °C

Doba pro neprioritní ohřev mm:ss

Diference pro zpětnou klapku °C

Možnost přehřívání spotřebiče

Servisní vypnutí spotřebiče

Regenerace do země

Externí výměník

Blokace chlazení spotřebiče

Blokace rozpuštění sněhu

Sezónní vypnutí spotřebiče

SOLÁRNÍ SPOTŘEBIČ 3 **OFF**

Teplota **0.0 °C**

Požadovaná teplota **0 °C**

Volba čidla spotřebiče **0**

Absolutní priorita °C

Požadovaná teplota °C

Maximální teplota °C

Kritická teplota °C

Hystereze

Absolutní priority °C

Požadované teploty °C

Maximální teploty °C

Kritické teploty °C

Spínací diference °C

Vypínací diference °C

Hranice nárůstu °C

Doba pro neprioritní ohřev mm:ss

Diference pro zpětnou klapku °C

Možnost přehřívání spotřebiče

Servisní vypnutí spotřebiče

Regenerace do země

Externí výměník

Blokace chlazení spotřebiče

Blokace rozpuštění sněhu

Sezónní vypnutí spotřebiče

PŘIPOJENÍ KOLEKTORŮ NA OBĚHOVÁ ČERPADLA

Kolektor 1 připojen na oběhové čerpadlo **0 1**

Kolektor 2 připojen na oběhové čerpadlo

CHLAZENÍ SPOTŘEBIČŮ **ON**

Spínací diference spotřebiče 1 °C

Vypínací diference spotřebiče 1 °C

Spínací diference spotřebiče 2 °C

Vypínací diference spotřebiče 2 °C

Spínací diference spotřebiče 3 °C

Vypínací diference spotřebiče 3 °C

Časové omezení **ON**

Čas zapnutí hh:mm

Čas vypnutí hh:mm

CHLAZENÍ KOLEKTORŮ **ON**

Maximální teplota kolektoru 1 °C

Hystereze maximální teploty kolektoru 1 °C

Kritická teplota kolektoru 1 °C

Hystereze kritické teploty kolektoru 1 °C

Maximální teplota kolektoru 2 °C

Hystereze maximální teploty kolektoru 2 °C

Kritická teplota kolektoru 2 °C

Hystereze kritické teploty kolektoru 2 °C

VÝCHOZÍ POLOHA VENTILU

Doba přepnutí mm:ss

Východí spotřebič **1 2**

ROZPOUŠTĚNÍ SNĚHU **OFF**

Na kolektoru 1

Na kolektoru 2

Doba rozpuštění mm:ss

Teplem ze spotřebiče 1 0.0 °C

spotřebiče 2 0.0 °C

spotřebiče 3 0.0 °C

EXTERNÍ VÝMĚNÍK

Spínací diference °C

Vypínací diference °C

Minimální teplota výměníku pro sepnutí přídavného oběhového čerpadla °C

Hystereze sepnutí °C

Doba pro prodloužení ohřevu z výměníku mm:ss

Zpětné klapky

OBĚHOVÉHO ČERPADLA 1

Manuální blokace **OFF**

Doba měření hh:mm:ss

Doba blokace hh:mm:ss

Čas zapnutí hh:mm

Čas vypnutí hh:mm

OBĚHOVÉHO ČERPADLA 2

Manuální blokace **OFF**

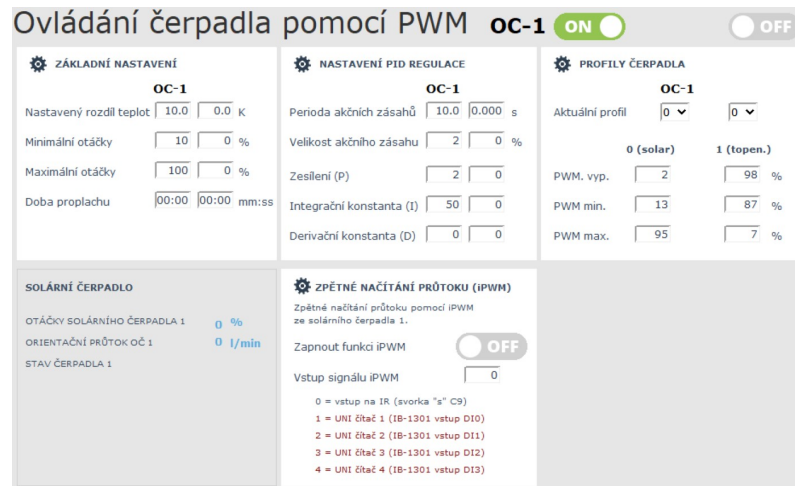
Doba měření hh:mm:ss

Doba blokace hh:mm:ss

Čas zapnutí hh:mm

Čas vypnutí hh:mm

Obrázek 4.3: Servisní rozhraní - 1.část



Obrázek 4.4: Servisní rozhraní - 2.část

Jelikož je řídicí jednotka pomocí ethernetového kabelu připojená k internetu, umožňuje to dostupnost obou rozhraní také prostřednictvím internetového prohlížeče. To přináší několik výhod, jako to, že Uživatelé mohou přistupovat k systému odkudkoli, kde je internetové připojení, což zvyšuje uživatelskou přívětivost a flexibilitu. Vzdálený přístup umožňuje technikům provádět údržbu, diagnostiku a analýzu záznamů reportů z důležitých událostí na dálku a během provozu systému, což šetří čas a náklady na případné servisní práce. Dalším pozitivem mohou být okamžité aktualizace a úpravy systému v reálném čase, což zajišťuje, že je systém vždy aktuální a optimalizovaný.

Kapitola 5

Simulace systému

Simulace systému solárního ohřevu vody byla klíčovým krokem při ověřování správnosti a účinnosti navrženého řešení. Simulace umožnila vytvořit virtuální model celého systému, který se choval jako reálný fyzický systém, a tak simulace poskytla cenné informace o fungování systému za různých podmínek. Použitím simulačního prostředí TRNSYS bylo možné detailně analyzovat dynamiku teplot, průtoků, přenosu energie a chování jednotlivých komponent systému v reálném čase. Tato kapitola se zaměřuje na postup vytváření simulačního modelu, nastavení potřebných parametrů a získání výsledků ze simulace.

5.1 Popis simulačního prostředí a jeho propojení s programovacím prostředím

Pro testování navrženého systému solárního ohřevu vody byl vybrán simulační software TRNSYS. Tento software je určený pro analýzu dynamických systémů složených z různých komponent. Umožňuje simulovat a optimalizovat systémy pro vytápění, ventilaci, klimatizaci a další energetické aplikace. Hlavní výhodou TRNSYSu je jeho modulární struktura, která uživatelům umožňuje snadno přidávat, odstraňovat nebo upravovat jednotlivé komponenty systému.

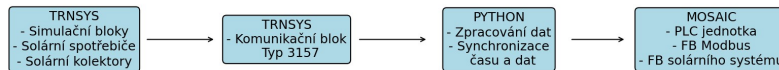
TRNSYS také zvládá simulaci termických solárních systémů a umožňuje detailní modelování všech komponent těchto systémů. Uživatelé mohou vytvářet schémata, která odpovídají reálným zapojením, včetně solárních kolektorů, ventilů, oběhových čerpadel, zásobníků teplé vody, deskových výměníků a akumulčních nádrží.

Propojení s PLC jednotkou

Aby bylo možné simulovat vytvořený systém, bylo zapotřebí vytvořit propojení mezi programy TRNSYS a Mosaic. Toto spojení bylo klíčovým prvkem celé simulace, jelikož umožňovalo vzájemné předávání vstupních a výstupních dat mezi funkčním blokem solárního ohřevu a simulačním schématem. Pro přenos informací ze strany TRNSYSu slouží prvek s označením Type 3157. Ten se odkazuje na vytvořený skript v jazyce Python, který dále jako ModBus klient komunikuje s ModBus serverem definovaným uvnitř simulovaného PLC v programu Mosaic.

Přenos jednotlivých informací zde probíhá přes komunikační protokol Modbus TCP/IP. Komunikační propojení bylo převzato od kolegyně Eriky Langerové, která se touto problematikou zabývala v rámci projektu TAČR Théta. Blokový diagram komunikace lze vidět na obrázku 5.1. Podrobnější popis propojení PLC a simulačního prostředí TRNSYS je k dočtení v článku časopisu Vytápění, Větrání, Instalace z května roku 2024 [28].

Blokový diagram přenosu dat mezi TRNSYSem a Mosaicem

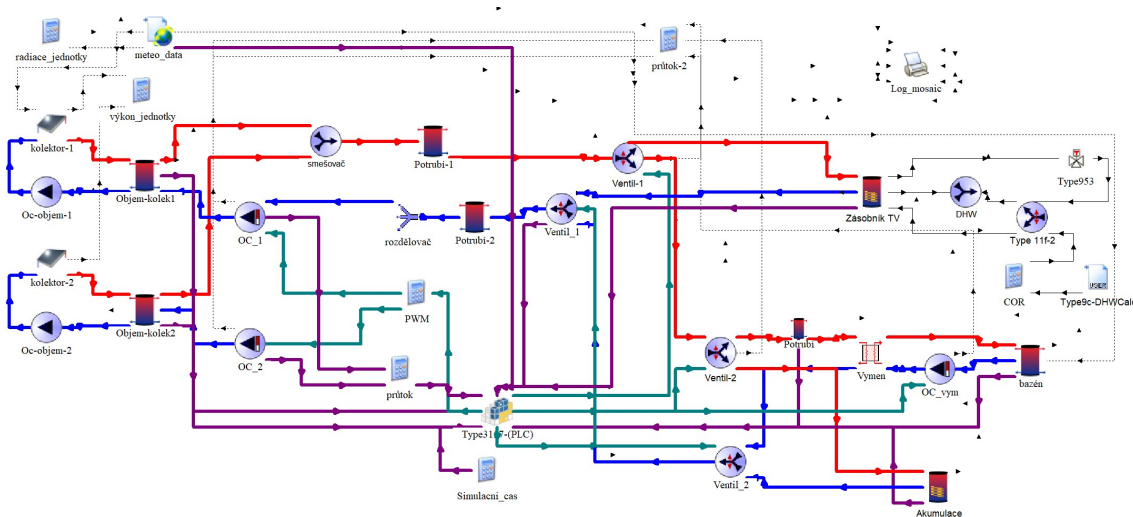


Obrázek 5.1: Blokový diagram komunikačního rozhraní

Po navázání komunikace mezi TRNSYS a Mosaicem bylo nutné přesně určit, jaká data se kam budou posílat a jaká přijímat. Jedním z dalších důležitých kroků bylo synchronizovat simulační čas TRNSYS a reálný čas PLC jednotky. Simulace v TRNSYS běží ve svém vlastním simulačním čase, zatímco PLC jednotka pracuje s reálným časem. Proto bylo nutné v programovacím prostředí Mosaic vytvořit vlastní časovače, které pracovaly se simulačním časem posílaným z TRNSYS. Tím se docílilo synchronizace obou prostředí a umožnilo to správné fungování celého systému během simulace.

5.2 Návrh simulačního scénáře

Simulační schéma vytvořené v TRNSYS je zobrazeno na obrázku 5.2 a odpovídá nejrozsáhlejšímu reálnému zapojení, které lze řídit navrženým funkčním blokem solárního ohřevu. To zahrnuje zapojení se dvěma kolektorovými poli se dvěma oběhovými čerpadly, třemi solárními spotřebiči, včetně jednoho externího výměníku s vlastním oběhovým čerpadlem a dvěma ovládanými ventily. Takové schéma umožňuje testování všech variant zapojení a jeho hydraulické zapojení je identické, stejně jako je tomu na obrázku 2.3, který je znázorněn u popisu třetí fáze.



Obrázek 5.2: Simulační model

V simulačním schématu prvek Type 3157 odpovídá funkčnímu bloku solárního systému, jelikož má nadefinované stejné vstupní a výstupní proměnné. Přehled proměnných je uveden v tabulce 5.1. Vstupní proměnné jsou v simulačním schématu (Obrázek 5.2) znázorněny fialovou čarou. Výstupní proměnné pro řízení oběhových čerpadel a ovládnání ventilů jsou zelenou čarou. Červené čáry pak označují potrubí přivádějící teplou solární kapalinu z kolektorů a modré čáry označují potrubí se studenou kapalinou, která se vrací zpět do kolektorů.

Tabulka 5.1: Přehled vstupů a výstupů prvku Type 3157

Kategorie	Název signálu	Popis
Vstup	tep_kol_1	Teplota kolektoru 1
	tep_kol_2	Teplota kolektoru 2
	tep_zas_1	Teplota zásobníku 1
	tep_zas_2	Teplota zásobníku 2
	tep_zas_3	Teplota zásobníku 3
	tep_zpatecky	Teplota společné zpátečky
	tep_vymen_1	Teplota na výměníku 1
	tep_vymen_2	Teplota na výměníku 2
	tep_vymen_3	Teplota na výměníku 3
	prutok_oc_1	Průtok oběhového čerpadla 1
	prutok_oc_2	Průtok oběhového čerpadla 2
	hodina_dne	Aktuální hodina dne
	Sim_time	Simulační čas
	Výstup	OC_1
OC_1-PWM		PWM signál pro oběhové čerpadlo 1
OC_2		Řízení oběhového čerpadla 2
OC_2-PWM		PWM signál pro oběhové čerpadlo 2
OC_vym-1		Řízení oběhového čerpadla výměníku 1
OC_vym-2		Řízení oběhového čerpadla výměníku 2
OC_vym-3		Řízení oběhového čerpadla výměníku 3
Ventil_1		Ovládání ventilu 1
Ventil_2		Ovládání ventilu 2

Protože TRNSYS pracuje s objektem solárního kolektoru jako s bodem a neuvažuje objem kolektorů, bylo nutné do schématu přidat prvek reprezentující tento objem. Tímto prvkem byl zásobník s objemem odpovídajícím aktuálnímu počtu zapojených kolektorů. Aby ohřev objemu fungoval správně, bylo do schématu přidáno oběhové čerpadlo, které zajišťuje cirkulaci vody. Porty zásobníku pak reprezentují vstup a výstup kolektorového pole. Teplá solární kapalina pak z reprezentovaného výstupu kolektoru vede do prvního ventilu, kde se rozděluje buď do prvního spotřebiče, nebo druhého ventilu. Z druhého ventilu se kapalina dále rozděluje do druhého nebo třetího spotřebiče. Po protečení spotřebiči se chladná kapalina vrací přes oběhové čerpadlo zpět do kolektoru, a tím uzavírá topný okruh.

Kromě hydraulických spojení obsahuje to simulační také speciální prvky, kterými jsou například kalkulátory pro úpravu dat přenášených mezi komponenty. Dalším je také blok s "tiskárnou" pro sběr a ukládání hodnot ze simulace pro budoucí vykreslení grafů. Také zde byly k zásobníku teplé vody připojeny bloky, které simulují odběr teplé vody ze zásobníku. V neposlední řadě byly do schématu zahrnuty data o venkovním prostředí. Tato data byla vložena ve formě objektu, obsahujícím soubor s naměřenými daty z pražské meteostanice. Objekt pak v daném čase předává kolektorům informace o slunečním záření a okolních teplotách, což jsou klíčové vstupní parametry pro reálné chování solárních kolektorů.

5.3 Průběh simulace

Simulace solárního systému ohřevu vody v prostředí TRNSYS byla zásadní pro ověření a optimalizaci navrženého řešení. Detailní modelování umožnilo identifikovat slabá místa a potřebné úpravy před nasazením systému do reálného provozu.

Před spuštěním simulace bylo nutné nastavit základní parametry jednotlivých komponent simulačního schématu. Pro solární kapalinu, tvořenou směsí vody a propylenglykolu, byly nastaveny konkrétní hodnoty fyzikálních vlastností. Hustota této směsi je přibližně $1080 \frac{kg}{m^3}$, měrná tepelná kapacita je $3,9 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ a dynamická viskozita je $0,04 Pa \cdot s$. Pro vodu, která sloužila jako pracovní kapalina ve spotřebičích, byly použity standardní hodnoty: hustota $1000 \frac{kg}{m^3}$, měrná tepelná kapacita $4,18 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ a dynamická viskozita $0,001 Pa \cdot s$ [29].

Solární kolektory použité v simulaci vycházely z parametrů kolektorů modelového typu KPS1, které mají celkovou plochu $2,11 m^2$ a plochu absorberu $1,887 m^2$. Udávaná účinnost kolektorů je $78,5 \%$ s lineárním tepelným ztrátovým součinitelem $4,4 \frac{W}{m^2 \cdot K}$ a kvadratickým součinitelem $0,0074 \frac{W}{m^2 \cdot K^2}$. Kolektory byly orientovány na jih s úhlem náklonu 35° [30].

Pro jednotlivé zásobníky, jako je zásobník RBC-300, byly nastaveny objemy, tepelné kapacity a izolační vlastnosti. Zásobník měl celkový objem 297 litrů a statickou ztrátu $81 W$. Izolační materiál byl tvořen polyuretanovou pěnou s tvrdým povrchem z PVC, přičemž tloušťka izolace byla $100 mm$ pro plášť nádrže a $50 mm$ pro dno [31].

Během simulace byly použity různé venkovní podmínky a tudíž různé zatížení systému. Například simulace zahrnovaly letní den s vysokým slunečním zářením a zimní den s minimálním slunečním zářením. Během simulací byly také měněny hodnoty objemů, průtoků a počtu kolektorů v systému, což umožnilo detailnější analýzu a možnost odzkoušení bezpečnostních a přídatných funkcí. Během simulace byly monitorovány klíčové parametry, jako byly především teploty na různých částech systému, průtoky přes jednotlivé spotřebiče a výkony na kolektorech.

Kapitola 6

Testovaný reálný systém

Testování systému solárního ohřevu vody na reálném systému bylo velmi důležitým krokem k ověření správnosti a účinnosti navrženého řešení. Cílem tohoto testování bylo nejen potvrdit funkčnost a stabilitu systému v reálných podmínkách, ale také identifikování a řešení případných problémů, které by mohly ovlivnit provozní spolehlivost a efektivitu celého systému. Tento proces zahrnoval analýzu chování systému, jeho optimalizaci a přizpůsobení specifickým podmínkám instalace. V této kapitole bude podrobně popsán testovaný reálný systém a také průběh samotného testování.

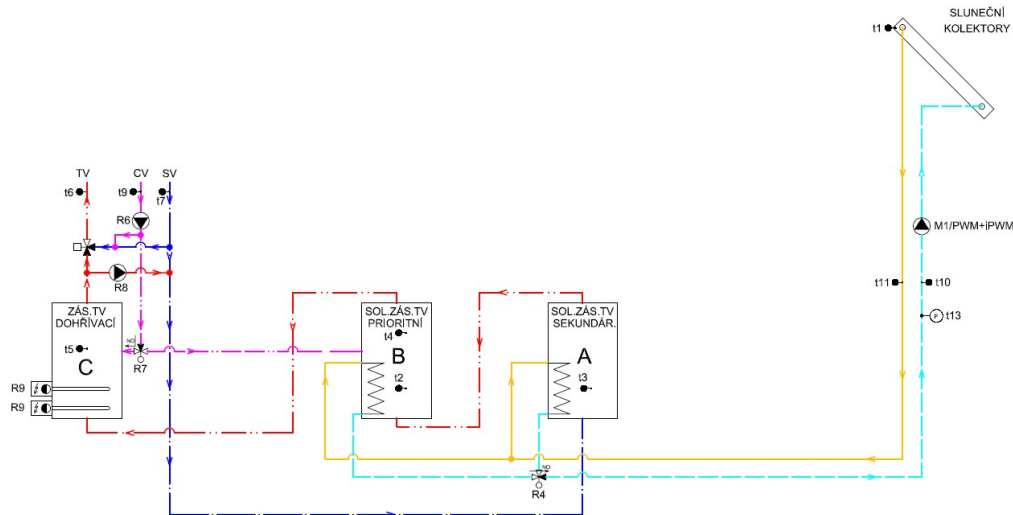
6.1 Popis systému

Testovaný systém se nachází v Jihomoravském kraji v okolí vodní nádrže Vranov. Instalace systému byla provedena na budovu sezónního rekreačního zařízení v roce 2021, cílem bylo zajistit ohřev teplé vody pro potřeby kuchyně a jídelny umístěné v objektu, nikoli pro jeho vytápění.

Tento systém byl pro testování vybrán z důvodu jednoduchosti a samostatnosti solárního systému, jelikož zde nejsou do solárních spotřebičů připojeny žádné další zdroje tepla. Tudíž výsledky z testování nejsou ovlivňovány jinými zásahy než těmi ze solárního systému.

Solární soustava se v této instalaci skládá z 15 plochých slunečních kolektorů Regulus KPG1+, které jsou zapojeny do tří paralelních větví o pěti kolektorech série. Celkově ale kolektory představují jeden solární zdroj tepla. Kolektory jsou namontovány na podkladní trojúhelníkové konstrukci se sklonem 25° , což společně se sklonem střechy 11° udává celkový sklon 36° s orientací na jihovýchod.

Tepelná energie získaná kolektory je odváděna nemrznoucí solární kapalinou do technické místnosti, kde je uchovávána ve dvou solárních spotřebičích, kterými jsou zásobníky RBC750 HP o objemu 764 litrů každý. Jeden zásobník slouží pro primární ohřev a druhý jako záložní (sekundární). Pro případný dohřev je zde na vstupu do rozvodu instalován další zásobník TV R0BC500 s elektrickými topnými tělesy. Schéma zapojení na obrázku 6.1 doplňuje představu o podobě reálného testovaného systému. [32] [33].

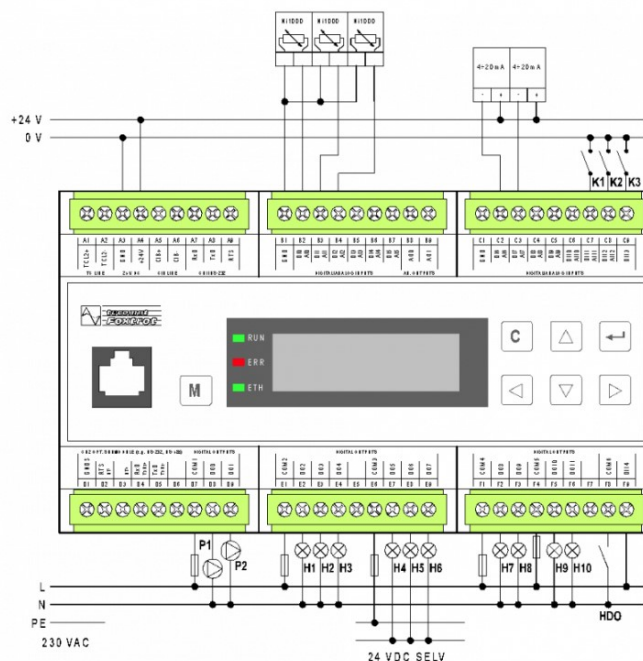


Obrázek 6.1: Schéma zapojení testovaného systému

6.2 Řídicí jednotka a implementace solárního ohřevu

Hlavní řídicí jednotkou používanou v tomto systému je IR 30, která odpovídá jednotce CP-1016 od firmy Teco. Tato jednotka má na starosti celkovou regulaci topného systému včetně solárního ohřevu. Rozdíl této jednotky oproti jednotce IR 14, která byla zmíněna v předchozích kapitolách, je ten, že CP-1016 je základním modulem pro jednodušší aplikace a řízení spíše malých a středních realizací. Podobu jednotky lze vidět na obrázku 6.2. Zatímco jednotka IR 14 (Foxtrot 2) poskytuje větší paletu vstupů i výstupů, připojení více rozšiřujících modulů a schopnost řídit rozsáhlejší automatizační systémy.

Implementace nové funkce solárního ohřevu do této jednotky byla opět provedena pomocí nahrání vytvořené uživatelské knihovny *Solar_systemLib*, která obsahuje celou funkci nově vytvořeného solárního ohřevu. Tato implementace navíc vyžadovala pečlivější plánování a úpravy existujícího programového prostředí. Na základě analýzy stávajícího programu byl do systému na správnou pozici přidán hlavní funkční blok pro řízení solárního ohřevu. Poté byla provedena definice a přiřazení správných vstupů a výstupů k FB.



Obrázek 6.2: Základní příklad zapojení základního modulu CP-1016

6.3 Metodika testování

Příprava na testování zahrnovala nastavení nových parametrů pro systém solárního ohřevu a konfiguraci měřicích zařízení. Byly taktéž určeny proměnné jako výstupy z testování systému, například teploty na výstupech z kolektorů, teploty uvnitř zásobníků a signály pro oběhová čerpadla a ventily. Sledované proměnné byly vybrány tak, aby se co nejvíce shodovaly s těmi ze simulace a díky tomu se pokusit o jejich porovnání.

Měření probíhalo v prostředí Mosaic pomocí nástroje DataLogger, který slouží pro automatické ukládání dat a událostí v řídicí jednotce. Data se ukládala ve formátu CSV (Comma-Separated Values) na SD kartu, odkud je jejich stažení možné přes integrovaný webserver s možností vzdáleného přístupu.

Tato data byla monitorována a ukládána v pravidelném intervalu 10 sekund, což umožnilo detailně sledovat průběhy teplot a identifikovat případné odchylky a nesrovnalosti v systému.

Poté následovalo nahrání programu do fyzické řídicí jednotky a zahájení počátečního testování systému z hlediska jeho funkčnosti a stability. Nejprve byla prováděna zpětná optimalizace kódu, aby byl systém správně vyladěn a mohl fungovat samostatně.

6.4 Testované období

Z důvodu komplikací při implementaci funkce do stávajícího běžícího programu a dlouhému času stráveného u optimalizování a ladění funkčnosti nového solárního ohřevu, zbylo na testování a jeho vyhodnocení poměrně krátké období 3 dnů od 16.5. do 18.5. roku 2024. Testování tudíž probíhalo během jarního období, kdy lze očekávat časté výkyvy teplot a klimatických podmínek v rámci jednotlivých dní a někdy dokonce hodin.

Kapitola 7

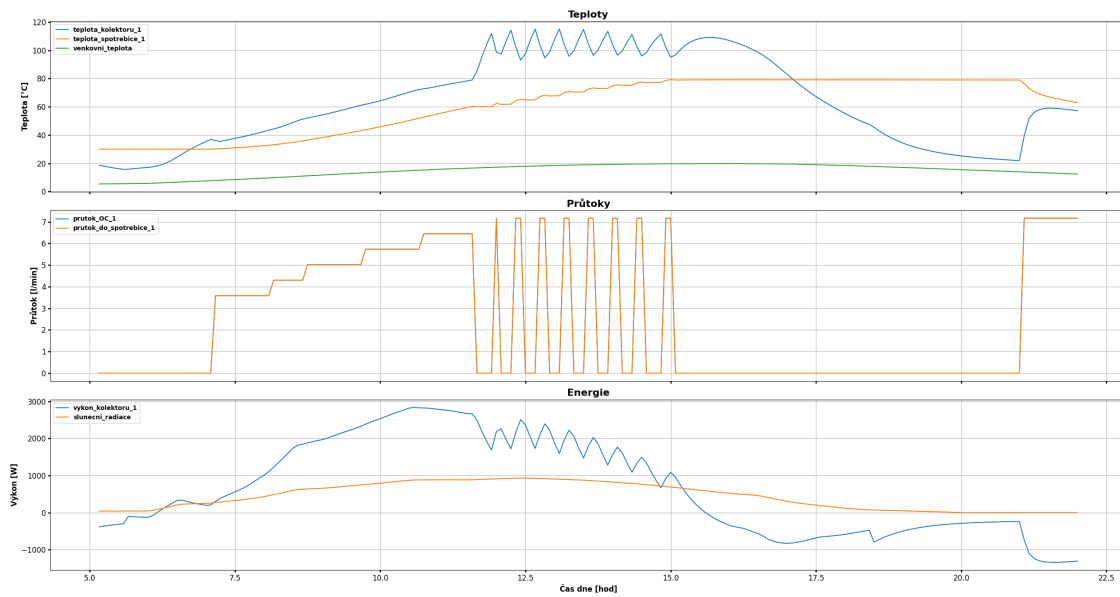
Výsledky ze simulace a z reálného testování

V této kapitole budou prezentovány výsledky dosažené při simulaci a reálném testování systému solárního ohřevu vody. Cílem je porovnat naměřená data s předpoklady a analyzovat, zda systém fungoval podle očekávání stanovených v úvodních kapitolách. Byla proto jeho funkčnost ověřovaná jak ve virtuálním prostředí, tak následně v reálném provozu. Testování se zaměřilo především na to, jak efektivně se zvládá řídicí jednotka starat o chod celého systému. Tudíž zde nebylo do detailu zkoumáno energetické chování systému a je tedy potřeba brát data ze simulace s určitou rezervou. Základní parametry simulace byly samozřejmě nastavovány na základě konzultace s odborníky pracujícími v oboru se solárními systémy. Simulační průběhy pak byly stejně upravovány, aby bylo možné testovaný software zkoumat na jeho krajních limitech. Dostáváním systémů do nestandardních stavů umožňuje ověření funkčnosti všech přítomných bezpečnostních prvků.

7.1 Prezentace výsledků simulace

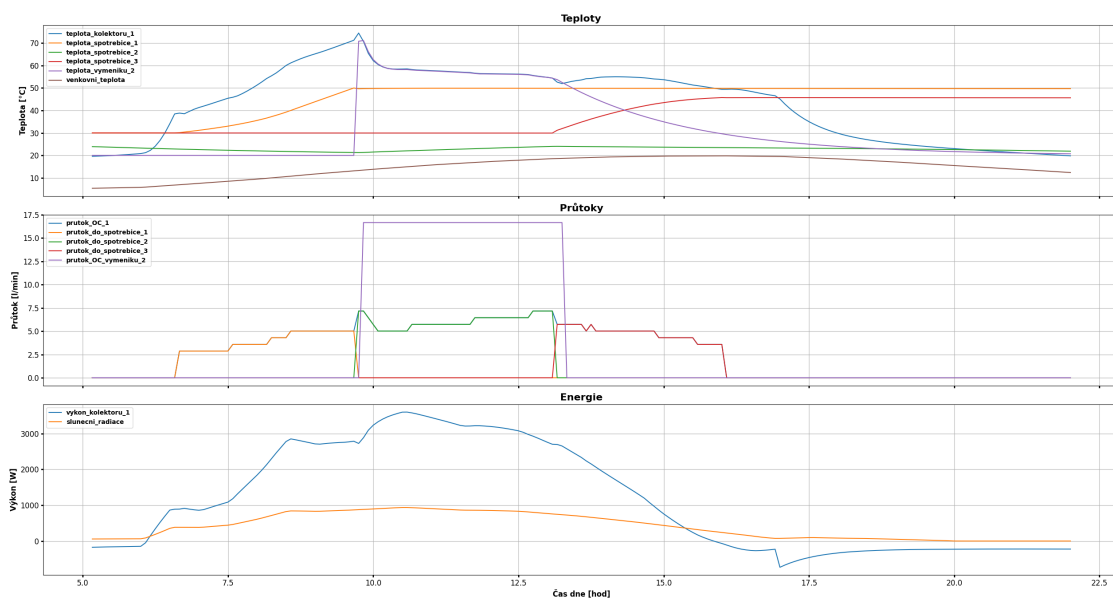
V této podkapitole budou prezentovány výsledky simulace z prostředí TRNSYS. Měřené hodnoty byly ze simulace exportovány pomocí textových souborů, ze kterých byly následně sestavovány jednotlivé grafy. V nich jsou zobrazovány především informace o průbězích teplot, průtoků a množství energie. Konkrétní měřené hodnoty jsou vždy zobrazeny v legendách u příslušných grafů.

Následující část představí výsledky simulací, přičemž nejdříve budou představeny výsledky standardních zapojení od jednodušších systémů k těm složitějším. Simulace probíhala po dobu jednoho dne a aby byly výsledky přehlednější, zvolili jsme časový úsek od 5 hodin ráno do 22 hodin večer. Tím jsme se vyhnuli nic neříkajícím nočním pasážím. Simulačním dnem byl zvolen 1. červen, kdy bylo sluneční záření po celý den poměrně vysoké. Na grafech je toto patrné z křivky sluneční radiace, která ve špičce dosahuje hodnoty těsně pod $1000 \frac{W}{m^2}$. Simulační krok, tedy interval mezi ukládáním dat, byl nastaven na 5 minut. Parametry solárního systému byly zvoleny dle standardů, jejich konkrétní hodnoty lze nalézt v servisním rozhraní, které je znázorněno na obrázku 4.4.



Obrázek 7.1: Simulace systému o jednom kolektorovém poli a jednom spotřebiči

Simulace byla provedena na systému s jedním kolektorovým polem, složeným sériově ze čtyř kolektorů. Maximální průtok čerpadla byl nastaven na $7,2 \frac{l}{min}$ a jako solární spotřebič byl zvolen zásobník TV o objemu 300 litrů. Z průběhů v grafu na obrázku 7.1 lze vidět, že při překročení spínací difference se oběhové čerpadlo okamžitě spustilo a pomocí variabilního průtoku řízeného PWM signálem se snažilo udržet nastavený teplotní rozdíl 10 Kelvinů. Po dosažení maximální teploty se oběhové čerpadlo vypnulo a během několika málo minut teplota na kolektoru vzrostla na maximální hodnotu, což vedlo k aktivaci ochranné funkce chlazení kolektorů. Přebytkové teplo bylo nad rámec ukládáno do zásobníku. Funkce chlazení spotřebičů, spuštěná s časovým odkladem po 21. hodině, urychlila následné chladnutí spotřebiče směrem k jeho maximální hodnotě.

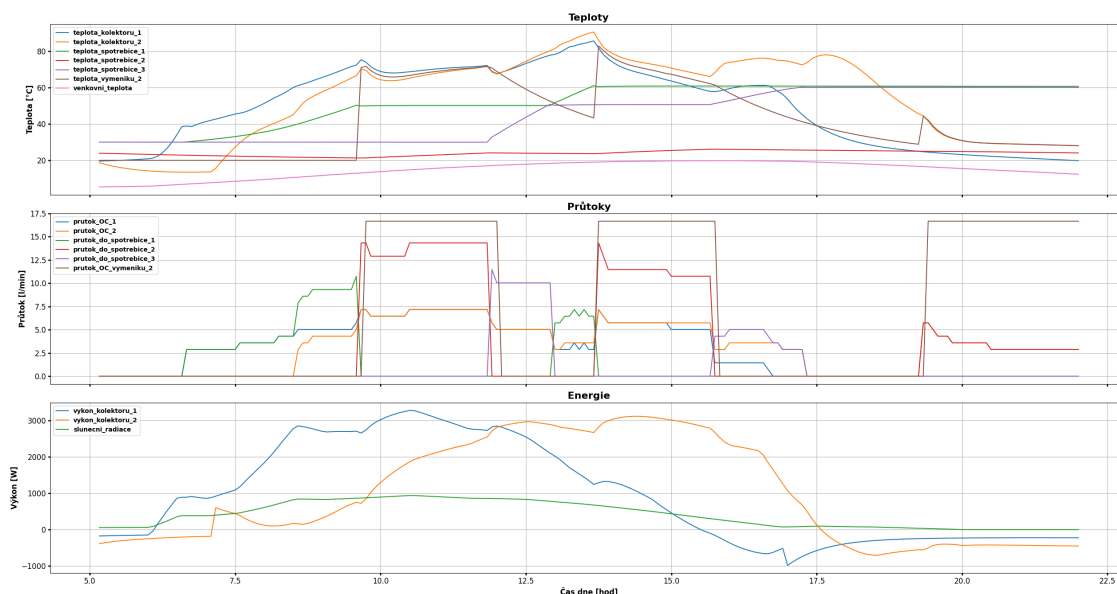


Obrázek 7.2: Simulace systému o jednom kolektorovém poli a třech spotřebičích

Simulace byla opět provedena na systému s jedním kolektorovým polem, které bylo složeno sériově ze čtyř kolektorů, přičemž nyní byly použity tři spotřebiče. Bylo zadefinováno pořadí ohřívání na základě zvolených priorit. Primárním spotřebičem byl zásobník TV, sekundárním spotřebičem byl bazén a posledním byla akumulace. V grafu průtoků je jasně vidět, jak se pořadí ohřívání postupně měnilo podle priorit. První věci, které si lze v grafu na obrázku 7.2 všimnout je, že před prvním spuštěním oběhového čerpadla již musel kolektor splňovat diferenční teplotu pro sepnutí do bazénu. Avšak díky zvoleným prioritám a měření teplotního nárůstu bylo vyhodnoceno, že se počká na nahřátí a sepnutí ohřevu do primárního spotřebiče. Poté probíhal klasický ohřev do požadovaných teplot.

Další funkcí, kterou lze z grafu pozorovat, je chování průtoku do spotřebiče 2 (výměník pro bazén) a průtoku přídavného oběhového čerpadla mezi výměníkem a bazénem. U křivky čerpadla dochází k drobnému zpoždění. Toto zpoždění je úmyslně nastaveno, protože při proudění tepla celými rozvody až k výměníku dochází k dopravnímu zpoždění. Proto po vypnutí solárního čerpadla zůstává teplo ve výměníku, které může být ještě využito. Prodloužení činnosti přídavného čerpadla je umožněno, pokud je ještě splněn dostatečný rozdíl mezi teplotou ve výměníku a bazénem. Čas prodloužení je standardně nastaven na 10 minut a protože je simulační perioda 5 minut, je vidět, že vypnutí čerpadla tomuto prodloužení přesně odpovídá.

To, že ve výměníku ještě zůstává nějaké zbylé teplo, je také vidět na grafu teplot. Křivka teploty ve výměníku během proudění kapaliny kopíruje křivku teploty v kolektorech s drobným zpožděním. Toto zpoždění je v simulaci realizováno díky přidání malého zásobníku, který reprezentuje objem vody v rozvodech. Jeho znázornění v simulačním schématu na obrázku 5.2.



Obrázek 7.3: Simulace systému o dvou kolektorových polích a třech spotřebičích

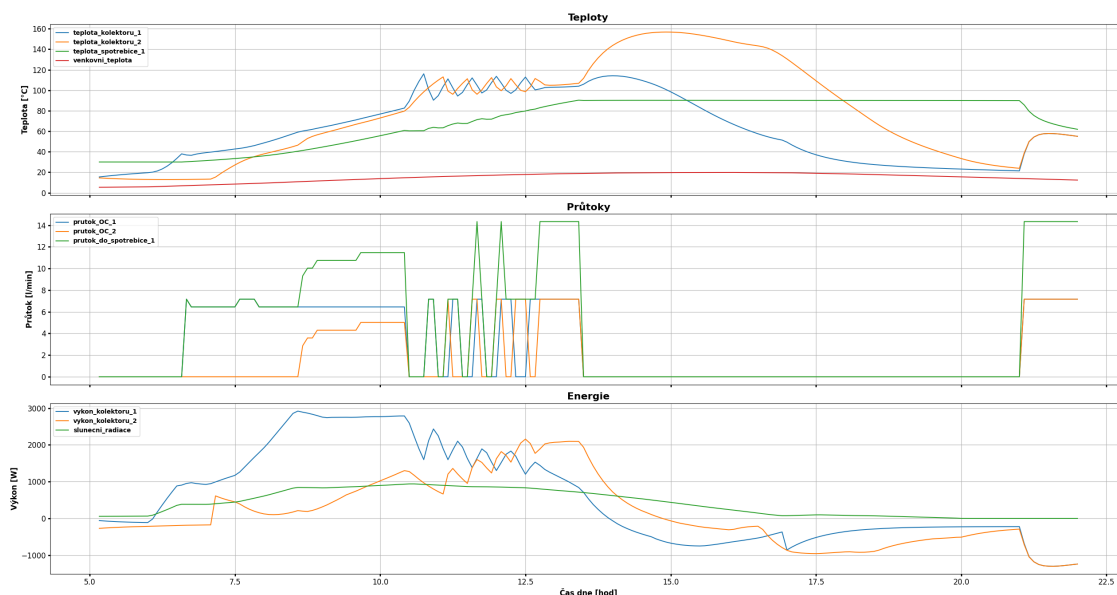
V tomto případě bylo k systému přidáno další kolektorové pole, opět složené ze čtyř sériově spojených kolektorů. Spolu s třemi solárními spotřebiči a externím výměníkem představuje toto schéma největší možný systém, který je ještě schopna řídicí jednotka ovládat. Při instalaci takového systému, zejména v kombinaci s dalšími topnými prvky, by mohlo dojít k problému s nedostatkem volných I/O portů (Vstupních/výstupních). V takovém případě by bylo nutné použít přídavné rozšiřující moduly nebo další řídicí jednotku propojenou vhodným komunikačním rozhraním.

V grafech je přidání druhého kolektorového pole zřetelně patrné. Každý ze tří grafů nyní obsahuje jednu další křivku. Aby druhé kolektorové pole nekopírovalo hodnoty prvního, bylo každé pole nasměrováno na jinou světovou stranu. První kolektorové pole s azimutem -45° je orientováno na jihovýchod, zatímco druhé pole s azimutem $+45^\circ$ směřuje na jihozápad. Orientace kolektorů byla jedním z hlavních důvodů pro vznik této celé funkce. Přidání druhého pole kolektorů ovlivňuje systém tak, že je třeba měřit další teplotu, teplotní nárůst a teplotní rozdíl, a na základě těchto hodnot ovládat druhé oběhové čerpadlo.

V grafu je časový posun viditelný hned ráno, kdy první pole kolektorů začne ohřívat již kolem 7. hodiny ránní, zatímco druhé pole se přidá až kolem 9. hodiny dopoledne. Tento postupný nástup ohřevu je hlavní změnou v tomto grafu. Obě kolektorová pole a jejich oběhová čerpadla pracují odděleně, sledují si své teplotní hranice a každý má svůj řídicí PWM signál. Platí ale zásadní pravidlo, že pokud je jedno oběhové čerpadlo zapnuto do spotřebiče, nelze zapnout druhé čerpadlo do jiného spotřebiče. Druhé čerpadlo tedy v ten moment sleduje teplotní rozdíl pouze vůči spotřebiči připojenému k prvnímu čerpadlu. Výjimkou je případ, kdy jedno oběhové čerpadlo přeruší činnost druhého, pokud probíhá neprioritní časovaný ohřev z jednoho kolektorového pole a na druhém je měřen a splňován teplotní nárůst, což umožňuje ohřívat primární spotřebič. To je jediný okamžik, kdy může oběhové čerpadlo přepnout ohřev do jiného spotřebiče.

Z výsledků grafů je patrné, že poměr počtu kolektorů k velikostem objemů vody v nádržích je optimální, jelikož byly postupně nahřáty všechny spotřebiče nad požadované teploty a teploty na kolektorech jen v jednom okamžiku lehce překročily 80°C i za slunečného dne.

Na obrázku 7.4 je znázorněno fungování systému se dvěma kolektorovými poli, které obsahují celkem 16 kolektorů, a jedním 300 litrovým zásobníkem.

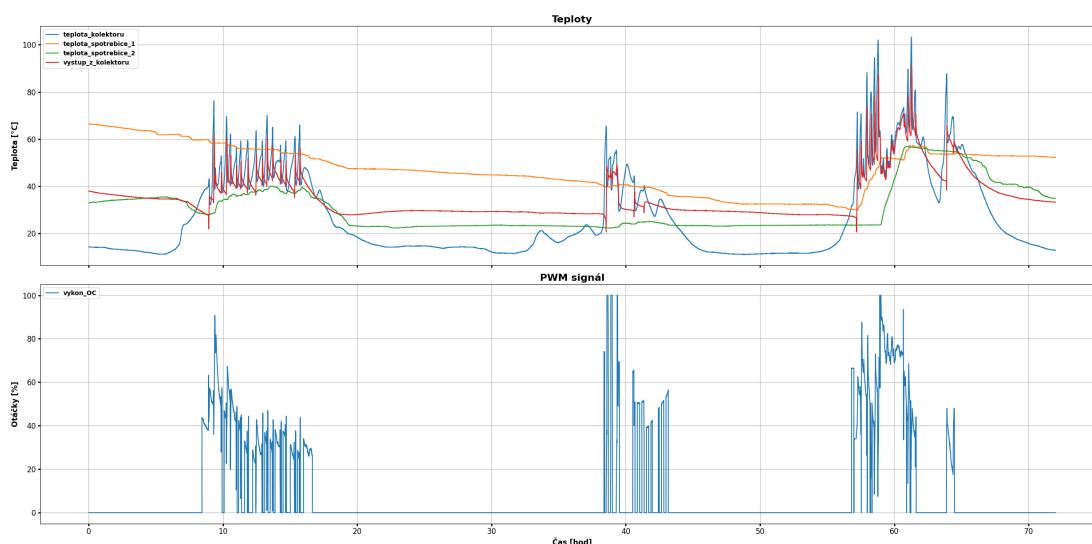


Obrázek 7.4: Simulace systému o dvou kolektorových polích a jednom spotřebiči

Výsledky regulace takového systému odpovídají očekávání. V brzkých hodinách se zásobník nahřál na maximální teplotu, následně byl chlazením kolektorů přehříván až na kritickou teplotu. V tomto moment již nebylo možné aby spotřebič přijímal další teplo, a protože kolektory neměly kam své teplo odvádět, došlo k jejich přehřátí. Systém pak musel počkat, až kolektory vychladnou na úroveň, která umožní opětovné zapnutí oběhových čerpadel a spuštění funkce chlazení spotřebičů.

7.2 Prezentace výsledků z reálného testování

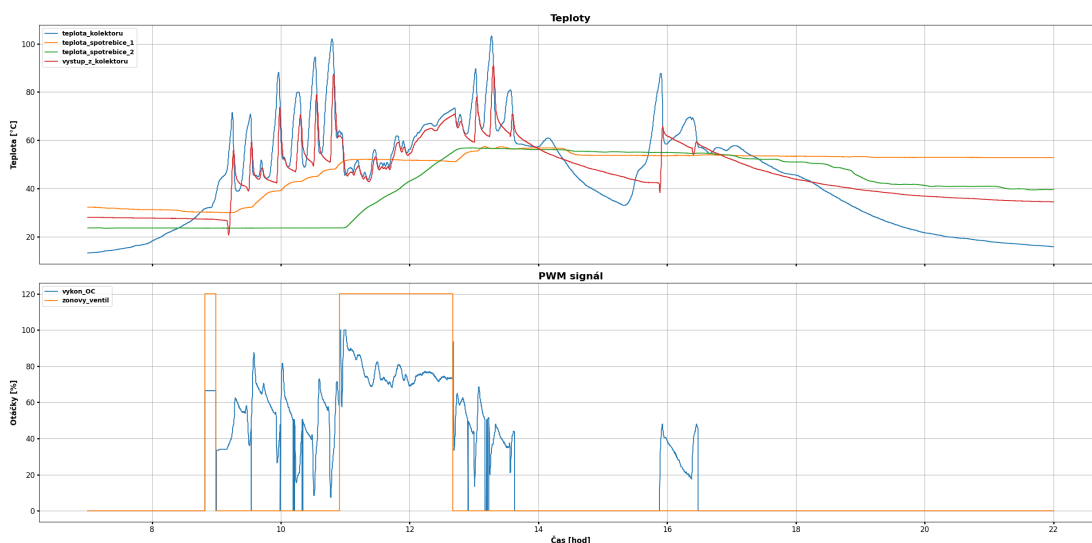
Z kapitoly o reálném testování vyšel závěr, že bylo řízení testováno pouze v období třech dnů. Jelikož data byly měřeny ze systému pomocí Datalogeru z proměnných v systému. Tudíž nebyli k dispozici data o slunečním záření a jelikož řídicí jednotka neobsahuje přídatný IPWM modul, tak ani nebyla k dispozici informace o průtoku. Proto do grafů byla zařazena informace z řízení otáček oběhového čerpadla aby bylo vidět kdy probíhal ohřev spotřebičů. Průběh naměřených dat z celých tří dní je ukázán na obrázku 7.5.



Obrázek 7.5: Reálné měření systému s dvěma kolektorovými poli a jedním spotřebičem

Z teplotních průběhů je zřejmé, že počasí nebylo příliš slunečné, zejména druhý den, který byl pravděpodobně skoro celý zamračený. I přesto lze vidět regulace občas spouštěla ve správných momentech ohřev do spotřebičů, do kterých měla.

Teplotní křivky také naznačují, že v předchozích dnech bylo pravděpodobně hodně slunečno, jelikož spotřebič 1 zůstal ohřátý na tak vysokou teplotu, že ho nebylo třeba znovu ohřívat. Solární systém tedy první dva dny pracoval pouze s druhým spotřebičem. Nejzajímavější situace nastala až třetí den, který je detailněji zobrazen na obrázku 7.6.



Obrázek 7.6: Detailní průběh třetího dne měření systému s dvěma kolektorovými poli a jedním spotřebičem

V tomto grafu byl pro upřesnění dodán průběh přepínání ventilu, poté je vidět, kdy do kterého spotřebiče probíhal ohřev. Hodnota 120 na ventilu při sepnutí do sekundárního spotřebiče byla zvolena pouze pro přehlednost v grafu, ve skutečnosti je přiváděn signál na polohový ventil o hodnotě 1 (TRUE), nebo 0 (FALSE).

Při podívání se do grafu si lze hned na začátku dne všimnout, že zprvu nebyl splněn teplotní nárůst na kolektoru pro primární spotřebič, ale byl dostatečný teplotní rozdíl vůči sekundárnímu spotřebiči. Proto do něj byl po dobu 20 minut zapnut ohřev, avšak tento ohřev se na teplotě spotřebiče neprojevil kvůli vychladnutým rozvodům po celé noci. Poté byla teplota na kolektoru dostatečná a začalo ohřívání primárního spotřebiče.

Když bylo na prioritním spotřebiči dosaženo teploty 50 °C, došlo k přepnutí ohřevu na sekundární spotřebič, který byl ohříván až na teplotu 55 °C. Poté se opět přepnul ohřev mezi spotřebiči. V odpoledních hodinách dne se začaly významně projevovat odběry teple vody, což komplikovalo čitelnost z grafů. Také se do průběhu teplot začaly promítat vlivy vedlejšího systému, který zajišťuje řízenou cirkulaci vody mezi jednotlivými zásobníky a přidavným dohřívacím spotřebičem.

7.3 Shrnutí výsledků z testovacích metod

V této podkapitole jsou shrnuty výsledky dosažené z testování systému solárního ohřevu vody, které byly prezentovány pomocí vložených grafů. Testování bylo provedeno s cílem ověřit funkčnost nejen návrhu systému, ale také správnost funkcí naprogramovaných v prostředí Mosaic.

Z prezentovaných výsledků, prováděných za různých klimatických podmínek s různými typy spotřebičů a při různých výkonech solárních kolektorů, lze vyhodnotit klíčové přednosti systému: variabilita, adaptace, flexibilita a bezpečnost provozu.

Systém se ukázal jako vysoce variabilní, což je patrné z jeho schopnosti pracovat s různými konfiguracemi kolektorových polí a spotřebičů, jak je vidět na ukázaných grafech ze simulací, kde systém efektivně řídil ohřev vody v různých scénářích. Adaptabilita systému byla prokázána jeho schopností přizpůsobit se měnícím se podmínkám, například v průběhu různých dnů s proměnlivým slunečním zářením, což je zřejmé z grafu 7.5. Změna klimatických podmínek byla také mnohokrát ověřována v simulacích.

Flexibilita systému byla prokázána schopností nastavovat různé parametry systému podle aktuálních potřeb uživatele, což umožňuje snadné přizpůsobení různým aplikacím. Bezpečnost provozu byla zajištěna funkcemi, které monitorují a regulují teploty v kolektorech a spotřebičích, což je patrné třeba v grafu 7.1, kde systém úspěšně zabránil přehřátí kolektorů a správně začal s vychlazováním spotřebiče.

V simulačním prostředí TRNSYS bylo zkoumáno mnoho různých konfigurací systému, kde byly postupně validovány a optimalizovány veškeré detaily řídicího systému. Tento proces výrazně přispěl k aktuální podobě řídicího systému, který byl následně testován v reálném prostředí.

Praktické testování ukázalo, že se podařilo úspěšně implementovat funkci solárního systému do reálného provozu, kde systém pracoval podle navrženého principu solárního ohřevu vody. Dalším kladným výsledkem bylo, že systém zabránil přehřívání kolektorů a správně řídil odvod vyrobeného tepla z kolektorů do připojených spotřebičů. Tím byla potvrzena účinnost a spolehlivost navrženého systému při reálném provozu.

Závěr

V této diplomové práci jsem se zabýval implementací a optimalizací systému solárního ohřevu vody v inteligentních budovách. Hlavním cílem bylo navrhnout a implementovat systém, který efektivně využívá solární energii a integruje pokročilé funkce s existujícími řídicími jednotkami. Byly provedeny detailní analýzy, simulace a reálné testy, které potvrdily efektivitu a spolehlivost navrženého systému.

Tento proces výrazně přispěl ke vzniku současné podoby solárního systému v řídicích jednotkách firmy Regulus. Díky tomu budou tyto jednotky připraveny k uvedení na trh a budou se moci integrovat do reálných instalací a poskytovat efektivnější získávání tepla ze solárních systémů. Tento vývoj vedl k významnému zlepšení energetické účinnosti a spolehlivosti, což zvyšuje jejich potenciál pro široké praktické využití.

Teoreticky tato práce přispěla k hlubšímu porozumění principům solárního ohřevu vody a jeho integrace do inteligentních budov. Prakticky pak poskytuje konkrétní řešení a postupy, které mohou být použity pro optimalizaci solárních systémů v reálném prostředí. Výsledky této práce mohou přispět jak ke snížení energetické náročnosti budov tak zvýšení jejich udržitelnosti. Díky těmto přínosům se otevírají nové možnosti pro širší aplikaci solárních technologií v praktických instalacích.

Výsledky této práce jsou v souladu s existujícími studiemi, které potvrzují výhody solárního ohřevu vody. Silnou stránkou této práce je komplexní přístup k návrhu a testování systému, zatímco omezení mohou spočívat v rozsahu testovacích scénářů a specifických podmínkách, ve kterých byly testy prováděny. Prezentace výsledků ukázala, že navržený systém je schopen poskytnout dostatečnou úroveň efektivnosti a spolehlivosti při různých provozních podmínkách.

Pro zajištění ještě vyšší uživatelské přívětivosti a flexibility systému doporučuji se zaměřit na vylepšení interpretace informací. Například by bylo vhodné zlepšit zobrazení aktuálního dění a při zadávání parametrů nabídnout předdefinované profily, které by obsahovaly základní nastavení často instalovaných spotřebičů. Dále by systém mohl být rozšířen o schopnost řízení tří kolektorových polí nebo čtyř spotřebičů, což by ještě více zvýšilo jeho praktickou využitelnost.

Nějaké budoucí výzkumy by se mohli například zaměřit na diagnostiku funkčnosti systému na základě souvislosti mezi dopadlým slunečním zářením a teplem dodaným solárním systémem. Zkoumání těchto souvislostí by mohlo vést k lepšímu porozumění dynamiky solárního ohřevu a dalším optimalizacím systému. Další oblastí výzkumu by mohlo být dlouhodobé testování systému v různých klimatických podmínkách a jeho integrace s dalšími technologiemi pro obnovitelné zdroje energie.

Tato diplomová práce prokázala význam a potenciál solárního ohřevu vody v inteligentních budovách. Proces výzkumu a implementace přinesl cenné poznatky, které mohou sloužit jako základ pro další rozvoj této technologie. Práce tak přispívá k dosažení udržitelnější budoucnosti a zvyšování energetické efektivnosti v sektoru budov. Výsledky a závěry této práce poskytují solidní základ pro další výzkum a praktické aplikace, které mohou vést k ještě širšímu využití solární energie a dalších obnovitelných zdrojů.

Seznam obrázků

1.1	Skladba plochého solárního kolektoru [4]	4
1.2	Skladba a celý vakuový trubicový kolektor [4, 5]	5
1.3	Typické křivky účinnosti různých druhů solárních kolektorů [7]	7
1.4	Solární řídicí jednotka EnergyFace x422 [8]	8
1.5	Solární řídicí jednotka TECH EU-402n PWM [12]	9
1.6	Solární řídicí jednotka TWI SGC 67 [15]	9
1.7	Solární řídicí jednotka DeltaSol® MX [19]	10
2.1	Schéma systému o jednom kolektorovém poli a jednom spotřebiči [20]	14
2.2	Schéma systému o jednom kolektorovém poli a třech spotřebičích [20]	15
2.3	Schéma systému o dvou kolektorových polích a třech spotřebičích [20]	16
2.4	Schéma typické sestavy solárního systému [20]	19
2.5	Vývojový diagram typicky instalovaného systému [21]	20
2.6	Vývojový diagram funkce chlazení kolektorů [21]	21
2.7	Vývojový diagram funkce chlazení spotřebičů [21]	21
3.1	Hlavní řídicí jednotka IR 14 [22]	23
3.2	Vývojové prostředí Mosaic [26]	24
3.3	Volba simulovaného PLC [26] a okno jeho terminálu	25
3.4	Podoba hlavní stránky pro testování	26
4.1	Uživatelské rozhraní	31
4.2	Schéma systému s aktuálně měřenými hodnotami	31
4.3	Servisní rozhraní - 1.část	32
4.4	Servisní rozhraní - 2.část	33
5.1	Blokový diagram komunikačního rozhraní	36
5.2	Simulační model	36
6.1	Schéma zapojení testovaného systému	40
6.2	Základní příklad zapojení základního modulu CP-1016	41
7.1	Simulace systému o jednom kolektorovém poli a jednom spotřebiči	44
7.2	Simulace systému o jednom kolektorovém poli a třech spotřebičích	44
7.3	Simulace systému o dvou kolektorových polích a třech spotřebičích	45
7.4	Simulace systému o dvou kolektorových polích a jedním spotřebiči	46
7.5	Reálné měření systému s dvěma kolektorovými poli a jedním spotřebičem	47
7.6	Detailní průběh třetího dne měření systému s dvěma kolektorovými poli a jedním spotřebičem	48

Seznam tabulek

1.1	Tabulka porovnávací řídicí jednotky pro solární ohřev	11
5.1	Přehled vstupů a výstupů prvku Type 3157	37

Bibliografie

1. LAUGHTON, Chris. *Solar Domestic Water Heating*. Routledge, 2021. ISBN 9780367787516.
2. MATUŠKA, Tomáš. *Solární zařízení v příkladech*. Stavitel. Praha: Grada, 2013. ISBN 9788024735252.
3. MATUŠKA, Tomáš. *Solární tepelné soustavy*. Sešit projektanta – pracovní podklady. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. ISBN 978-80-02-02186-5.
4. TOMÁŠ MATUŠKA. *Solární tepelné soustavy*. Dostupné také z: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/mp-1-6/mp-1-6-11/>.
5. SOLAROBCHOD. *Vakuový 20-ti trubicový kolektor*. Dostupné také z: <https://solarobchod.webnode.cz/products/produkt-1/>.
6. VIESSMANN. *Rozdíl mezi plochými a trubicovými solárními kolektory*. Dostupné také z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/technologie/rozdil-mezi-plochymi-trubicovymi-solarnimi-kolektory.html>.
7. PATRES. *Solární tepelné soustavy* [http://www.patres.net/media/103025/sol_rn__tepekn__soustavy.pdf]. 2024. Přístup na web 16. května 2024.
8. PROPULS S.R.O. *Česká solární regulace EFX422 s konektorem pro anténu*. Dostupné také z: <https://shop.propuls.cz/ceska-solarni-regulace-efx422-s-konektorem-pro-antenu/pro17445.html>.
9. PROPULS S.R.O. *Regulace a řídicí systémy - EnergyFace*. Dostupné také z: <https://www.propuls.cz/regulace-ridici-systemy-energyface>.
10. PROPULS S.R.O. *EFX422 Solární regulace - Návod pro uživatele*. Tisková verze 1.01. Tech. zpr. Propuls s.r.o. Dostupné také z: <https://shop.propuls.cz/prilohy/soubory/efx422-solarni-regulace-navod-pro-uzivatele-81.pdf>. Technický list. Dostupné online: [URL] (Přístup k dokumentu: [05.01.2024]).
11. PROPULS S.R.O. *EFX Regulace - Informační letáček*. 2020. Tech. zpr. Propuls s.r.o. Dostupné také z: <https://shop.propuls.cz/prilohy/soubory/efx-regulace-informacni-letacek-88.pdf>. Technický list. Dostupné online: [URL] (Přístup k dokumentu: [05.01.2024]).
12. VÁŠETOPENÍ.CZ. *Technický list EU 402N PWM - Regulátor solární*. Dostupné také z: <https://www.vasetopeni.cz/tech-eu-402n-pwm-regulator-solarni-13290cz793/>.
13. CONTROLLERS, Tech. *O nás - Tech Controllers*. Dostupné také z: <https://tech-controllers.cz/o-nas-cs/firma-cs>.
14. TECH CONTROLLERS. *EU 402N PWM - Technický manuál*. 2022. Tech. zpr. Tech Controllers. Dostupné také z: https://tech-controllers.cz/uploads/manuals_eu/eu-402n-pwm_cz.pdf. Technický manuál. Dostupné online: [URL] (Přístup k dokumentu: [05.01.2024]).
15. OGREVAJ, Trgovina Varcno. *Diferenční solární regulátor SGC67HV*. Dostupné také z: <https://trgovina.varcno-ogrevaj.si/izdelek/regulatorji/kotlovni-in-solarni-regulatorji/diferencni-solarni-regulator-sgc67hv/>.

16. TWI S.R.O. *Profil společnosti - TWI s.r.o.* Dostupné také z: <https://www.twi.cz/profil-spolecnosti/twi-s-r-o-profil-spolecnosti>.
17. SOLAR NIZBOZI. *SGC 26-36-67 - Technický manuál*. 2012. Tech. zpr. Solar Nizbozi. Dostupné také z: [http://www.solarnizbozi.cz/user/related_files/sgc_26-36-67_cze\(3\).pdf](http://www.solarnizbozi.cz/user/related_files/sgc_26-36-67_cze(3).pdf). Technický manuál. Dostupné online: [URL] (Přístup k dokumentu: [05.01.2024]).
18. SOLÁRNÍZBOŽÍ.CZ. *Solární regulační systém TWI SGC 67*. Dostupné také z: <http://www.solarnizbozi.cz/obehova-cerpadla/twi-sgc-67-solarni-regulator/>.
19. WEBDEVELOPMENT-TEAM, RESOL. *RESOL GmbH - Solar system controllers, DeltaSol MX System controller* [<https://www.resol.de/en/produktdetail/69>]. 2024. Accessed: 2024-04-07.
20. REGULUS. *Sbírka schémat instalací*. Praha: Regulus, 2018. Sbírka schémat instalací. (Přístup k dokumentu: [Tištěná forma]).
21. VRÁNA, Oto. *Vývojový diagram typicky instalovaného systému pro solární ohřev vody*. 2024. Nevydaný materiál.
22. REGULUS. *Regulátor IR 14 CTC*. Dostupné také z: <https://www.regulus.cz/cz/regulator-ir-14-ctc>.
23. REGULUS. *Technický list IR 14*. 2024. Dostupné také z: https://www.regulus.cz/?download=tech-listy/cz/tl_cz_technicky-list_ir14-rtc.pdf. Accessed: 2024-05-17.
24. REGULUS. *Návod k použití IR 14 RTC*. 2024. Dostupné také z: https://www.regulus.cz/?download=navody/cz/nn_cz_navod_ir14_rtc.pdf. Accessed: 2024-05-17.
25. TECOMAT. *Mosaic ProgIEC*. 2024. Dostupné také z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefndmkaj/https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00321_01_mosaic_progiec_cz. Accessed: 2024-05-17.
26. TECOMAT. *Mosaic ProgStart*. 2024. Dostupné také z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefndmkaj/https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00320_01_mosaic_progstart_cz. Accessed: 2024-05-17.
27. TECOMAT. *Mosaic WebMaker*. 2024. Dostupné také z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefndmkaj/https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00328_01_mosaic_webmaker_cz. Accessed: 2024-05-17.
28. PROSTŘEDÍ, Společnost pro techniku. *Vytápění, větrání, instalace: časopis Společnosti pro techniku prostředí. Vytápění, větrání, instalace*. 2024. Praha: Společnost pro techniku prostředí, ISSN 1210-1389, Accessed: 2024-05-17.
29. REGULUS. *Solarten Super Plus*. Dostupné také z: <https://www.regulus.cz/cz/solarten-super-plus>.
30. REGULUS. *Solární kolektor KPS1 SVT 220/50*. Dostupné také z: <https://www.regulus.cz/cz/slunecni-kolektor-kps1-svt-22050>.
31. REGULUS S.R.O. *Akumulační nádrže s přípravou teplé vody a dělicím plechem*. 2018. Tech. zpr. Regulus. Dostupné také z: https://www.regulus.cz/download/prospekty/cz/aku-nadrze-hsk-prospekt_cz.pdf. Prospekt. Dostupné online: [URL] (Přístup k dokumentu: [06.01.2024]).
32. REGULUS. *Technický list KPG1+*. 2024. Dostupné také z: https://www.regulus.cz/?download=tech-listy/cz/tl_cz_technicky-list_kpg1plus.pdf. Accessed: 2024-05-17.

33. REGULUS. *Technický list RBC 750 HP*. 2024. Dostupné také z: https://www.regulus.cz/?download=tech-listy/cz/tl_cz_technicky-list_rbc-750-hp.pdf. Accessed: 2024-05-17.