

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informačních technologií

**Návrh a implementace řídicího systému adaptivního osvětlení
budov odraženým slunečním zářením.**

Diplomová práce

Autor: Bc. Petr Slanina
Studijní obor: Aplikovaná informatika

Vedoucí práce: Ondřej Krejcar prof. Ing. Ph.D.

Hradec Králové

Duben 2023

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 26.4.2023

Bc. Petr Slanina

Poděkování:

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ondřeji Krejcarovi prof. Ing. Ph.D. za metodické vedení práce, poznámky a připomínky.

Anotace

Cílem práce bude navrhnout, realizovat a zhodnotit automatizovaný systém natáčení zrcadla o velikosti 1 m². Účelem natáčení zrcadla bude odrážet sluneční světlo do okna budovy za účelem zlepšení osvitů a vytápění místnosti. Práce bude předpokládat umístění v lokalitě České republiky, respektive na severní polokouli severně od Obratníku raka. Typickým nasazením zrcadla bude umístění mimo budovu tak, aby bylo možné osvětlit okno na severní straně budovy, do kterého slunce nikdy nesvítí přímo. Základní premisou je, že užitečný tepelný výkon slunečního svitu dopadajícího kolmo na 1 m² plochy v blízkosti povrchu země na 50. rovnoběžce je cca 1kW. Tento výkon nasměrovaný do místnosti způsobí zvýšení teploty v místnosti. Související a nezanedbatelnou funkcionalitou systému je prodloužení možnosti využití denního světla v místnosti, a to i místnostech s okny umístěnými jinak než na sever, například v zimních měsících, kdy může být přímý osvit stíněný sousední budovou. Při ověřování vlivu systému bude použita některá z metod průběžného záznamu teploty, nebo osvitů místnosti a vně budovy.

Annotation

Title: Design and implementation of adaptive building solar illumination control system

Goal of this work is to design, realize and evaluate automatic system of a rotating 1 m² mirror. Intention of rotating mirror is to reflect sunlight to a window of a building with purpose of better lightning and heating. This dissertation will assume location in the Czech Republic, therefore Northern Hemisphere, north of the Tropic of Cancer. Typical location of the mirror will be outside of the building, that way so it can be possible to illuminate the window located in northern side of the building where the sun can't reach. Basic premise is that the profitable heat output of the sunlight directing vertically on the 1 m² window is about 1kW. This output directed to a room, like we described, will cause increasing of a temperature. Coherent and important function of the system is to stretch out daylight in the room

where all the windows are located somewhere else than North where the sunlight can't be reached, for example in the winter, where the sun is blocked by other buildings. During validation of the system will be used some of a method of continuous temperature recording.

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce.....	2
3	Úspora a efektivní využívání energií v budovách.....	3
3.1	Využití slunečního světla ke zvýšení tepelného a světelného komfortu.	3
3.2	Smart home.....	7
3.2.1	Řízení osvětlení	8
3.2.2	Sledování energie	8
4	Realizované a používané projekty	9
4.1	Trombeho stěna.....	12
4.1.1	Realizační cena	14
4.1.2	Provozní a servisní roční náklady.....	15
4.1.3	Životnost systému	15
4.1.4	Účinnost systému	15
4.2	Kapalinové solární panely – ohřev vody a topení.....	15
4.2.1	Realizační cena	17
4.2.2	Provozní a servisní roční náklady.....	17
4.2.3	Životnost systému	17
4.2.4	Účinnost systému	18
4.3	Zrcadlová parní elektrárna.....	18
4.4	Systém zrcadel osvětlující náměstí v údolí.....	19
4.4.1	Realizační cena	20
4.4.2	Provozní a servisní roční náklady.....	20
4.4.3	Životnost systému	20
4.4.4	Účinnost systému	21
4.5	Systémy distribuce denního světla pro budovy	21

4.5.1	Realizační cena	24
4.5.2	Provozní a servisní roční náklady	24
4.5.3	Životnost systému	24
4.5.4	Účinnost systému	25
4.6	Fotovoltaický ostrovní systém	25
4.6.1	Realizační cena	27
4.6.2	Provozní a servisní roční náklady	27
4.6.3	Životnost systému	27
4.6.4	Účinnost systému	27
5	Metodika zpracování.....	28
6	Návrh systému osvětlení odraženým světlem	32
6.1	Navrhovaný algoritmus	35
6.1.1	Definice proměnných/zkratky	35
6.1.2	Popis algoritmu	37
7	Experimentální měření nasazení systému	39
8	Testování a vyhodnocení dat z experimentu.....	43
9	Diskuze výsledků	45
10	Závěry a doporučení.....	46
11	Seznam použité literatury	47

Seznam obrázků

Obr. 1 Spektrum slunečního záření po průchodu zemskou atmosférou (4)	5
Obr. 2 Plocha kolmá ke slunečním paprskům	5
Obr. 3 Přibližné znázornění distribuce slunečního záření (4)	6
Obr. 4 Model osvětlení budov P se zastíněním budovami 20m a 30m vysokými (6) ...	9
Obr. 5 Mapa ozařování složitého městského prostředí (6)	10
Obr. 6 Vytápění Trombeho stěnou (9)	12
Obr. 7 Účinnost vytápění Trombeho stěnou (10)	13
Obr. 8 Větrání pomocí Trombeho stěny (11)	14
Obr. 9 Kapalinový solární panel se zásobníkem a výměníkem tepla (13)	16
Obr. 10 Kapalinový solární panel se zásobníkem a výměníkem tepla - foto (13)	17
Obr. 11 Princip koncentrování sluneční paprsků (11)	18
Obr. 12 Architektura systému CSP využívající solární věž(14)	19
Obr. 13 Zjednodušené schéma zrcadlového systému obce Rjukan(14)	20
Obr. 14 Sběrná zrcadla pasivního systému(18)	21
Obr. 15 Změna optické účinnosti při různé úhlové odchylce (19)	22
Obr. 16 Využití Fresnelovy čočky(20)	23
Obr. 17 Distribuce světla zrcadlovou trubicou	24
Obr. 18 Vývojový diagram procesu 1. část – vlastní tvorba	30
Obr. 19 Vývojový diagram procesu 2. část – vlastní tvorba	31
Obr. 20 Letecký snímek situace – vlastní tvorba	32
Obr. 21 půdorys situace s vodorovnými úhly – vlastní tvorba	33
Obr. 22 Otočná konstrukce zrcadla, boční pohled – vlastní tvorba	34
Obr. 23 Otočná konstrukce zrcadla, vrchní pohled – vlastní tvorba	35
Obr. 24 Graf průběhu teplot bez použití zrcadla – vlastní tvorba	40
Obr. 25 Graf průběhu teplot s použitím zrcadla – vlastní tvorba	41
Obr. 26 Graf průměrných hodnot – vlastní tvorba	42

1 Úvod

Práce navrhuje systém otočného zrcadla v součinnosti s regulací výkonu otopné soustavy. Systém je navržený tak, aby vliv slunečního světla odraženého do okna obytné místnosti upravoval spotřebu energie na vytápění. Regulace spotřeby bude probíhat částečně automaticky v závislosti na signálech z čidel a částečně v závislosti na reakci uživatelů. Systém bude předchodzí preference uživatelů zohledňovat při aktuálním výpočtu pro řízení kotle.

2 Cíl práce

Cílem práce je porovnat navrhované řešení se řešeními již realizovanými a zhodnotit výhody a nevýhody tohoto řešení.

Realizovaný experiment slouží ke sběru dat pro konkrétní lokalitu a konkrétní stavební řešení budovy.

Následná analýza dat vede k zobecnění přínosů a záporů řešení.

Experiment je navržen pro osvětlení okna, jehož venkovní kolmý vektor má azimut 300° tedy přibližně ZSZ. Azimut středu okna vzhledem ke středu zrcadla je 140° tedy přibližně JV. Vodorovná vzdálenost středů zrcadla a okna je 6 m. Výškový rozdíl je pak 3,5m. Okno má rozměry 970 x 1450 mm.

Zrcadlo o rozměrech 1x1 metr je umístěno na konstrukci otočné ve dvou osách.

Svislá osa umožňuje nastavení azimutu a vodová osa na nastavení úhlu elevace resp. náklonu zrcadla.

Experiment řeší problematiku účinnosti odrazu, účinnou plochu zrcadla, plochu okna a ztráty průchodem sklem.

Cílem práce je prověřit možnosti úspory energie pro vytápění a osvětlení budov. Práce je zaměřena na využití slunečního světla jako zdroje přirozeného světla a tepla. Tato práce se zabývá zařízením zvyšujícím osvit a teplotu místnosti jako žádoucími efekty pro stavby trpící špatnou orientací oken, nebo zastíněním okolím.

3 Úspora a efektivní využívání energií v budovách

Tepelný komfort je vnímán lidmi různě v různých situacích. Pro fyzicky pracujícího člověka je vhodnější nižší teplota vzduchu, než je pro člověka pracujícího v sedě u stolu. Pro spánek je vhodná také nižší teplota. Teplo je vnímáno také formou záření, proto v místnosti prosvětlené sluncem je komfortní teplota vzduchu nižší.

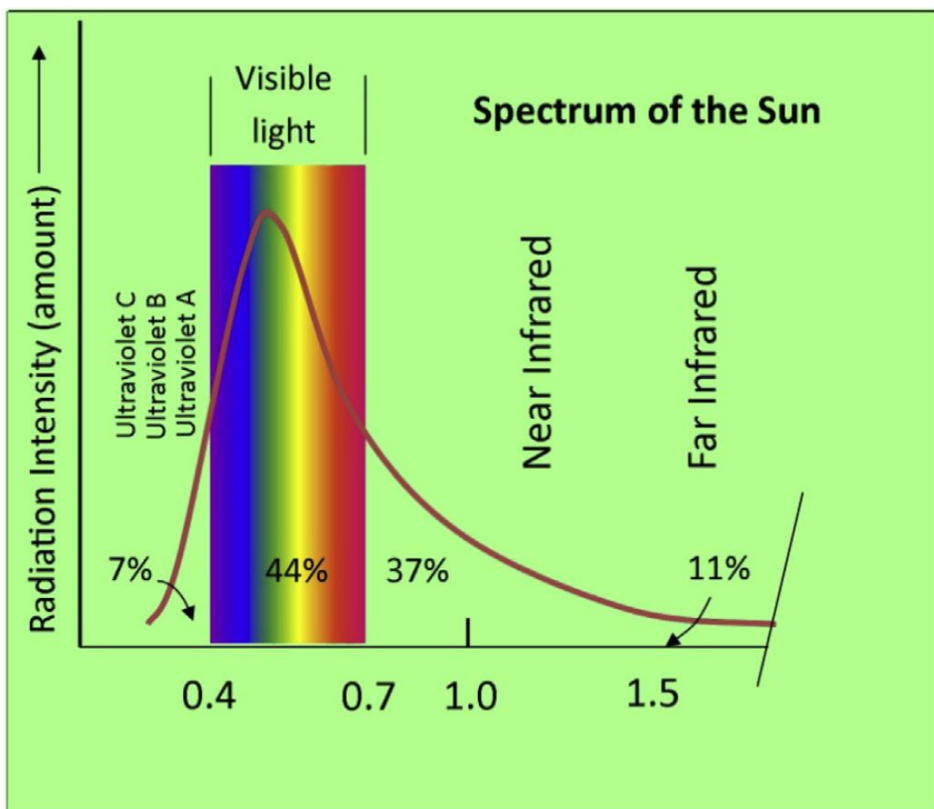
3.1 Využití slunečního světla ke zvýšení tepelného a světelného komfortu.

Využívání osvětlení ve vnitřních prostorech je nezbytnou součástí lidského života a celkově pokroku lidstva. Tepelný komfort interiéru v zimním období s sebou vždy nesl snížení přístupu slunečního světla. Tato nevýhoda byla redukována zkvalitněním a zvětšením oken, přesto je často využíváno umělé osvětlení i ve dne. Kombinace slunečního světla a umělého osvětlení může přinášet nejen přesvícení, ale u nepřirozené podání barev v interiéru. Lidský zrak je primárně adaptovaný na sluneční světlo, jehož jednotlivé složky mají vliv nejen na subjektivní vnímání světelného komfortu, ale na biologické procesy lidského těla. Sluneční světlo má pozitivní vliv na tvorbu serotoninu a melatoninu. Serotonin je přenašeč nervových vzruchů ovlivňuje náladu, paměť, vnímání bolesti, spánek i chuť k jídlu, má vliv i na napětí hladkého svalstva. Melatonin přispívá ke zlepšení spánku.(1) Nedostatek slunečního světla na psychiku prověřovala studie provedená na obyvatelích horské vesnice zastíněné 6 měsíců v roce hřebenem hor prokázala, že v dané vesnici jsou častější případy sezónní afektivní poruchy způsobené nedostatkem přirozeného světla. Jednalo se o vesnici Rjukan v Norsku, kde bylo v roce 2013 instalováno velké otočné zrcadlo na protilehlý hřeben (viz. dále realizované projekty). Toto zrcadlo osvětluje náměstí, které se od té doby spontánně zaplňuje lidmi a slouží tak jako nový prostor k neformálním setkáním. Podle studie lidem se sezónní poruchou stačí 30 minut denně, pro obnovení tvorby serotoninu, melatoninu a následnému zlepšení sezónní poruch a spánku.(2)

Sluneční záření prostupující atmosférou obsahuje 37 % tepelného záření, které je mimo viditelné spektrum, ale ohřívá povrchy osluněných těles včetně lidského těla. Ostatní složky slunečního světla se po dopadu na různé povrchy v různém poměru částečně odrážejí, částečně mění na chemickou energii a částečně mění přímo na tepelnou energii. Odrážení viditelných částí spektra umožňuje lidskému zraku vnímat barvy povrchů, proto složení spektra umělého osvětlení ovlivňuje vnímání barev. Ultrafialové světlo je podporuje rozklad vody na vodík a kyslík na vlkém povrchu, tvorbu přízemního ozonu a degradaci výrobků z polymerních materiálů, tedy zkřehnutí plastových výrobků.

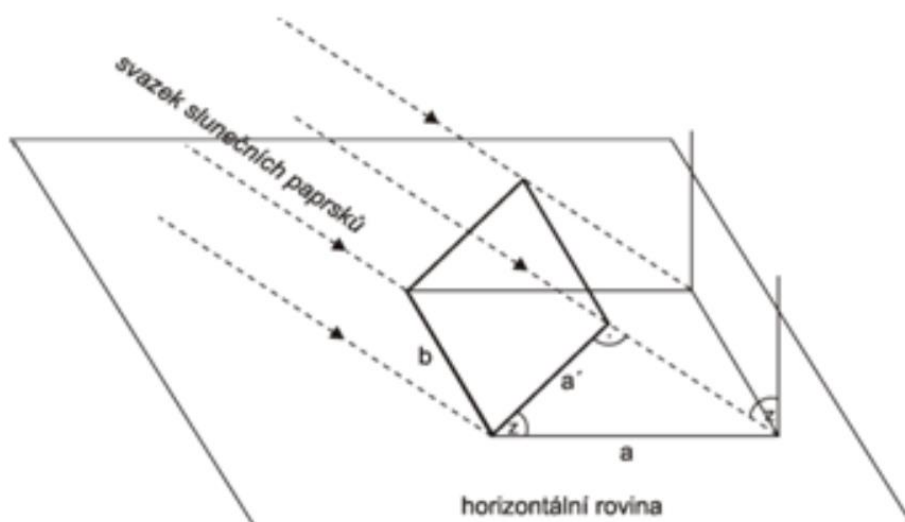
UV záření má na lidský organismus jak pozitivní, tak negativní vliv. Podstatná je intenzita a délka expozice. Mezi prospěšné lze zařadit tvorbu vitamínu D a posílení imunity. Studie dále prokázali vliv na snížení některých onemocnění jako například Crohnova choroba, kolitida a roztroušená skleróza. Daná studie zpracovávala data obyvatel žijících v Austrálii na různých zeměpisných šířkách s tím, že osoby žijící dál od rovníku jsou vystavovány menším dávkám UV záření. Naproti tomu intenzivní vystavení UV záření může způsobit poškození kůže a očí. (3)

Sluneční světlo dopadající na zemský povrch obsahuje celou škálu světelného spektra. Jednotlivé vlnové délky nejsou však obsaženy rovnoměrně.



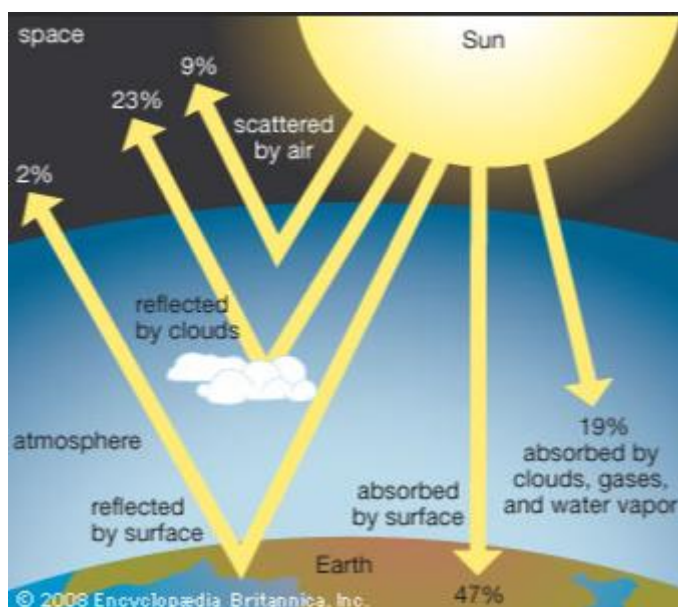
Obr. 1 Spektrum slunečního záření po průchodu zemskou atmosférou (4)

Celkové maximální množství energie dopadající na úrovní povrchu země na jeden čtvereční metr plochy kolmé ke slunečnímu záření je přibližně $1\text{kW}/\text{m}^2$.



Obr. 2 Plocha kolmá ke slunečním paprskům

Nad úrovní zemské atmosféry je to přibližně $1,353 \text{ kW/m}^2$. Tato hodnota se nazývá solární konstanta. (5)



Obr. 3 Přibližné znázornění distribuce slunečního záření (4)

V ranních a podvečerních hodinách paprsky prostupují atmosférou delší vzdálenost, současně se v takových steacích mění spektrum procházejícího záření. Ve večerních hodinách je nižší podíl složky UV a barev fialových a modrých.

Tepelný komfort vnímaný subjektivuje tedy souborem vnímání teploty vzduchu, prodění vzduchu, umělého osvětlení místnosti, slunečního osvětlení místnosti a přímého slunečního osvětlení konkrétní osoby. Závěry několika studií ukazují, že není reálné paušalizovat vnímání tepelného komfortu napříč zeměpisnou polohou, ročním obdobím, lidskou aktivitou apod. *Normy a metody predikce tepelného komfortu založené na "racionálním přístupu", které neberou v úvahu věk, pohlaví a rasu a naznačují úzký rozsah tepelného komfortu, byly zpochybněny a prokázány jako mylné mnoha výzkumnými studiiemi v různých částech světa.* (1) Studie vyhodnocovali tepelnou pohodu několika způsoby. Například výkoností kancelářských pracovníku při psaní a zpracování textu, nebo množstvím uživatelských zásahů do nastavené teploty topení a klimatizace. Studie doporučuje měřit čtyři fyzikální parametry: sálavé teplo, relativní vlhkost, teplotu vzduchu a rychlost vzduchu. Tyto parametry lze měřit pomocí senzorů. Online průzkum je užitečnou metodou pro sběr lidských reakcí na tepelný stav. Dále doporučuje

zpracovat osobní profil uživatele zahrnující věk, pohlaví a vzorce aktivity i s ohledem na obvyklé oblečení. Tyto informace by poskytly údaje pro srovnávací analýzu založenou na obyvatelích a jejich tepelných preferencích. Analýza fyzikálních měření a průzkum by pomohly pochopit požadovaný tepelný komfort uživatelů.(1)

3.2 Smart home

Smart home je dům s takovým systémem, který dokáže automaticky ovládat všechny jeho spotřebiče bez pomoci, a i bez přítomnosti uživatele. Jedná se tedy o systém, který pomocí aplikace v mobilním telefonu nebo pomocí ovladače, umožňuje uživateli ovládat dům na dálku, jako třeba ovládat teplotu v domě, osvětlení nebo bezpečností přístup. Účelem smart home je zjednodušit uživateli život, pokud se například jedná o člověka s tělesným postižením nebo o seniora. Hlavní výhodou smart home assistance je úspora energie, a tedy peněz uživatele. (21)

Účinný smart home zařízení si dokáže navyknout na život uživatele a podle toho ovládat spotřebiče. Například si vezměme člověka, který vstává každý den v sedm ráno. Smart home zařízení se například naučí ovládat termostat tak, že začne topit dvě hodiny před tím, než se uživatel probudí, a tedy ve chvíli probuzení je v domě taková teplota, kterou si nastaví. Stejně to může fungovat i přes všední den, kdy je člověk v práci, a jakmile se vrací domů, tak v předem danou nebo vypočítanou dobu, má dům určitou teplotu. Podobně samozřejmě fungují i ostatní spotřebiče, jako zásuvky, světlo nebo kávovar.

Smart home je tedy používán za účelem několika cílů, jako například:

Řízení teploty uvnitř (pomocí termostatů nebo klimatizace)

Hlavní důvod řízení teploty uvnitř obydlí je udržovat teplotní komfort a šetření ceny energie. V určitém případě systém kontroly termostatů poskytuje tyto výhody: Schopnost přístupu a ovládání vnitřní teploty kdykoli a odkudkoli pomocí aplikace v mobilu, schopnost sledování a ovládání teplot v každém pokoji odděleně,

a nakonec schopnost plánování (nižší teploty během dne, kdy nikdo není doma, nebo během prázdnin).

3.2.1 Řízení osvětlení

Velké domovy, se spoustou pokojů mohou způsobit velké škody na ceně energií jednoduše proto, když necháte rozsvíceno v jednom z pokojů. V takovýchto případech aplikace v telefonu ukáže, kde je rozsvíceno. Navíc, smart lightning control systém zlepšuje zabezpečení domu například tak, že když je obyvatel domů na dovolené, systém rozsvěcí a zhasíná světla, jako by v domě někdo byl.

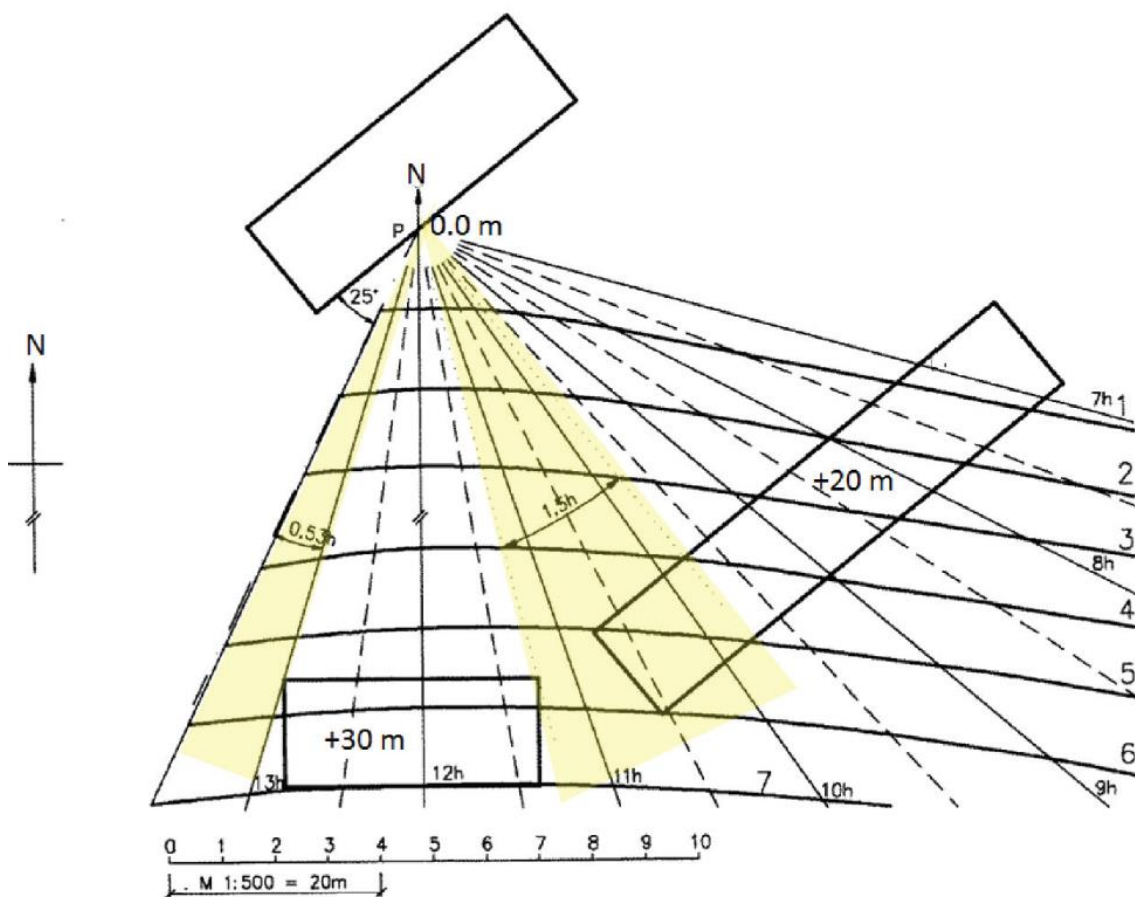
3.2.2 Sledování energie

V dnešní době se celá země snaží o udržitelné a energeticky efektivní řešení, tedy užívání energeticky obnovitelných energetických zdrojů je nejlepší řešení. Fotovoltaické panely převádějí sluneční svit na elektrickou energii. Kombinování solárního systému a chytré technologie se výhody obnovitelné energie maximalizují.

(22)

4 Realizované a používané projekty

Základní problematika, kterou je potřeba řešit, je samotný přístup ke slunečnímu osvětlení. Jednotlivé příklady jsou sjednoceny pro území České republiky, respektive pro severní polokouli severně od obratníku Raka ($23,5^{\circ}\text{N}$) a jižně od severního polárního kruhu ($66,5^{\circ}\text{N}$), kde Slunce svítí v poledne od jihu. Při návrhu budov je třeba zohlednit jak světové strany, tak i stíny vrhané porostem, terénem a okolními budovami. Například okno směřující na sever bez zastínění je osluněno jen v letních měsících před 6. hodinou ranní a po 6. hodině odpolední SEČ (UTC+1). Zastínění ostatními budovami je urbanistický a legislativní problém, který je v každé zemi řešený jinou legislativou. V ČR je normou zajištěna minimální délka přímého osvětlení denně, kterou musí splňovat alespoň část bytu. V hustých zástavbách se proto tato zastínění předem modelují.(6)



Obr. 4 Model osvětlení budu P se zastíněním budovami 20m a 30m vysokými (6)



Obr. 5 Mapa ozařování složitého městského prostředí (6)

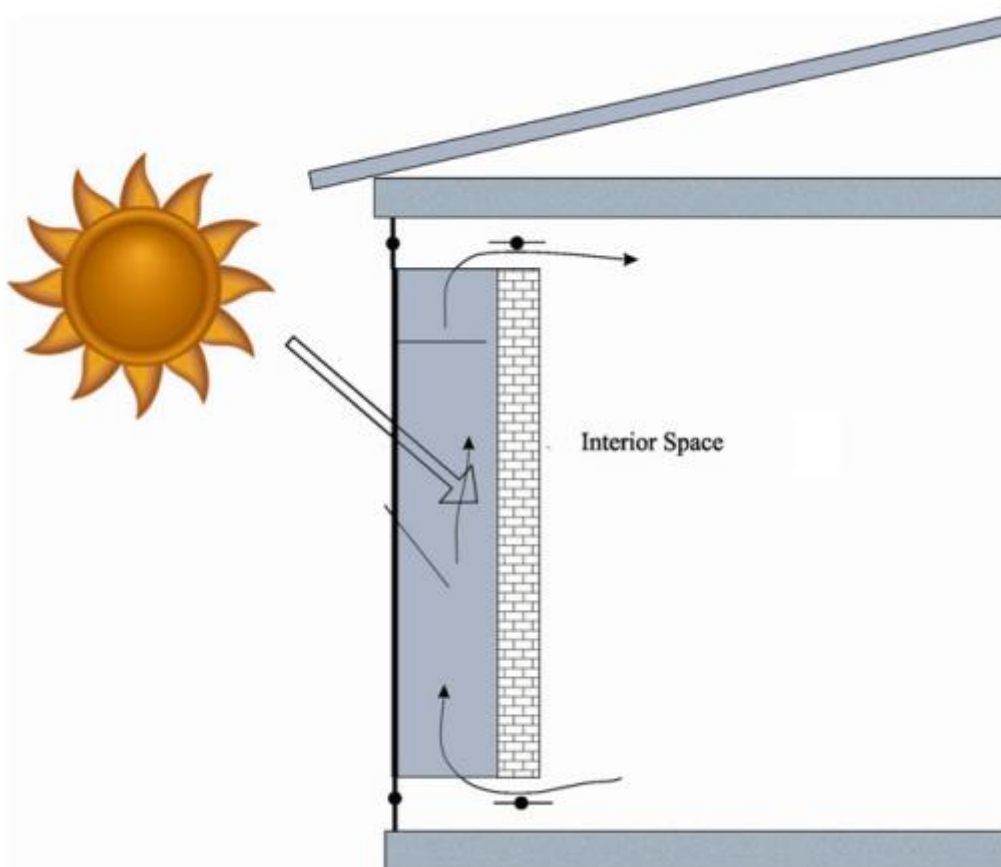
Pro potřeby vizualizace oslunění a zastínění jsou využívány profesionální softwarové nástroje tak, aby nebylo zapotřebí stavět zmenšené modely jako v minulosti například softwarový nástroj HELIOS. (7) Podle modelů je možné rozhodnout o vhodném systému sběru slunečního světla a jeho umístění na střeše, ne stěně, nebo mimo budovu. Systému je v současnosti realizováno mnoho, některé sbírají pouze viditelné světlo některé využívají pouze teplo a některé kombinují oba přínosy. Systémy řeší i opačný problém, kdy slunečního světla a tepla je mnoho. V takovém případě se s úspěchem používají vnitřní horizontální nebo vertikální žaluzie. Účinnější variantou jsou předokenní horizontální žaluzie. Žaluzie mohou být nastavitelné ručně, nebo motorovým pohonem, případně mohou být nepohyblivé. V místech s větší zeměpisnou šířkou je možné pevné žaluzie umístit tak, aby

v letních měsících stínily výrazně více než v zimních měsících, kdy je využito rozdílné výšky slunce nad obzorem.

Návrh a užití jednotlivých systémů je nutné vždy zvážit s ohledem na design budovy, účel, účinnost, vzhled, nutný zásah do budovy, cenu a návratnost investice. Samostatným hlediskem je ekologická stopa nejen energie potřebné pro vytápění, chlazení a svícení, ale i ekologická stopa výroby jednotlivých částí úsporných systémů. Nyní se obecně předpokládá, že ekologická stopa obvykle používaných prvků bude při delší používání úsporných systémů nahrazena benefity například v úspoře CO₂. Případný rozpor tohoto tvrzení tato práce neřeší.

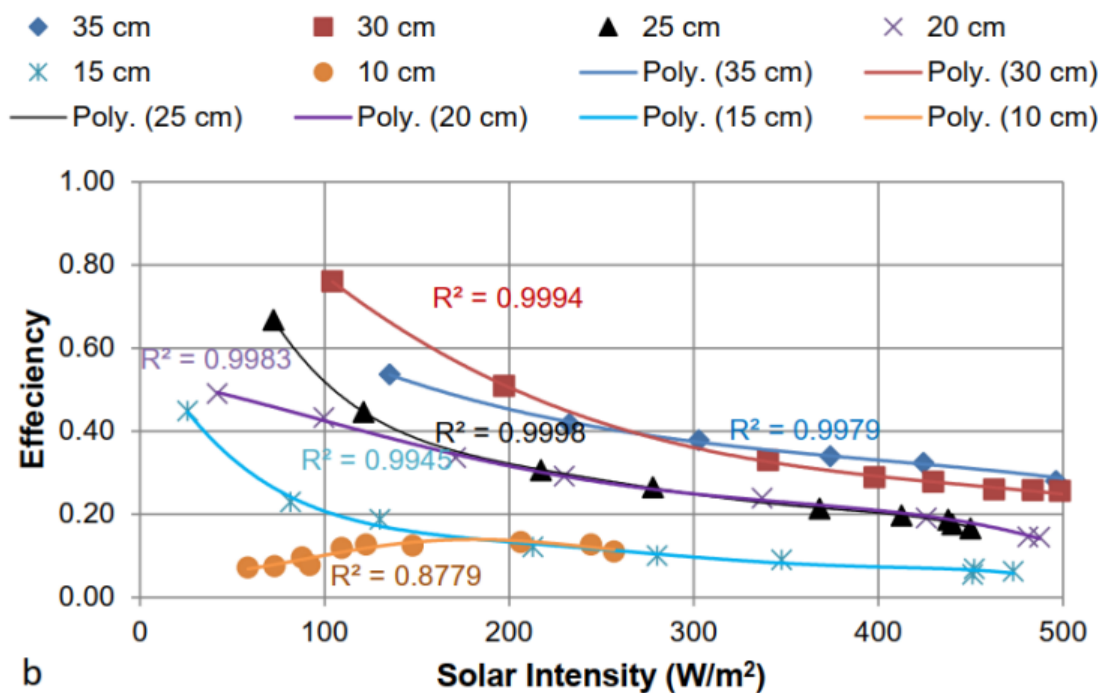
4.1 Trombeho stěna

Trombeho stěna je stavební projekt sestávající ze skleněné před stěny, vzduchové mezery před samotnou vnější stěnou budovy. Stěna je natřena černou nebo jinou tmavou matnou barvou. Systém je umístěn na osluněné stěně bez oken. Vzduch mezi sklem a stěnou je ohříván od stěny, která je ohřívána slunečním světlem. Teplý vzduch má tendenci samovolně stoupat. Teplý vzduch jsme si stěny je možné odvádět dvěma způsoby podle volby využití. Pro potřeby vytápění místnosti je teplý vzduch odváděn horním prostupem do místnosti a spodním prostupem přiváděn nejchladnější vzduch z místnosti.(8)



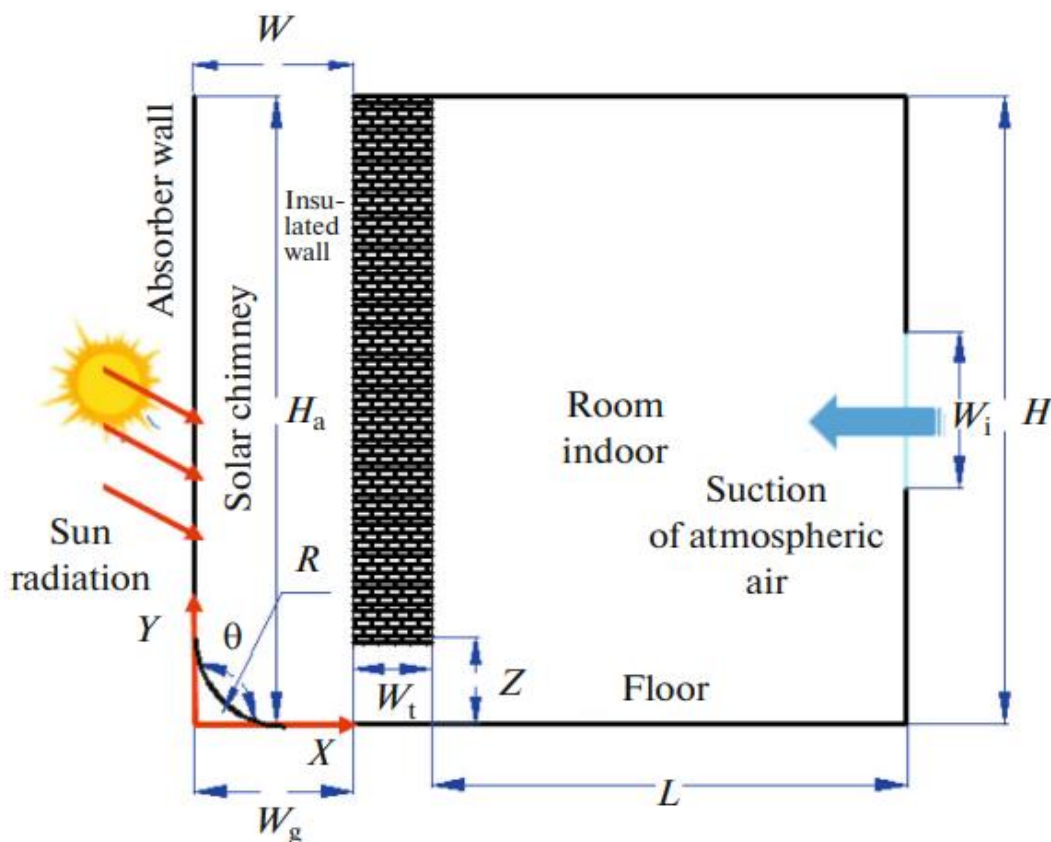
Obr. 6 Vytápění Trombeho stěnou (9)

Účinnost systému topení se pohybuje od 20 do 80 % v závislosti na šířce mezistěny, venkovní teplotě a intenzitě slunečního záření.



Obr. 7 Účinnost vytápění Trombeho stěnou (10)

Větrání Trombeho stěnou předpokládá vstup čerstvého vzduchu na opačné straně místnosti.



Obr. 8 Větrání pomocí Trombeho stěny (11)

System vyhřívání Trombeho stěnou. Se vyznačuje vysokou účinností přeměny slunečního záření na teplo. Teplo vzniká nejen dopadem infračerveného záření, ale i velká část viditelného a ultrafialového spektra je na tmavé matné ploše přeměněna na teplo. Polovina ztrát Trombeho stěny je vyzářena do budovy. Ztráty skleněnou stěnou lze výrazně snížit instalováním moderních trojskel, případně vhodným pokovením skla. Nevýhodou je zásadní zásah do vzhledu budovy.

4.1.1 Realizační cena

Realizační cena Trombeho stěny v přepočtu na m^2 osluněné plochy se pohybuje od 10 000,- do 50 000,-Kč dle celkových rozměrů, použitého skla a architektonického řešení.

4.1.2 Provozní a servisní roční náklady

Provozní a servisní roční náklady jsou zanedbatelné. Jedná se pouze o čištění a výměnu případných filtrů.

4.1.3 Životnost systému

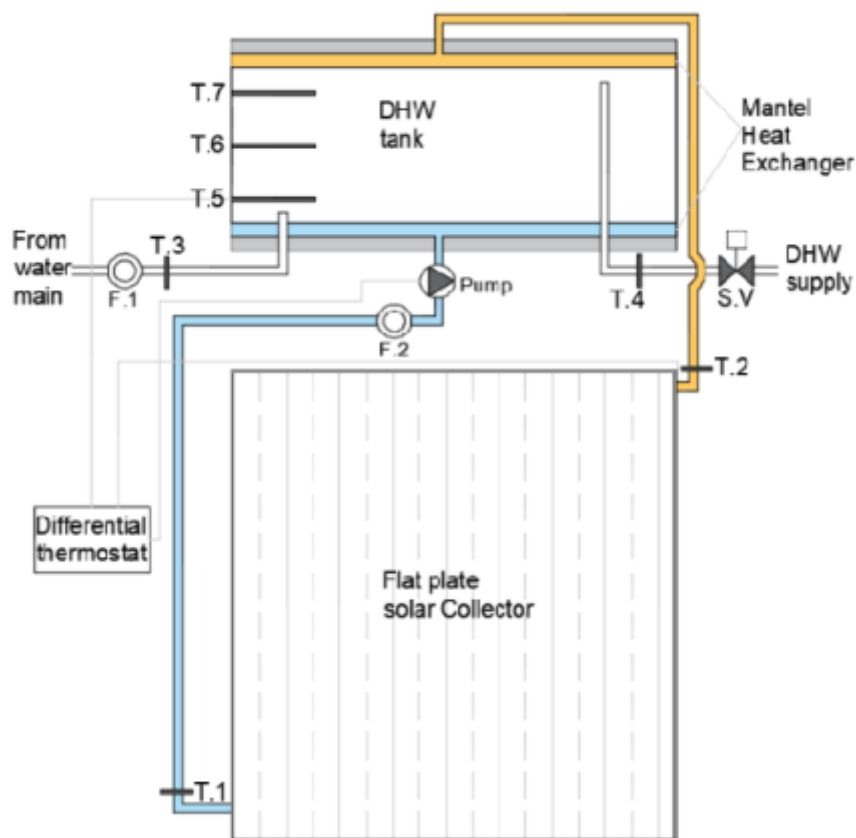
Životnost systému je vyšší než 20 let, pouze velikost ztrát se bude zvětšovat se zhoršujícím zaplyněním trojskel.

4.1.4 Účinnost systému

- Vytápění – 20 až 80 %
- Osvětlení – 0 %

4.2 *Kapalinové solární panely – ohřev vody a topení*

Solární panely určené k přímému ohřevu vody jsou realizovány mnoha způsoby. Vždy se jedná o soustavu kapilár a trubic uspořádaných tak aby na jejich povrch dopadalo maximální množství sluneční energie. Z toho vyplývá že celá soustava solárního panelu je plochá z 1 strany opatřena sklem a z 2 strany tepelnou izolací. Kapiláry jsou tepelně spojeny s teplo vodivým plechem opatřeným tmavým matným nátěrem. Zadní izolační stěna je zevnitř opatřena reflexní vrstvou. Jinou variantou jsou kapiláry umístěné ve vakuové skleněné trubici. Skleněné trubice jsou sestavovány vedle sebe do plochých sestav a tvoří tak obdobu plochého panelu, nebo jsou umísťovány do ohniska lineárního parabolického zrcadla. Ploché panely jsou zpravidla nepohyblivé, parabolická zrcadla však pohyblivá být musí. Kapalina proudící kapilárami zpravidla není užitková teplá voda nebo voda otopného systému. Pro potřeby regulace je kapalina okruhu solárních panelů vedena do výměníku tepla, kde ohřívá užitkovou teplou vodu nebo vodu topného okruhu. V podnebí s teplotami pod bodem mrazu je nezbytné použít v panelu nemrznoucí kapalinu. Nemrznoucí kapalina spolu s přetlakování okruhu zvyšuje bod varu až na 130 stupňů Celsia, což umožňuje efektivnější výměnu tepla. Nejvyšší účinnosti dosahují systémy s otočnými parabolickými zrcadly.(12)



Obr. 9 Kapalinový solární panel se zásobníkem a výměníkem tepla (13)

Sytém je zpravidla umístěn na střeše budovy, případně budovy přilehlé tak, aby bylo možné zvolit optimální nasměrování proti slunci. Vzdálenost od otopného systému je však limitující.



Obr. 10 Kapalinový solární panel se zásobníkem a výměníkem tepla - foto (13)

4.2.1 Realizační cena

Realizační cena kapalinového solárního systému v přepočtu na m² osluněné plochy se pohybuje od 30 000,- do 60 000,-Kč dle celkových rozměrů.

4.2.2 Provozní a servisní roční náklady

Provozní a servisní roční náklady zahrnující i spotřebu elektrické energie se pohybují v jednotkách tisíc korun.

4.2.3 Životnost systému

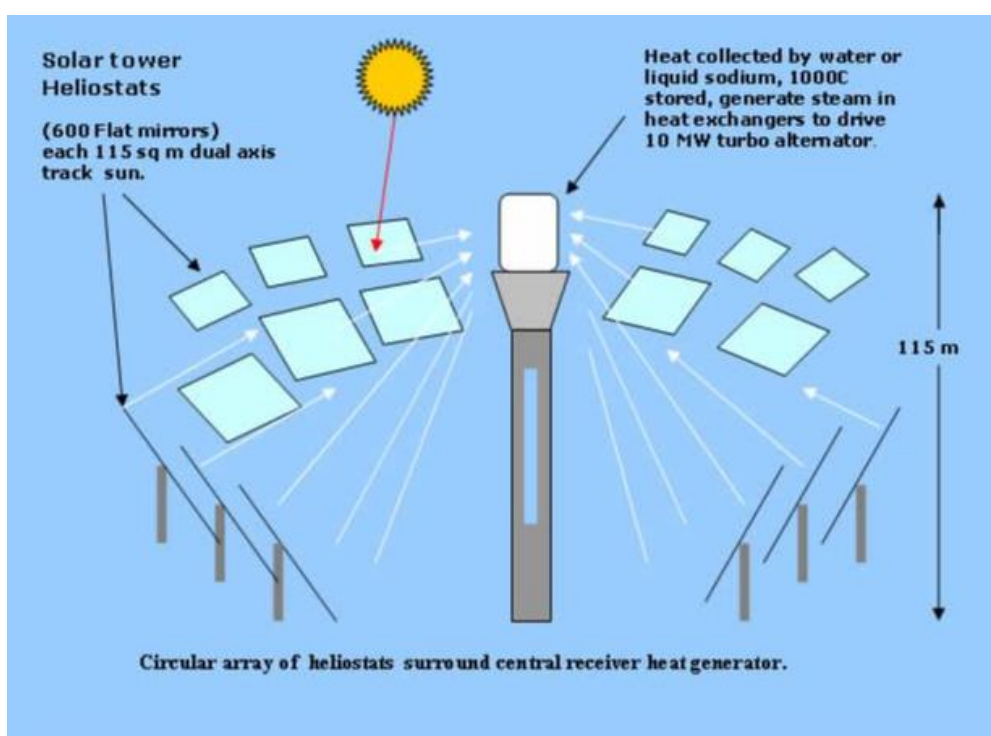
Životnost systému je vyšší než 20 let jako celku, jednotlivé pohyblivé součásti jako čerpadla a regulační ventily dosahují životnosti výrazně nižší.

4.2.4 Účinnost systému

- Vytápění – 60 až 85 %
- Osvětlení – 0 %

4.3 Zrcadlová parní elektrárna

Zrcadlová parní elektrárna CSP (Concentrating Solar Power)(14) využívá pole otočných zrcadel koncentrujících světlo do jednoho místa na věži.

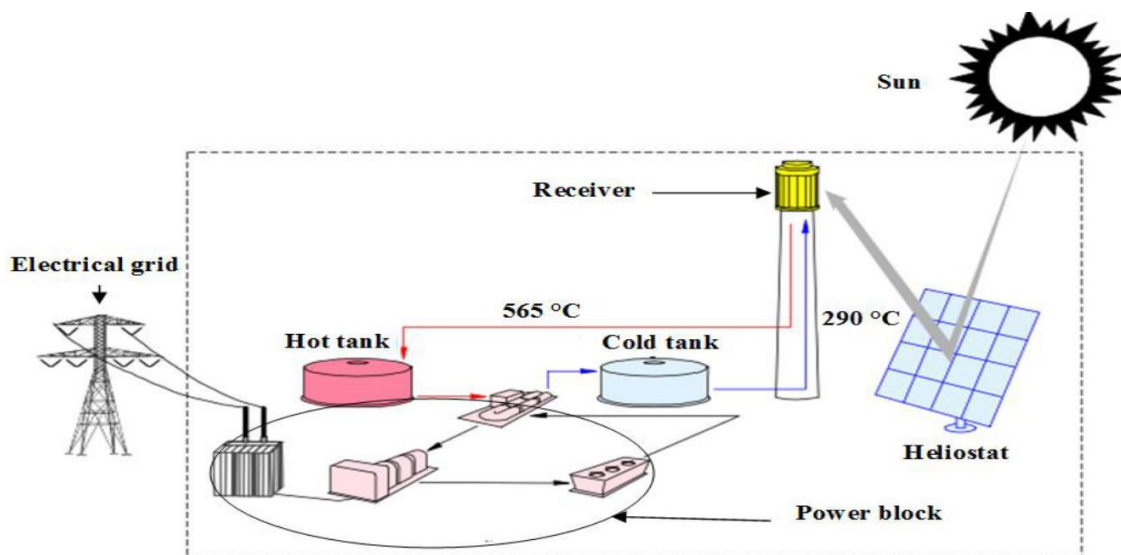


Obr. 11 Princip koncentrování sluneční paprsků (11)

Pro lepší soustředění paprsků jsou zrcala parabolického, nebo konkávní kulového tvaru s vhodnou ohniskovou vzdáleností. (15)

Systém slunečních věží CSP používá mnoho velkých heliostatů (plochých zrcadel) ke sledování slunce a odráží jeho paprsky, aby se zaměřil na přijímač. Přijímač je na vrcholu věže dané výšky, ve které koncentrované paprsky ohřívají tekutinu. Horkou kapalinu lze okamžitě použít k výrobě páry na výrobu elektrické energie, nebo ke skladování pro pozdější použití.

V solární elektrárně s roztavenými solemi je kapalná sůl o teplotě 290 °C čerpána ze "studené" zásobní nádrže přes přijímač, kde se zahřívá na 565 °C a poté do "horké" nádrže pro skladování. Když je potřeba energie z elektrárny, horká sůl je čerpána do systému generujícího páru, který produkuje přehřátou páru pro konvenční generátorový systém. Z parního generátoru se sůl vrací do studené nádrže, kde je uložena a nakonec znovu ohřívána v přijímači.



Obr. 12 Architektura systému CSP využívající solární věž(14)

Výhodou této technologie oproti fotovoltaickému systému je skutečnost, že ji lze udržovat i v noci díky tepelným akumulacím nádržím s horkou solí. (14)

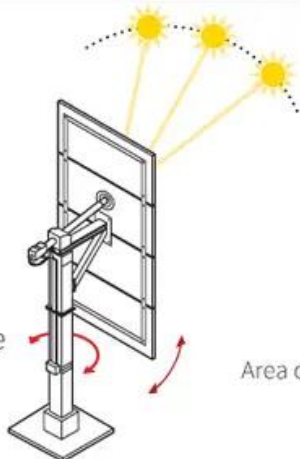
Tento systém lze realizovat pouze jako komerční o výkonech ve stovkách MW. Pro účely této práce je zde uveden jako příklad použití zrcadel pro usměrnění dopadu tepelného záření.

4.4 *Systém zrcadel osvětlující náměstí v údolí*

Pro potřeby oslunění náměstí v Norské obci ležící na dně údolí, které je v zimních měsících stále ve stínu jsou instalovány na protilehlém hřebeni tři otočná zrcadla o celkové ploše přibližně 40 m². Světlo odražené ze zrcadel dopadá na náměstí v nízkém úhlu a osvětluje přibližně 600 m².(17)

Norway sun mirrors

Sunshine lit up a remote, dark Norwegian valley for the first time in wintertime on Wednesday as three giant mirrors high on a mountainside realised a century-old dream.



Cost **\$849,300**
 Each mirror's surface area **17 sq m**
 Area covered by reflected sunlight **600 sq m**
 Inhabitants in Rjukan **3,500**
 Idea first proposed **Oct. 31, 1913**



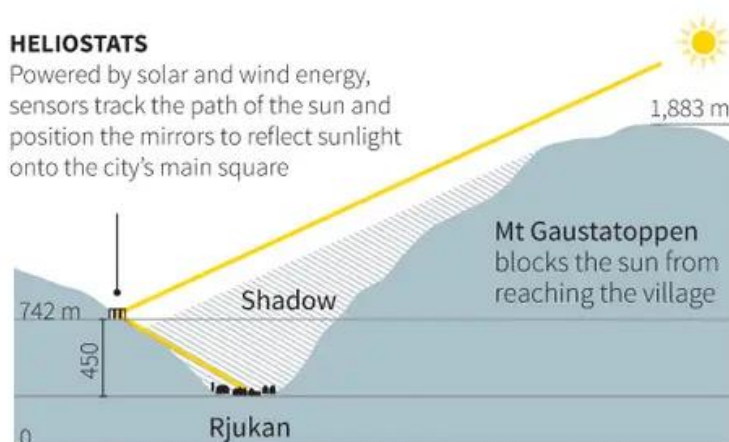
PERIOD OF DARKNESS

The town experiences no sunshine from September to March



HELIOSTATS

Powered by solar and wind energy, sensors track the path of the sun and position the mirrors to reflect sunlight onto the city's main square



Sources: Visit Rjukan; Reuters

Photo: Norsk Telegrambyra AS

Illustration not to scale

K.Pong, 31/10/2013

REUTERS

Obr. 13 Zjednodušené schéma zrcadlového systému obce Rjukan(14)

4.4.1 Realizační cena

Realizační cena celého díla byla přibližně 20 000 000,-Kč. V přepočtu na plochu 1 m² zrcadel je cena necelých 400 000,- Kč na m²

4.4.2 Provozní a servisní roční náklady

Provozní a servisní roční náklady jsou odhadovány nízké desítky tisíc korun.

4.4.3 Životnost systému

Životnost systému je vyšší než 20 let jako celku, jednotlivé části jako například motory, fotovoltaické panely, baterie budou průběžně měněny.

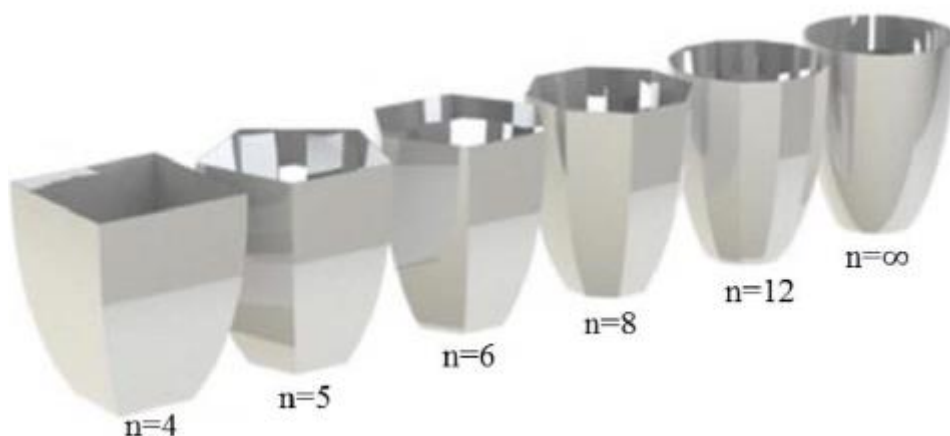
4.4.4 Účinnost systému

- Vytápění – Není možné hodnotit
- Osvětlení – Nebylo by přesné hodnot z důvodu vzdálenosti zrcadel od náměstí (cca 700 m). Světlo je rozptýlené a dopadá na násobně větší plochu, než je plocha zrcadel.

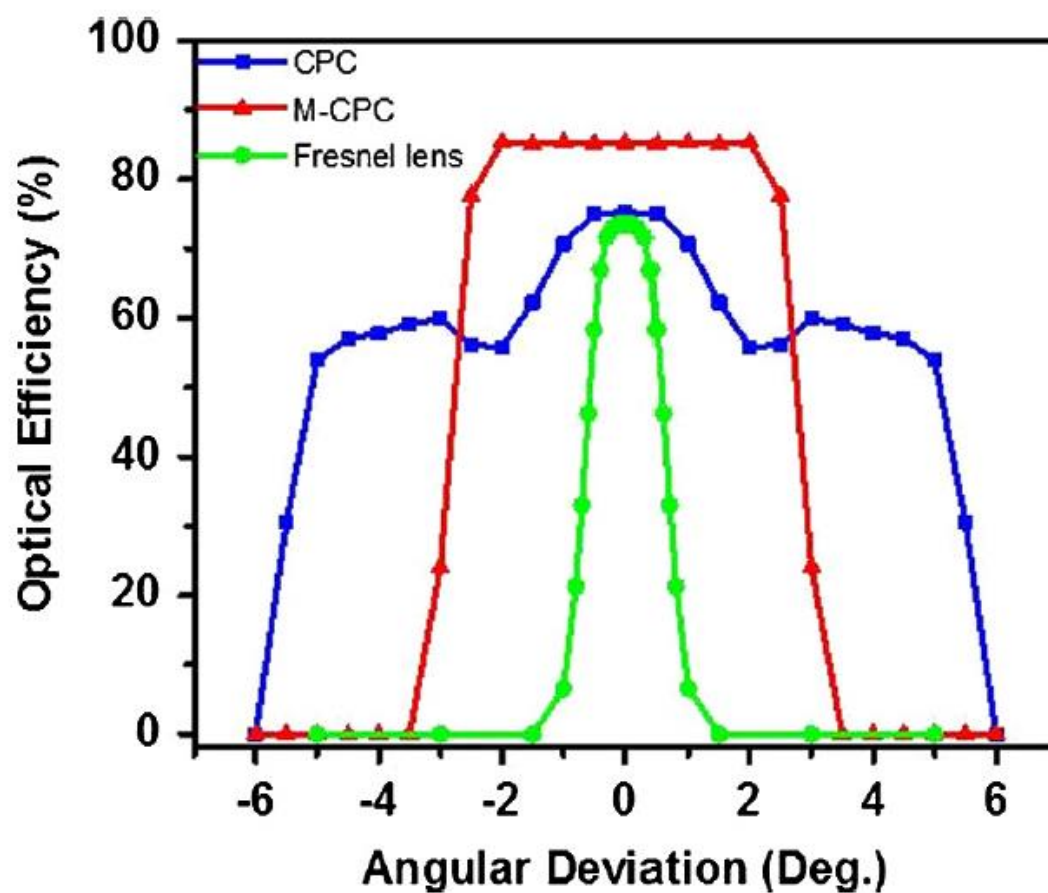
4.5 Systémy distribuce denního světla pro budovy

Distribuce světla do místností bez přímého oslunění oken bývá realizována zejména pro zvýšení světelného komfortu a úspor energií za elektrické osvětlení. Případně pro úsporu energie na ochlazování interiéru eliminováním tepla dodávaného elektrickým osvětlením. V takovém případě je ze slunečního světla odfiltrována infračervená složka.

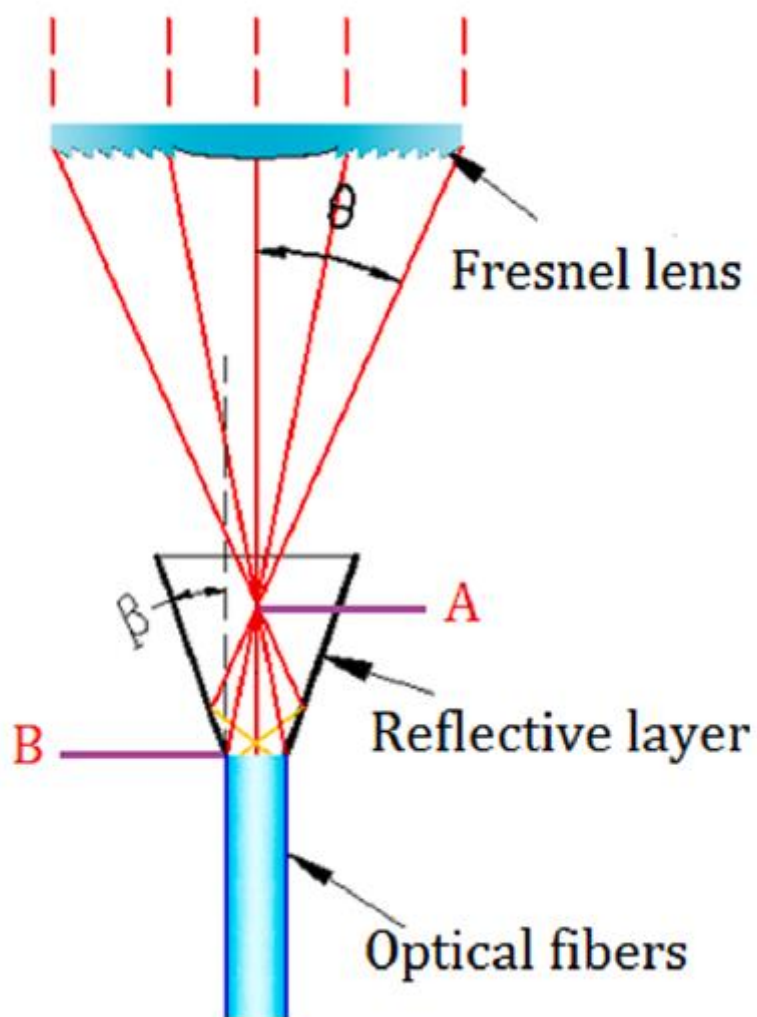
Sběr světla bývá realizovaný zpravidla na střeše budovy pomocí zrcadel, nebo čoček a to buď s aktivním sledování polohy slunce, nebo pasivní nepohyblivou optickou soustavou.(16) Nepohyblivé soustavy jsou méně náročné na provoz a údržby, ale vykazují nižší účinnost sběru světla v případě dopadu světla z jiného úhlu, než na který byl systém nastaven. (4)



Obr. 14 Sběrná zrcadla pasivního systému(18)

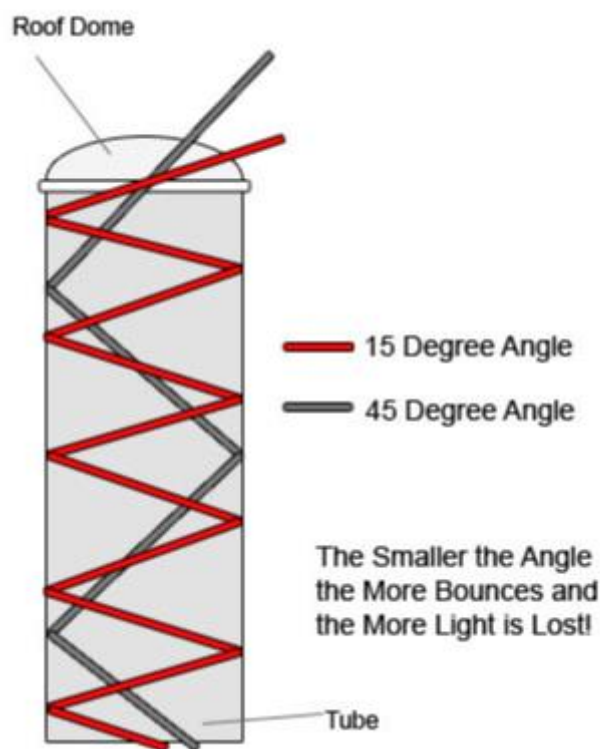


Obr. 15 Změna optické účinnosti při různé úhlové odchylce (19)



Obr. 16 Využití Fresnelovy čočky(20)

Usměrněné světlo je možné distribuovat po budově soustavou zrcadel, zrcadlovými trubkami, nebo optickými vlákny (19)



Obr. 17 Distribuce světla zrcadlovou trubkou

Distribuci světla zrcadlovou trubkou lze realizovat pomocí dostupných komerčních komponent. Světlovod lze zakoupit v celé sadě se speciální prosvětlenou střešní krytinou samotnou trubkou a difuzní stropní koncovkou. Sada je zpravidla navržena s průměrem 30 až 40 cm to je maximálně 0,5 m².

4.5.1 Realizační cena

Cena jednoho světlovodu se pohybuje mezi 20 000,- až 30 000,-Kč bez montáže. Realizační cena v přepočtu na m² osluněné plochy včetně stavebních úprav přesahuje 150 000,-Kč.

4.5.2 Provozní a servisní roční náklady

Provozní a servisní roční jsou minimální.

4.5.3 Životnost systému

Životnost systému je vyšší než 20 let.

4.5.4 Účinnost systému

- Vytápění – 0 % Vliv na oteplení žádný výrobce neuvádí. Prioritně je řešen únik tepla narušením skladby tepelné izolace stropu
- Osvětlení – 15 % až 80 % v závislosti na orientaci střechy.

4.6 Fotovoltaický ostrovní systém

Fotovoltaický ostrovní systém je takový, který je galvanicky oddělený od sítě distribuční soustavy. Je možné jej řešit pomocí 3 základních komponent. Fotovoltaických panelů, regulátoru a akumulátoru energie. Energií je možné akumulovat jako elektrickou energii přeměněnou v bateriích na chemickou, nebo jako energii tepelnou v podobě například teplé vody. Fotovoltaických panelů jsou k dispozici 3 druhy: Amorfni, polykrystalické a monokrystalické. V současné době se jako nejvýhodnější jeví polykrystalické. Ty mají společně s monokrystalickými větší účinnost na metr čtvereční než amorfni, za amorfni mi však zaostávají přeměně rozptýleného světla. To v praxi znamená že při přímém oslunění jsou schopné dodávat více jak 100 wattů elektrické energie z metru čtverečního plochy panelu. Avšak při mírném zastínění jejich výkon prudce klesá. Pro potřeby získání 1 kW elektrické energie za slunného dne je zapotřebí instalovat přibližně 10 m² polykrystalických panelů. Deklarovaná účinnost panelu se pohybuje okolo 20 %. Nicméně v praxi se těchto hodnot obvykle nedosahuje. Pro zvýšení účinnosti je možné panely umístit na otočnou konstrukci tak aby panely směřovali vždy kolmo ke slunci. V praxi se však nepřistupuje ke konstrukcím větším než pro panely o ploše 20 m². Současně je zapotřebí zohlednit vzájemné zastínění konstrukcí v ranních a večerních hodinách. V současné době ceny fotovoltaických panelů klesají, a proto je výhodnější instalovat větší množství nepohyblivých panelů a eliminovat tak nutnost realizace, provozu a údržby otočných konstrukcí. Pro instalaci nepohyblivých panelů je zapotřebí zvolit vhodnou orientaci a náklon. Pro potřeby fotovoltaických elektráren, které výkon odvádějí do distribuční sítě se volí orientace na jih a náklon odpovídající maximálním ziskům v letních měsících. Vzhledem k větší potřebě svícení a samozřejmě topení v zimě je pro ostrovní provoz vhodné zvolit větší náklon vzhledem k poloze slunce na obloze v zimních měsících. Pro zmenšení

potřeby akumulace je vhodné orientaci panelů zvolit podle denní doby největší spotřeby.

Z kolísání oslunění fotovoltaických panelů vzniká na panelech nestabilní napětí. Pro potřeby využití elektrické energie z fotovoltaických panelů je zapotřebí převést napětí za každých podmínek na stanovenou hodnotu. K tomu slouží speciálně navržené DC/DC měniče. Pro potřeby snížení napětí na napětí baterie je možné použít později šířkovou modulaci PWM. Tento způsob je laciný, ale snižuje účinnost systému, protože snižuje napětí a zachovává hodnotu proudu. Z toho důvodu bývají obvykle nasazovány měniče MPPT, které nejen že stejnosměrné napětí převádějí na střídavé transformují a usměrňují pro stejnosměrný výstup, ale hlavně hledají optimální bod vstupního napětí a proudu z fotovoltaických panelů. Tyto měniče tak zohledňují charakteristiku PN přechodů fotovoltaických panelů při různém stupni osvětlení. Zároveň také optimalizují nabíjecí výkon do baterií.

Pokud je pro akumulaci využívána tvorba tepla například teplé vody v bojleru nebo akumulární nádrží je charakteristika MPPT regulátoru přizpůsobená topnému tělesu. Výhodou akumulace je možnost využití energie v době, kdy fotovoltaické panely nevyrábí elektrickou energii. Nevýhodou akumulace je pořizovací cena a stárnutí baterií a akumulčních nádob. U baterií je možné opotřebení rozpočítat na 2,- Kč za každou do baterie uloženou a z baterie spotřebovanou 1kWh.

Pro možnost spotřebovávání elektrické energie běžnými spotřebiči by bylo nutné doplnit systém o střídač s výstupem minimálně 1f 230 VAC.

Pro využití elektrické energie z fotovoltaických panelů nasvícení by bylo tedy možné použít pro 1 domácnost fotovoltaické panely o ploše přibližně 5 m², MPPT regulátor a baterii o kapacitě minimálně 300 Wh. Osvětlovací systém by v takovém případě bylo vhodné navrhnout na napětí baterie a eliminovat tak potřebu střídače, který spotřebovává jen pro vlastní spotřebu až 50 W.

Pro využití fotovoltaického systému k vytápění domu by bylo zapotřebí instalovat minimálně desetkrát větší plochu panelů než, která by odpovídala potřebnému příkonu topení. S výhodou by bylo možné využít topení v době kdy baterie určená pro svícení by byla nabitá a energii z fotovoltaických panelů by nebylo jinak možné uložit.

4.6.1 Realizační cena

Realizační cena ostrovního fotovoltaického systému přepočtu na metr čtvereční fotovoltaického panelu včetně regulátoru baterie a osvětlení pro 5 místností nepřesáhne 10 000,- Kč.

4.6.2 Provozní a servisní roční náklady

Provozní a servisní roční náklady jsou minimální.

4.6.3 Životnost systému

Životnost systému je cca 20 let. Avšak baterie je vhodné měnit podle typu a cyklů použití po 5 až 10 letech.

4.6.4 Účinnost systému

- Jen vytápění – <20 % Při panelu o ploše 1 m² by vliv na teplotu v místnosti byl menší než 1 °C
- Jen osvětlení – 15 až 20 % V případě akumulace, by bylo možné využít osvětlení i v době, kdy panely nejsou osluněny.

5 Metodika zpracování

Práce řeší návrh systému otočného zrcadla umístěného mimo budovu severně od okna směřujícího na sever. Odražené světlo je využíváno v místnosti jako zdroj denního světla a současně jako zdroj tepla a v návaznosti na řízení topné soustavy povede ke snížení spotřeby energie pro vytápění. Systém upravuje úsporu energie v návaznosti na vnímání tepelného komfortu uživatelem. Pro účely korekce jsou jako zpětná vazba použita tlačítka termostatu, která uživatel ovládá spontánně obdobně jako obvyklý termostat, avšak bez přímé volby a kontroly teploty. Tím je do systému zaveden faktor lidského vnímání tepelného komfortu. Předpokladem je navýšení tepelného zisku místnosti dodaným světlem a současně zlepšení vnímání teploty vzduchu uživatelem při přímém oslunění. Pro predikci oslunění je využita předpověď pro fotovoltaické elektrárny dostupná na webových stránkách Univerzitního centra energetiky budou ČVUT.

Návrh algoritmu zahrnuje následující funkce:

Ovládaní natočení a náklonu zrcadla v denní dobu vždy tak, aby odrazilo sluneční světlo do okna místnosti. Každý den začíná a končí natočením a nakloněním zrcadla do zlákaní polohy, která je navržena s ohledem na nejkrajnější ranní polohu zrcadla. Poloha slunce na obloze je vypočítávána v pravidelných intervalech. Každé ráno, kdy vypočítaný úhel výšky slunce nad horizontem (**alfaSun**) bude kladné číslo, bude vypočítán úhel azimutu natočení zrcadla (**alfa**) a úhel náklonu zrcadla (**beta**) tak, aby bylo sluneční světlo odražené do okna. Současně bude měřena intenzita slunečního světla (**sluInt**). Hodnoty **sluInt** (0-100) budou použity pro úpravu teploty v místnosti, na kterou vyhřívá místnost kotel.

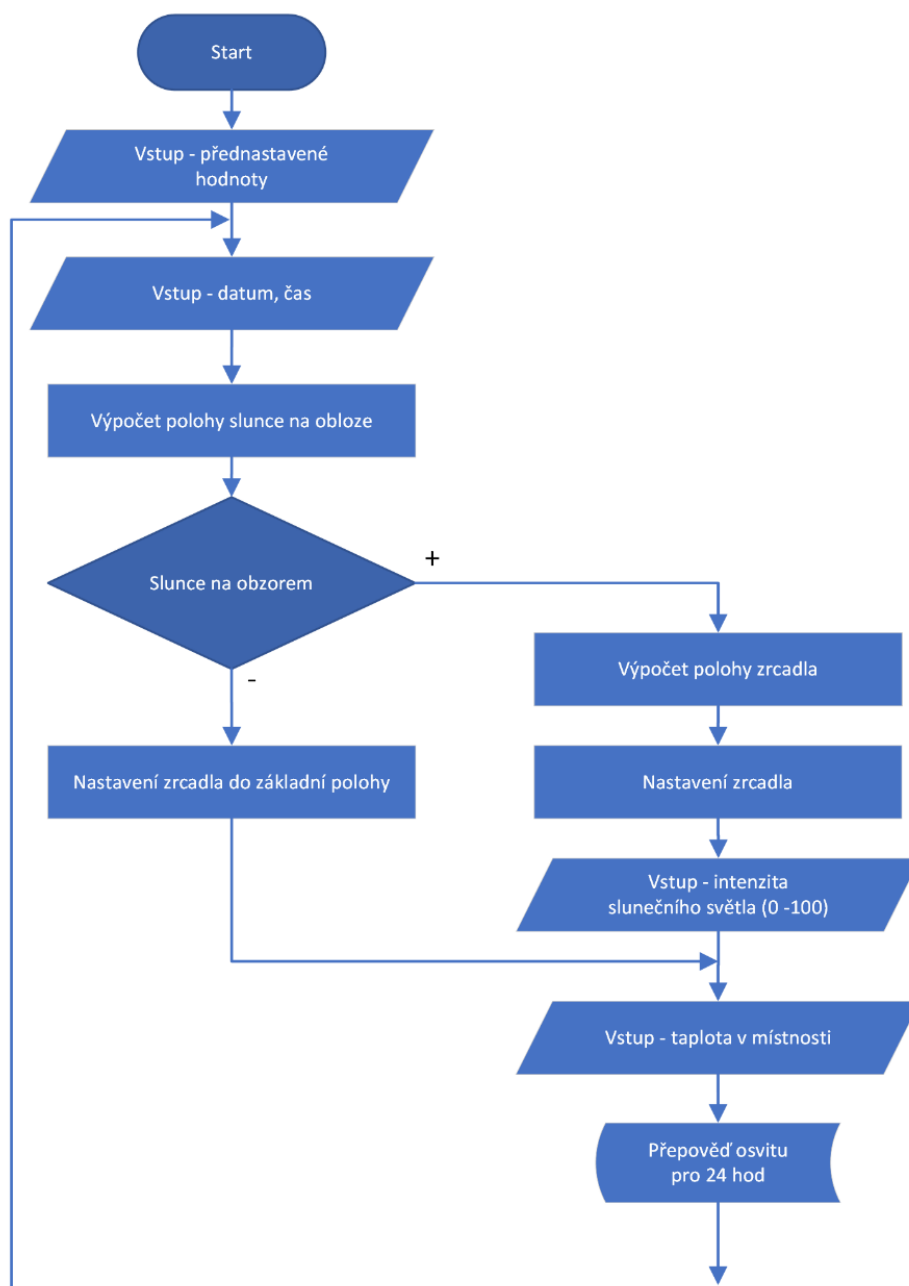
Při prvním spuštění systému bude požadovaná teplota v místnosti nastavena na 25 °C (**tempWork**) pro denní režim a 18 °C (**tempSleep**) pro noční režim. V případě plného oslunění bude vyhřívání kotlem nastavené na teplotu 3 °C (**kPSL**) nižší s tím, že pocitová teplota je ovlivněna osluněním místnosti případně samotného uživatele. Pro korekci **kPSL** bude tato hodnota násobena koeficientem **kSub**, který se v případě opakovaných zásahů uživatele prostřednictvím tlačítek „**Příliš teplo**“ a „**Příliš chladno**“ opakovaně přepočítávat. V případě zásahu uživatele bude kontrolována intenzita **sluInt**. V případě, že bude hodnota **sluInt** větší než 30 bude

upravován koeficient **kSub**. V případě hodnoty **sluInt** nižší než 30 bude upravována přímo hodnota **tempWork**, pokud byl zásah proveden v denní dobu, nebo hodnota **tempSleep**, pokud byl zásah proveden v noční dobu. Tímto zpětnovazebním mechanismem budou hodnoty **kSub**, **tempWork** a **tempSleep** postupně optimalizovány.

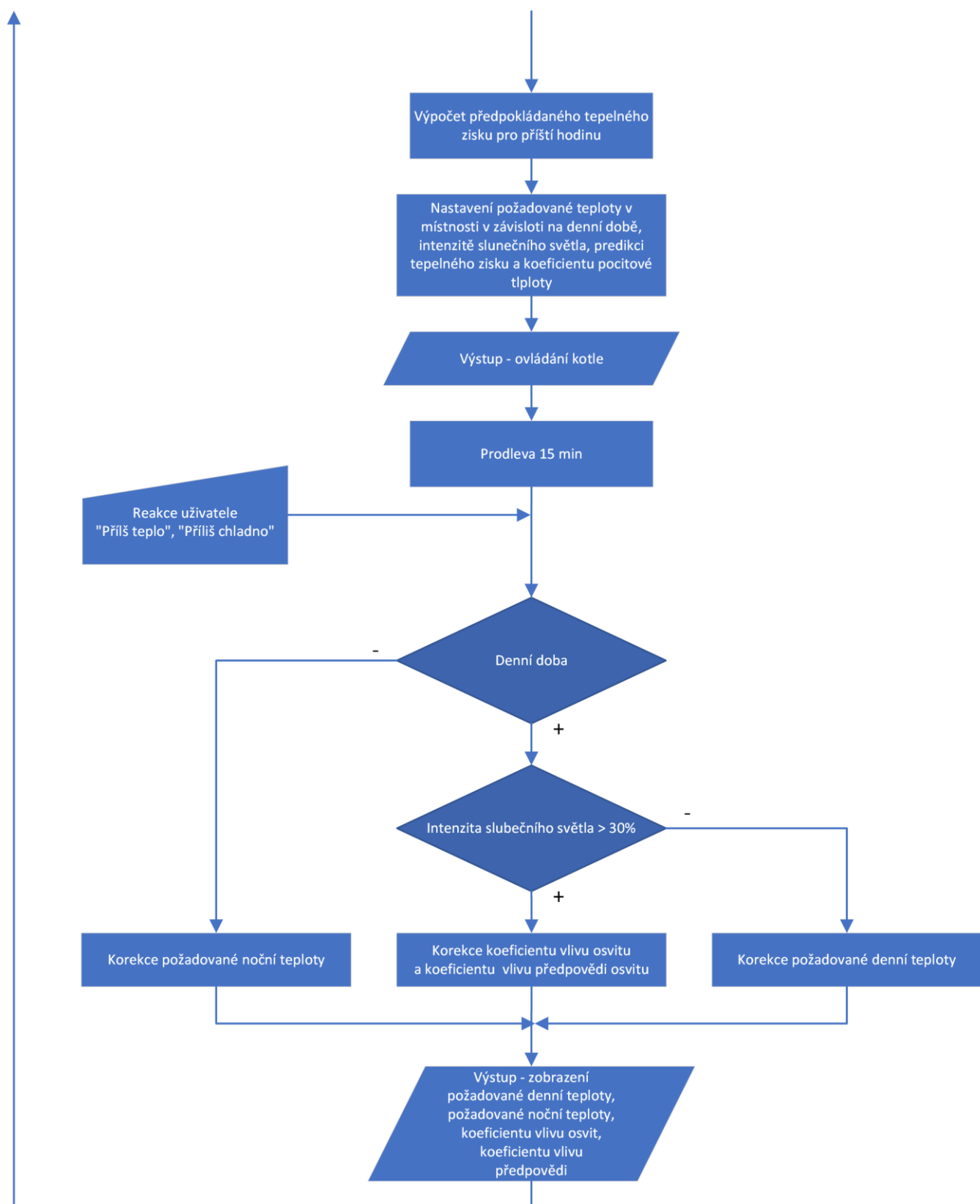
Vzhledem k časové prodlevě topné soustavy, která je přibližně 1 hodina bude do systému začleněna i předpověď oslunění, která je k dispozici ve formátu řady 24 hodnot výkonu, tedy pro každou celou hodinu. Tyto hodnoty budou použity pro výpočet nastavení požadované teploty v místnosti spolu s hodnotou **kSub**.

Algoritmus tedy předpokládá, součinnost uživatele, to se nepovažuje za problematické, protože je bylo zmíněno více, ovládání termostatu při tepelném diskomfortu je obvykle spontánní.

Po určité době používání bude možné vyčíst hodnoty proměnných **kSub**, **tempWork** a **tempSleep**. Zejména hodnota **kSub** bude vypovídat o subjektivním vnímání pocitové teploty. Dále bude možné z hodnot **kSub** a **tempWork** odhadnout vliv na úsporu energie na vytápění.



Obr. 18 Vývojový diagram procesu 1. část - vlastní tvorba



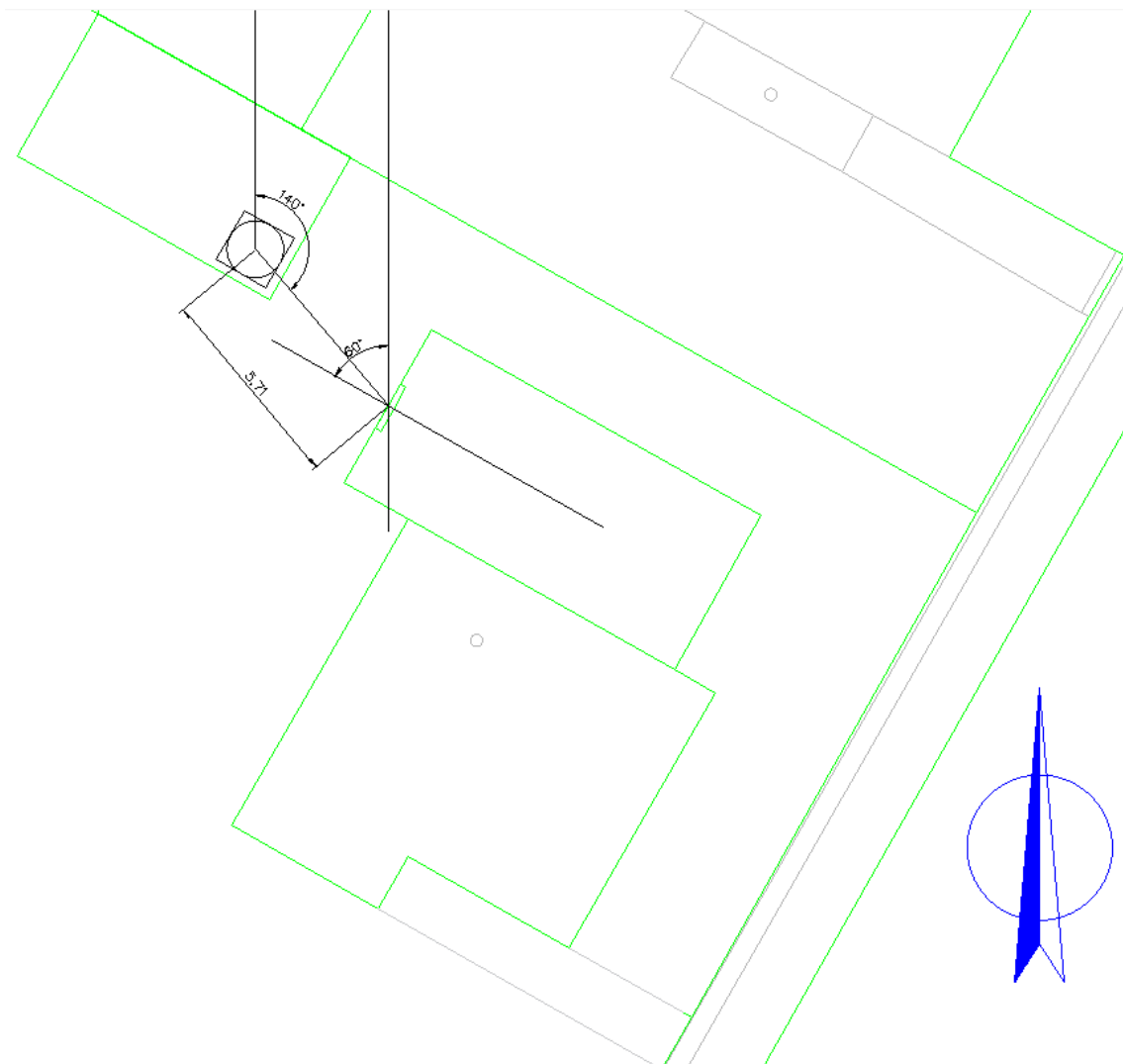
Obr. 19 Vývojový diagram procesu 2. část - vlastní tvorba

6 Návrh systému osvětlení odraženým světlem

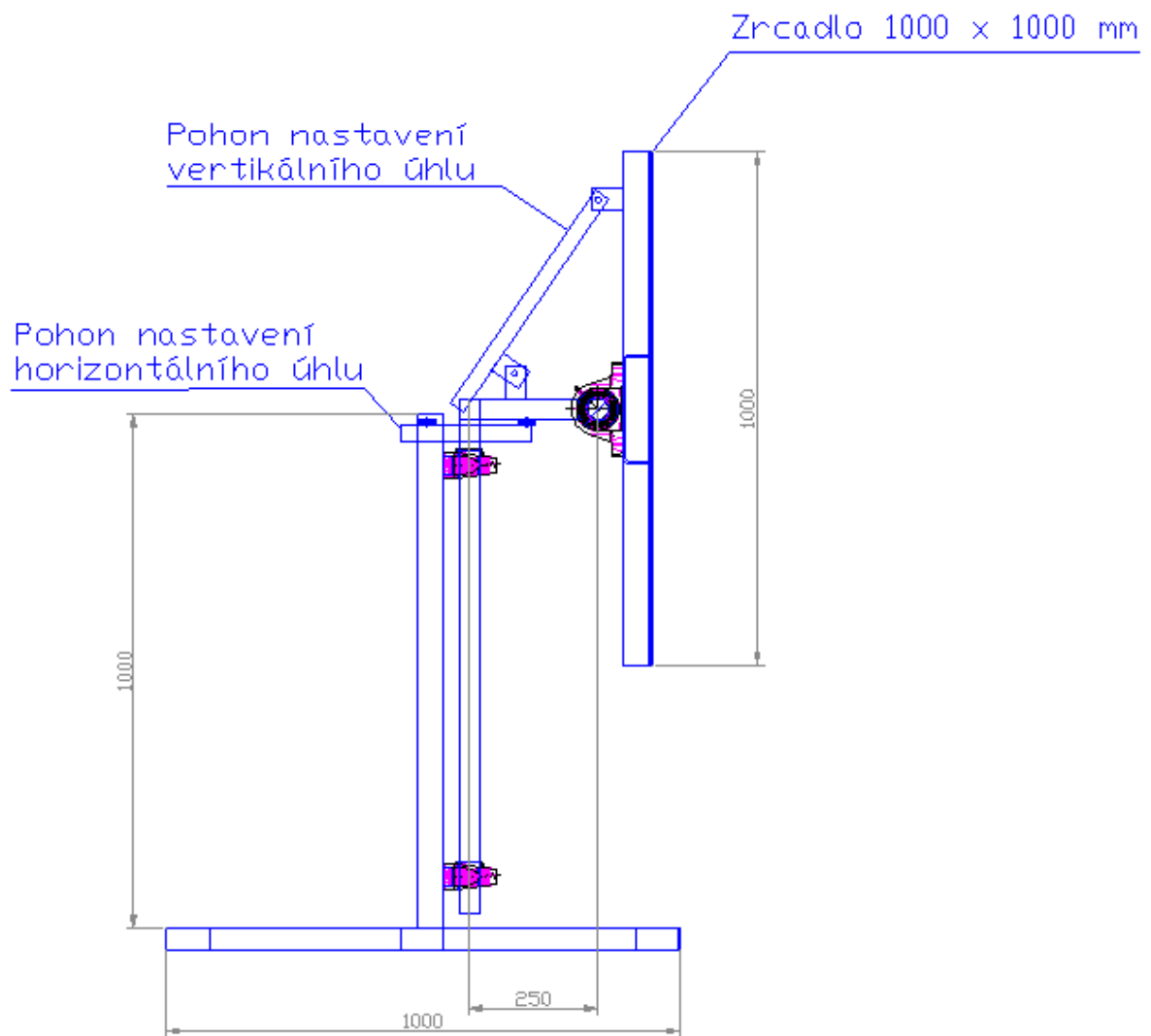
Konkrétní systém je navržen pro konkrétní půdorys, kde okno směřuje na SZ a zrcadlo je od okna na SSZ



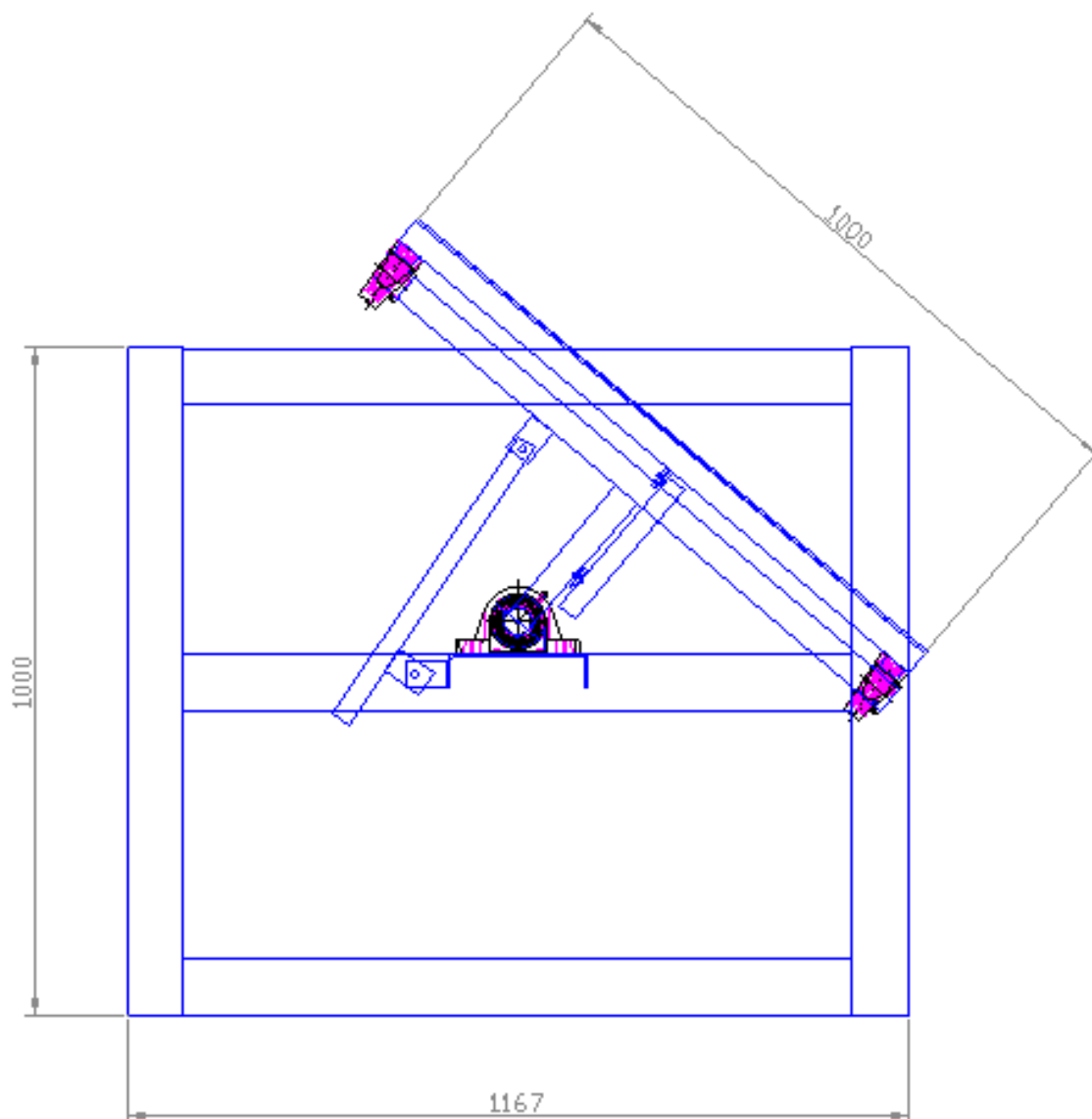
Obr. 20 Letecký snímek situace - vlastní tvorba



Obr. 21 půdorys situace s vodorovnými úhly - vlastní tvorba



Obr. 22 Otočná konstrukce zrcadla, boční pohled – vlastní tvorba



Obr. 23 Otočná konstrukce zrcadla, vrchní pohled - vlastní tvorba

6.1 Navrhovaný algoritmus

Algoritmus je implementován programem v jednočipovém kontroléru Arduino a periferním HW (drivery krokových motorů, snímače teploty, snímače osvětlení, koncové spínače, tlačítka, sériový port, modul reálného času, LCD)

6.1.1 Definice proměnných/zkratky

alfa - azimut - vodorovný úhel kolmice zrcadla (normály) k severu: $S=0^\circ$, $V=90^\circ$, $J=180^\circ$, $Z=270^\circ$

beta – elevace – svislý úhel kolmice zrcadla (normály) k vodorovné rovině:
vodorovně = 0°, svisle nahoru=90°

alfa0 – azimut základní polohy

beta0 – elevace základní polohy

a = počet kroků od základní polohy k úhlu Alfa

b = počet kroků od základní polohy k úhlu Beta

a-1 – povel na krokový motor zmenšení Alfa o 1 krok

b-1 – povel na krokový motor zmenšení Beta o 1 krok

J – pořadové číslo dne v roce

J' – úhel dne v roce

halfa – boulean sepnutý kontakt Alfa0

hbeta – boulean sepnutý kontakt Beta0

timeLoc – místní čas (zimní/letní)

hodLoc – hodiny: 0 až 23

minLoc – minuty: 0 až 59

timeSpace – vesmírný čas

alfaSun – svislý úhel aktuální pozice slunce na obloze v HK

betaSun – vodorovný úhel aktuální pozice slunce na obloze v HK

alfaWin1 – azimut okna1 z pozice zrcadla

betaWin1 – elevace okna1 z pozice zrcadla

sluInt – intenzita slunečního světla

kPSL – konstanta účinnosti zrcadlového systému určená pro první spuštění (při startu 0,5)

kEmpir – koeficient úprav konstanty účinnosti zrcadlového systému určená pro první spuštění (při startu 1)

prediH – předpokládaná hodnota tepelného příspěvku za nejbližší hodinu ve wathodinách

tempIn

tempOut

tempWork – požadovaná teplota denní (při staru 25 °C)

tempSleep – požadovaná teplota noční (při startu 18 °C)

tempSub – koeficient pocitové teploty – hodnota ve °C určující rozdíl mezi skutečnou teplotou v místnosti a teplotou vnímanou člověkem v závislosti na oslunění místnosti (0 až 3 °C)

osluInt – intenzita slun z vnitřního čidla

osluOut – intenzita slun z vnějšího čidla

heating – boolean – výstup 1=požadavek na zapnutí oběhového čerpadla kotle

6.1.2 Popis algoritmu

1) Po startu systému je konstrukce zrcadla na stavena do základní polohy:

- a) Azimut cca jako ranní slunce 21.6. (nejvýchodnější)
- b) Elevace nejnižší mechanicky možný (cca -45°)
 - i) a-1 dokud halfa=0
 - ii) b-1 dokud hbeta=0
 - iii) alfa = alfa0
 - iv) beta = beta0

2) Načtení času z HW modulu reálného čas do proměnné timeLoc.

- a) DD, MM, RRRR, hodLoc, mmiLoc, sLoc

3) Výpočet polohy slunce na obloze

- i) $J = \text{INT}(30,41*(MM-1)+DD)$
- ii) $J' = (360*J)/365*PI()/180-PI()$
- iii) deklinace
$$= 23,45 * \sin\left(\left(0,98 * \left(DD + \left(\frac{\text{hodLoc} + \text{minLoc}}{60} + \frac{\text{sLoc}}{360}\right) / 24\right)\right) + 29,7 * (MM - 109) * 3,14 / 180\right)$$
- iv) $TST = \left(\frac{\text{hodLoc} + \text{minLoc}}{60} + \frac{\text{sLoc}}{360}\right) + \left(\frac{15,8361953 - 15}{15} + 0,008 * \cos(J') - 0,052 * \cos(2*J') - 0,001 * \cos(3*J') - 0,122 * \sin(J') - 0,157 * \sin(2*J') + 0,005 * \sin(3*J')\right)$
- v) $\text{alfaSun} = \arcsin\left(\sin\left(50,1965942 * 3,14 / 180\right) * \sin\left(\text{deklinace} * 3,14 / 180\right) - \cos\left(50,1965942 * 3,14 / 180\right) * \cos\left(\text{deklinace} * 3,14 / 180\right) * \cos\left(15 * TST * 3,14 / 180\right)\right) / 3,14 * 180$
- vi) $\text{betaSun} = \left(\frac{\text{hodLoc} + \text{minLoc}}{60} + \frac{\text{sLoc}}{360}\right) * 15$

4) Výpočet polohy zrcadla tak, aby odráželo sluneční světlo do okna1

i) $\alpha = (\alpha_{\text{Sun}} - \alpha_{\text{Win1}}) / 2 + \alpha_{\text{Win1}}$

ii) $\beta = (\beta_{\text{Sun}} - \beta_{\text{Win1}}) / 2 + \beta_{\text{Win1}}$

5) Výpočet předpokládaného tepelného zisku pro příští hodinu

a) předpověď z www.FVforcast.cz ve formátu:

RRRR-MM-DD wh1|wh2|wh3|wh4|wh5|wh6|wh7|...wh24

b) wh1 až wh24 je předpověď na jednotlivé hodiny ve wattech na m²

i) $wh(a+1)$

ii) $wh_{25} = 0$ // statická předpověď na první hodinu následujícího dne pro účely výpočtu

iii) $awh = \text{hodLoc} + 1$

iv) $\text{prediHx} = wh(a) + (wh(a+1) - wh(a)) * \text{minLoc} / 60$

v) $\text{prediH} = \text{prediHx} * k_{\text{PSL}} * k_{\text{Empir}}$

//Predikce je upravena konstantou kEmpir

6) Výpočet koeficientu pocitové teploty

a) prediH musí být 0 – 1000

i) $\text{tempSub} = \text{prediH} / 1000 * 3 * k_{\text{Sub}}$

7) Výpočet aktivity člověka

a) rezerva pro nepřítomnost working = 0, sleeping = 0

i) Jestliže $\text{hodLoc} < 6$, nebo $\text{hodLoc} > 22$, pak working = 1, sleeping = 0
Jinak working = 0, sleeping = 1

8) Výpočet zapínání kotle

a) kotel bude zapnut podle času, požadované teploty a subjektivní teploty

b) Jestliže $\text{tempIn} < ((\text{tempWork} + \text{tempSub}) * \text{working}) + ((\text{tempSleep} + \text{tempSub}) * \text{sleeping})$, pak heating = 1;

Jinak heating=0

Jestliže working = 0 a sleeping = 0 a $\text{tempIn} < 5$, pak heating = 1

Jinak heating = 0

9) Úprava koeficientu pocitové teploty a požadované teploty

a) Vstup tlačítka „Příliš teplo“

b) Vstup tlačítka „Příliš chladno“

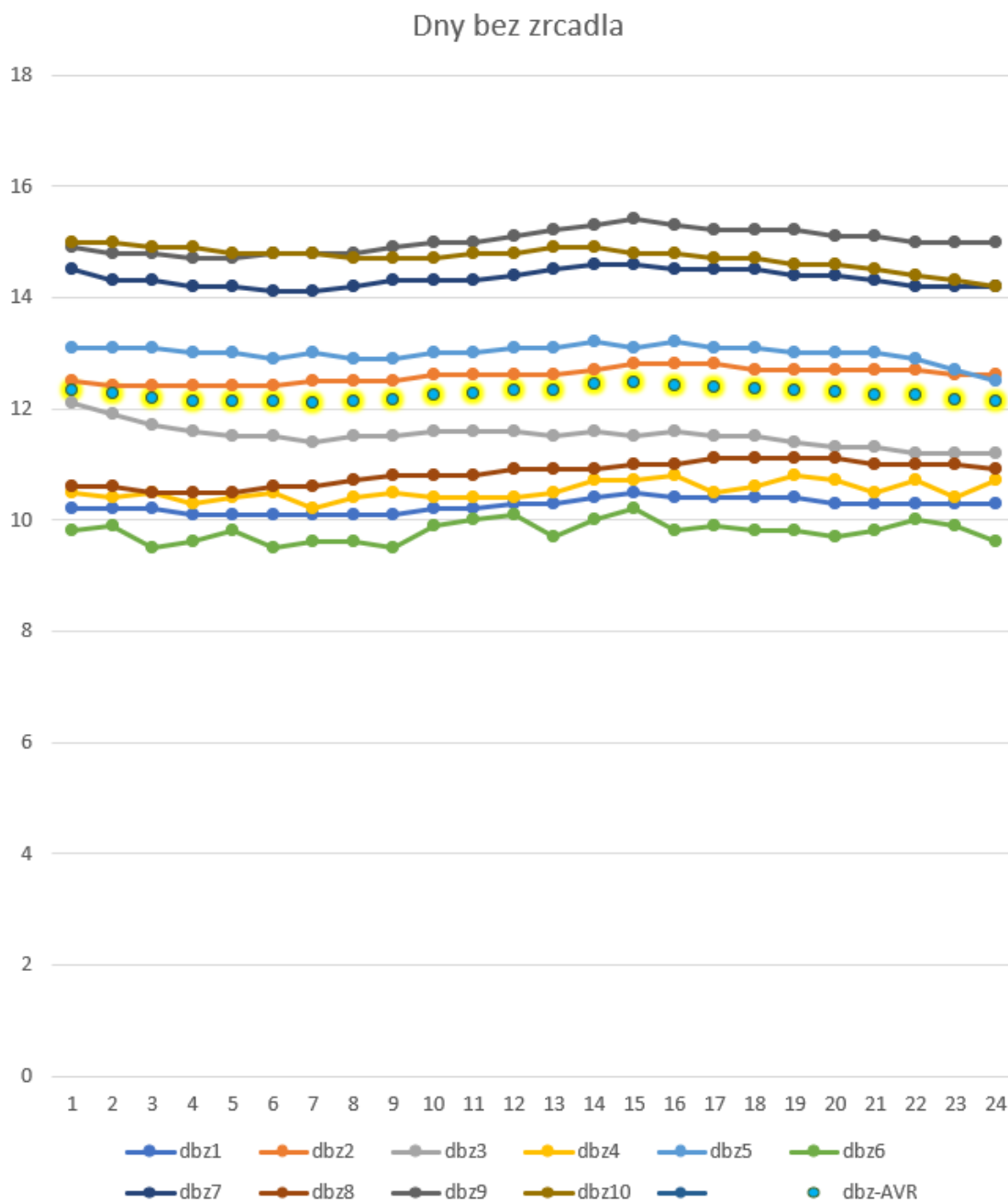
i) Jestliže $tooHi > 0$;
a jestliže $sluInt > 30$, pak($kSub = kSub * 0,99$)
a jestliže $sluInt \leq 30$ a $working = 1$, pak($tempWork = tempWork - 0,1$)
a jestliže $sluInt \leq 30$ a $sleeping = 1$, pak($tempSleep = tempSleep - 0,1$)
 $tooHi = 0$
Jestliže $tooLo > 0$ a $sluInt > 30$, pak($kSub = kSub * 1,01$)
a jestliže $sluInt \leq 30$ a $working = 1$, pak($tempWork = tempWork + 0,1$)
a jestliže $sluInt \leq 30$ a $sleeping = 1$, pak($tempSleep = tempSleep + 0,1$)
 $tooLo = 0$

7 Experimentální měření nasazení systému.

V zimních měsících byla provedena měření v místnosti bez zapnutého topení.

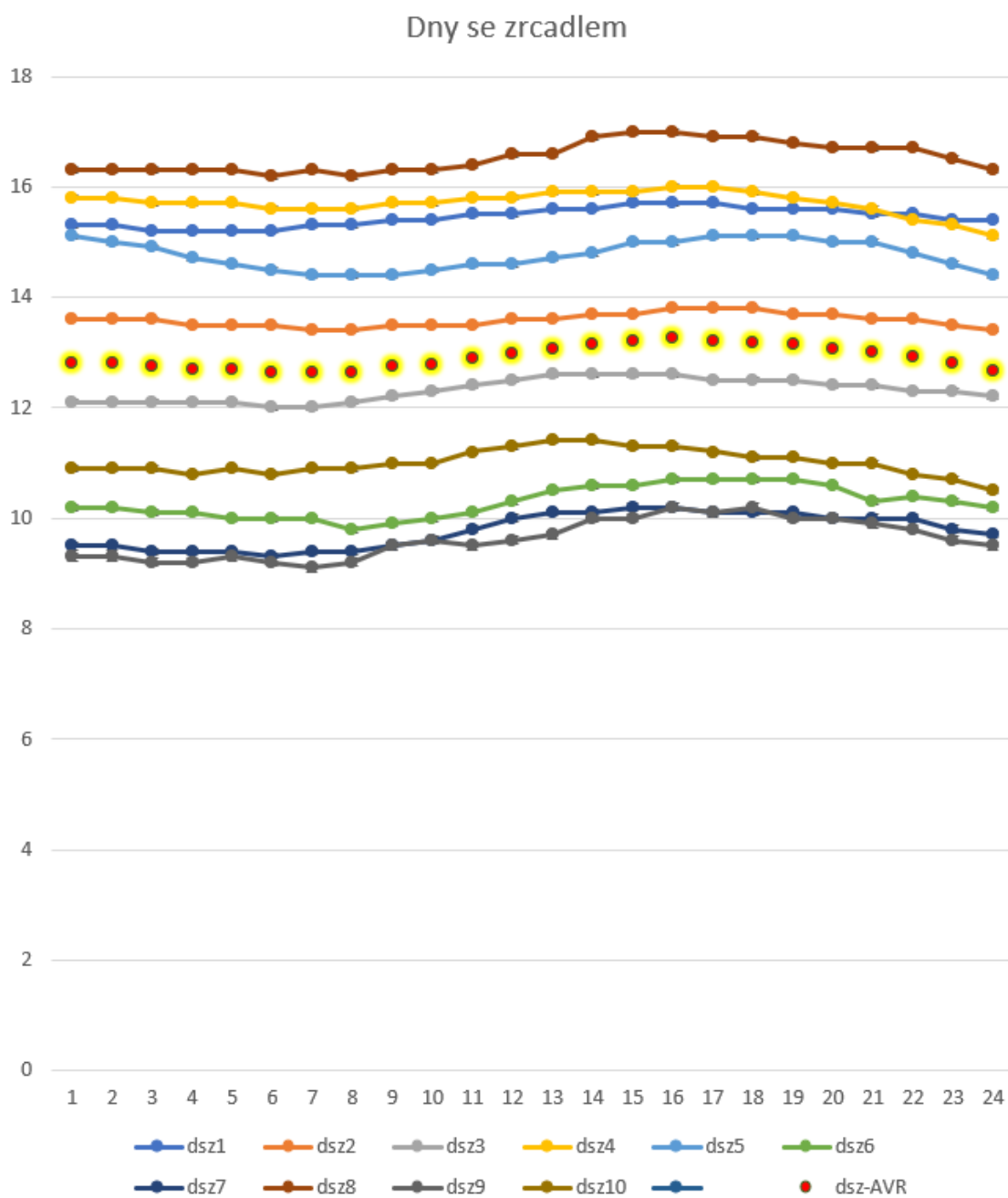
Bylo vybráno měření z 20 slunných dní. 10 dní s použitím zrcadla odrážejícího sluneční světlo do okna a 10 dní bez zrcadla.

Měření byla zanesena do grafů.



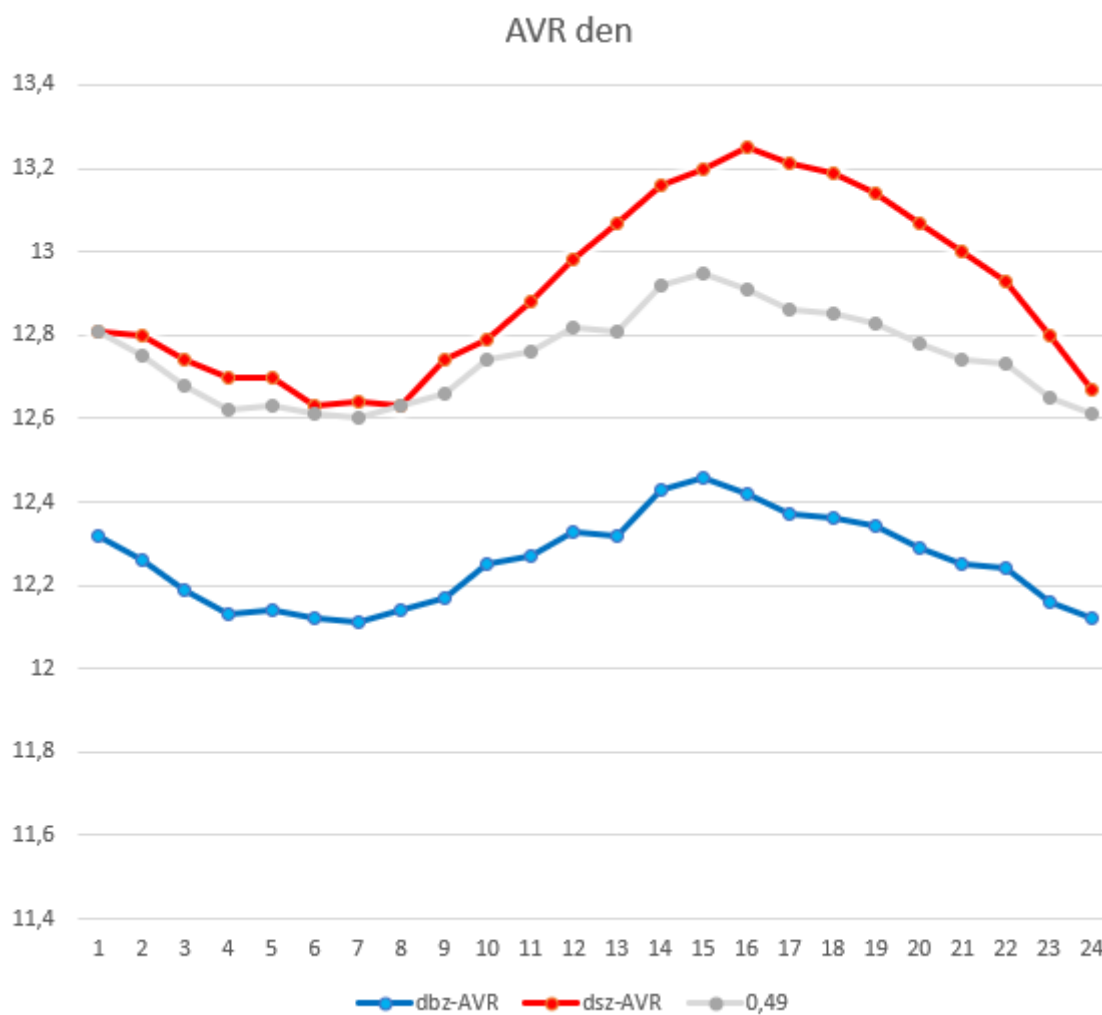
Obr. 24 Graf průběhu teplot bez použití zrcadla - vlastní tvorba

Jednotlivé křivky znázorňují průběh vybraných dnů. Modré zvýrazněné body znázorňují průměrnou hodnotu pro danou hodinu.



Obr. 25 Graf průběhu teplot s použitím zrcadla - vlastní tvorba

Jednotlivé křivky znázorňují průběh vybraných dnů. Červené zvýrazněné body znázorňují průměrnou hodnotu pro danou hodinu.



Obr. 26 Graf průměrných hodnot – vlastní tvorba

Modrá křivka zobrazuje průměrné hodnoty teplot ve dnech bez požití zrcadla.

Červená křivka zobrazuje průměrné hodnoty teplot ve dnech s požitím zrcadla.

Šedá křivka je pomocný graf pro znázornění vlivu zrcadla.

Z grafu vyplývá, že průměrný vliv zrcadla za slunného dne v nevytápěné místnosti byl maximálně 1 °C

8 Testování a vyhodnocení dat z experimentu

Experiment byl realizován za optimální meteorologických podmínek. Z důvodů možnosti měření pouze v jedné místnosti bylo nutné vybrat z naměřených dat taková, která mají srovnatelné vnější vlivy. Zejména ranní teplotu v místnosti a již zmíněné celodenní bezmračné počasí. Takový postup sběru dat není nejvhodnější, ale vzhledem k dispozici budovy a jejímu užívání nebylo možné při experimentu použít dvě shodné místnosti jednu se systémem zrcadla a jednu bez systému. To by bylo částečně možné několikapatrové prázdné budově. Pro přesnější měření vlivu experimentu na teplotu v místnosti byla použita nevyužívaná obytná místnost s vypnutým topením i přesto byl vliv dopadajícího světla na teplotu v místnosti maximálně 1 stupeň Celsia. Je důvodné předpokládat že navýšení teploty by bylo srovnatelné i v případě že by místnost byla vytápěna na 20 stupňů Celsia pro potřeby počítání úspor energie se s výhodou využívá poučka deklarující úsporu 6 % nákladů na vytápění při snížení teploty v místnosti o 1 stupeň Celsia. Z toho vyplývá, že k úspoře energie na vytápění by v dané místnosti došlo. Vzhledem k tomu že se jedná o bytovou jednotku 2+kk a ložnice obvykle není vytápěna na takovou teplotu jako obývací pokoj lze předpokládat možnou úsporu okolo 3 %. Zohledníme-li však fakt že experiment byl prováděn pouze za slunných dní kterých v zimním období nebylo mnoho. V zimě 2022/2023 byl v Hradci Králové téměř 3 měsíce inverzní ráz počasí, a to od listopadu do ledna. V tomto období byla ziskovost systému minimální. Druhým hlediskem experimentu bylo oslunění obytné místnosti zrcadlem. Oslunění zrcadlem bylo uživatelsky příjemné i ve dnech s mírnou oblačností. Za slunných dní, kdy by obvykle uživatel zastínil okno žaluziemi, nebo závěsem, nebylo možné zastínění provést z důvodu narušení tepelného zisku. S výhodou bylo využito vyvýšené stanoviště zrcadla, které odráželo světlo směrem dolů do okna pod úhlem přibližně 30 stupňů. I přesto bylo oslunění nepříjemné. Případné umístění zrcadla ve výšce očí by bylo uživatelsky nepřijatelné. Výhodou slunečního svitu je proměnlivost spektrální charakteristiky v průběhu dne. V dříve zmíněných studiích bylo prokázáno že světlo zapadajícího slunce připravuje lidský organismus na spánek.

Pohon a řízení zrcadla měly průměrný příkon 10 W po dobu celých 24 hodin.

Technickou nevýhodou vnějšího zrcadla je nejen jeho zašpinění prachem, ale občasná pokrytí rosou nebo jinovatkou. Takové znečištění zrcadla rozptyluje odražené sluneční světlo a může být nepříjemné jiným obyvatelům. Systém je nastavený tak, aby zrcadlo bylo v noci v krajní ranní poloze, tedy mírně skloněné k zemi. Přesto k těmto jevům dochází.

Experiment byl realizován za cenu nepřesahující 10 000,-Kč. Pro odhad komerční ceny by bylo nutné zohlednit potřebu dopracování systému pro osvětlování minimálně dvou oken, napojením na internet, konečnou stavební instalaci, ochranou proti blesku, proti větru a podobně. Taková cena by se blížila 200 000,-Kč. Náklady na elektrickou energii by bylo možné řešit malým fotovoltaickým systémem řádově do 10 000,-Kč

Životnost systému by byla maximálně 20 let s ohledem na pohyblivé části konstrukce. Některé části by bylo zapotřebí v průběhu 20 let vyměňovat.

Zásadní nevýhodou navrhovaného systému je nemožnost jeho využití v letních měsících v případě použití jiných solárních panelů by bylo možné směřovat zrcadlo v průběhu léta na tyto panely. Solární panely jsou však obvykle směřovány na jih. Osvětlovat panely směřující na jih pomocí navrhovaného zrcadla je prakticky nemožné.

Ve srovnání s navrhovaným systémem jsou některé komerční systémy výhodnější. A to zejména z důvodu využití i v letních měsících. Například ohřev užitkové vody je využíván celoročně.

Osvětlení malým ostrovním fotovoltaickým systémem se jeví jako výhodnější. Případně požadované imitování spektra zapadajícího slunce je možné pomocí moderních oranžových a oranžovo červených led žárovek.

9 Diskuze výsledků

Cíl práce se podařilo naplnit. Nicméně přínos navrhované řešení se prokázat nepodařilo. Základní premisa že z konečný záření dopadající na metr čtvereční plochy nese výkon 1 kW byla potvrzena z více zdrojů. Nicméně zrcadlo odrážející sluneční světlo stále do 1 místa je v průběhu dne nakloněno a nikdy nemíří kolmo ke slunci. Odražené sluneční záření obsahuje méně energie dané pomyslnou průmětnou nakloněného zrcadla. V našem experimentu bylo vidět že ve večerních hodinách má průmětna menší plochu než 0,5 m². Realizace experimentů s využitím dvoukřídlého okna sebou nesla ztrátu části plochy skla danou prostřední částí obou rámu křídel. Ztráty způsobené těmito rámy se pohybovaly od 20 do 50 %. Z výše uvedeného vyplývá že fotovoltaický panel umístěný na konstrukci zrcadla, která by byla řízena tak, aby byl panel směřován stále kolmo ke slunci, by při účinnosti 20 % měl srovnatelnou ziskovost systému.

10 Závěry a doporučení

Základní myšlenkou práce bylo nasazení systému, který by nevyžadoval stavební úpravy obytného objektu. I když experiment poukázal na řadu překážek, není nutné tuto myšlenku zcela opustit.

Zdá se, že by bylo vhodné celou konstrukci zrcadla zmenšit a použít jen pro mírné oslunění místnosti. Menší plochu odrazu by bylo možné lépe nasměrovat do místnosti tak, aby neoslňoval uživatele. Světlo by mohlo být následně po místnosti rozptýleno a využito jako přirozené ambientní osvětlení. Menší konstrukce by s sebou nesla menší nároky na celkovou pevnost. Následně by bylo možné konstrukci realizovat z plastu a celý systém zlevnit. Takový systém by mohl být přenosný a jednoduše nastavitelný.

V případě zachování velikosti zrcadla a využití odraženého slunečního záření primárně pro úsporu energie na vytápění by bylo vhodné viditelné spektrum utlumit pomocí filtru na zrcadle, případně zvolit odrazivou plochu odrážející pouze infračervené záření. Tímto řešením by však účinnost systému dále klesla a realizační náklad by vzrostly.

Pro účely v systémech Smart home by bylo vhodné monitorovat pohyb osob v budově a jejich zvyklosti implementovat do predikce preferované teploty různých místnostech v průběhu dne a následně směřovat zrcadlo do místnosti dříve, než k využití dané místnosti dojde a tím prodloužit čas vlivu zrcadla na teplotu v místnosti. Pro případ využití zrcadel pro přirozené osvětlení místností by bylo vhodné monitorovat například zapnutí TV, nebo dataprojektoru. Vhodné by také bylo synchronizovat systém například s budíkem.

11 Seznam použité literatury

1. AL HERR, Y, M ARIF, A KAUSHIK, A MAZROEI, M KATAFYGIOTOU a E ELSARRAG. Occupant productivity and office indoor environment quality: A review of the literature. *BUILDING AND ENVIRONMENT* [online]. 2016, **105**, 369–389. ISSN 0360-1323. Dostupné z: doi:10.1016/j.buildenv.2016.06.001
2. ROHAN, Kelly J., Jonah MEYERHOFF, Sheau-Yan HO, Maggie EVANS, Teodor T. POSTOLACHE a Pamela M. VACEK. Outcomes One and Two Winters Following Cognitive-Behavioral Therapy or Light Therapy for Seasonal Affective Disorder. *American Journal of Psychiatry* [online]. 2016, **173**(3), 244–251. ISSN 0002-953X. Dostupné z: doi:10.1176/appi.ajp.2015.15060773
3. BYRNE, Scott N. How much sunlight is enough? *Photochemical & Photobiological Sciences: Official Journal of the European Photochemistry Association and the European Society for Photobiology* [online]. 2014, **13**(6), 840–852. ISSN 1474-9092. Dostupné z: doi:10.1039/c4pp00051j
4. GAGO, EJ, T MUNEER, M KNEZ a H KOSTER. Natural light controls and guides in buildings. Energy saving for electrical lighting, reduction of cooling load. *RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS* [online]. 2015, **41**, 1–13. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2014.08.002
5. MICHAELIDES, Efstathios. *Alternative energy sources*. Heidelberg ; New York: Springer, 2012. Green energy and technology. ISBN 978-3-642-20950-5.
6. HRASKA, J. APPROACHES, METHODS AND TOOLS OF RIGHTS OF ACCESS TO SUNLIGHT AROUND THE WORLD. *SLOVAK JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING* [online]. 2019, **27**(4), 45–52. ISSN 1210-3896. Dostupné z: doi:10.2478/sjce-2019-0031
7. SEONG, Yoon-Bok, Jae-Han LIM, Myoung-Souk YEO, Il-Du GOH a Kwang-Woo KIM. HELIOS: Solar rights analysis system for apartment buildings. *SREN '05 - Solar Renewable Energy News Conference* [online]. 2006, **80**(6), 723–741. ISSN 0038-092X. Dostupné z: doi:10.1016/j.solener.2005.11.008
8. CHEN, B., H.J. CHEN, S.R. MENG, X. CHEN, P. SUN a Y.H. DING. The effect of Trombe wall on indoor humid climate in Dalian, China. *Renewable Energy* [online]. 2006, **31**(3), 333–343. ISSN 0960-1481. Dostupné z: doi:10.1016/j.renene.2005.04.013
9. SAADATIAN, Omid, Kamaruzzaman SOPIAN, Chin Haw LIM a Nilofar ASIM. Trombe walls: A review of opportunities and challenges in research and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2012, **16**, 6340–6351. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2012.06.032

10. FADHIL, Ehsan a Shayma AZIZ. The Impact of Air Gap Width on the Free Thermal Load in the Trombe Wall Contains a Phase Change Material. *Al-Kitab Journal for Pure Sciences* [online]. 2018, **2**, 264–275. Dostupné z: doi:10.32441/kjps.02.02.p18
11. SUNDAR, S., D. PRAKASH a V. SURYA. Analysis and Optimization of Passive Wall Solar Chimney through Taguchi's Technique. *Applied Solar Energy* [online]. 2020, **56**(5), 397–403. ISSN 1934-9424. Dostupné z: doi:10.3103/S0003701X20050114
12. NKWETTA, Dan, Mervyn SMYTH, Zacharopoulos AGGELOS a Trevor HYDE. Experimental performance analysis and optimisation of medium temperature solar thermal collectors with silicon oil as a heat transfer fluid. *International Journal of Energy Research* [online]. 2013, **37**. Dostupné z: doi:10.1002/er.1946
13. SAKELLARIOU, Evangelos, Bill BOT a Kosmas KAVADIAS. First Law Comparison of a Forced-Circulation Solar Water Heating System with an Identical Thermosyphon. *Energies* [online]. 2022, **16**. Dostupné z: doi:10.3390/en16010431
14. OUKILI, M, S ZOUGGAR, M SEDDIK, F VALLEE, M EL HAFYANI a T OUCHBEL. Evaluation of the Moroccan Power Grid Adequacy with Introduction of Concentrating Solar Power (CSP) Using Solar Tower and Parabolic Trough Mirrors Technology. In: RJ HOWLETT, NK MSIRDI, A NAAMANE a A SAYIGH, ed. *MEDITERRANEAN GREEN ENERGY FORUM 2013: PROCEEDINGS OF AN INTERNATIONAL CONFERENCE MGEF-13* [online]. 2013, s. 113–122. ISBN 1876-6102. Dostupné z: doi:10.1016/j.egypro.2013.11.011
15. HUANG, WD, F SHEN, LLN SUN a CG ZONG. Performance Prediction and Optimization of Multi-Mirror Combined Solar Dish Collector. *APPLIED SCIENCES-BASEL* [online]. 2022, **12**(5). ISSN 2076-3417. Dostupné z: doi:10.3390/app12052347
16. SHARP, F, D LINDSEY, J DOLS a J COKER. The use and environmental impact of daylighting. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION* [online]. 2014, **85**, 462–471. ISSN 0959-6526. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2014.03.092
17. TAYLOR, Adam. How The Gigantic Mirrors Finally Bringing Winter Sun To A Norwegian Town Work. *Business Insider* [online]. [vid. 2023-04-23]. Dostupné z: <https://www.businessinsider.com/rjukan-norway-how-the-mirrors-work-2013-10>
18. TIAN, M, YH SU, HF ZHENG, G PEI, GQ LI a S RIFFAT. A review on the recent research progress in the compound parabolic concentrator (CPC) for solar energy applications. *RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS* [online]. 2018, **82**, 1272–1296. ISSN 1364-0321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2017.09.050
19. VU, NH a S SHIN. Cost-effective optical fiber daylighting system using modified compound parabolic concentrators. *SOLAR ENERGY* [online]. 2016, **136**, 145–152. ISSN 0038-092X. Dostupné z: doi:10.1016/j.solener.2016.06.064

20. LV, YX, LY XIA, ML LI, L WANG, YC SU a JY YAN. Techno-economic evaluation of an optical fiber based hybrid solar lighting system. *ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT* [online]. 2020, **225**. ISSN 0196-8904. Dostupné z: doi:10.1016/j.enconman.2020.113399
21. STOLOJESCU-CRISAN, C, BP BUTUNOI a C CRISAN. An IoT Based Smart Irrigation System. *IEEE CONSUMER ELECTRONICS MAGAZINE* [online]. 2022, **11**(3), 50–58. ISSN 2162-2248. Dostupné z: doi:10.1109/MCE.2021.3084123
22. STOLOJESCU-CRISAN, C, C CRISAN a BP BUTUNOI. An IoT-Based Smart Home Automation System. *SENSORS* [online]. 2021, **21**(11). ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s21113784

Podklad pro zadání DIPLOMOVÉ práce studenta

Jméno a příjmení: Bc. Petr Slanina
Osobní číslo: I1800333
Adresa: Domečkova 519, Hradec Králové, 50012 Hradec Králové 12, Česká republika
Téma práce: Návrh a implementace řídicího systému adaptivního osvětlení budov odraženým slunečním zářením
Téma práce anglicky: Design and implementation of adaptive building solar illumination control system
Jazyk práce: Čeština
Vedoucí práce: prof. Ing. Ondřej Krejcar, Ph.D.
Centrum základního a aplikovaného výzkumu

Zásady pro vypracování:

Cílem práce bude navrhnout, realizovat a zhodnotit automatizovaný systém natáčení zrcadla o velikosti 1 m². Účelem natáčení zrcadla bude odrazet sluneční světlo do okna budovy za účelem zlepšení osvitů a vytápění místnosti. Práce bude předpokládat umístění v lokalitě České republiky, respektive na severní polokouli severně od Obratníku raka. Typickým nasazením zrcadla bude umístění mimo budovu tak, aby bylo možné osvětlit okno na severní straně budovy, do kterého slunce nikdy nesvítí přímo. Základní premisou je, že užitečný tepelný výkon slunečního svitu dopadajícího kolmo na 1 m² plochy v blízkosti povrchu země na 50. rovnoběžce je cca 1kW. Tento výkon nasměrovaný do místnosti způsobí zvýšení teploty v místnosti. Související a nezanedbatelnou funkcionalitou systému je prodloužení možnosti využití denního světla v místnosti, a to i místnostech s okny umístěnými jinak než na sever, například v zimních měsících, kdy může být přímý osvit stíněný sousední budovou. Při ověřování vlivu systému bude použita některá z metod průběžného záznamu teploty, nebo osvitů místnosti a vně budovy.

Osnova:

1. Úvod
2. Cíle práce
3. Úspora a efektivní využívání energií v budovách
4. Rešerše stávajících řešení
5. Metodika zpracování
6. Návrh systému osvětlení odraženým světlem
7. Experimentální nasazení systému
8. Testování a vyhodnocení dat z experimentu
9. Diskuze výsledků
10. Závěry a doporučení
11. Seznam použité literatury
12. Přílohy

Seznam doporučené literatury:

1. Strange place: Italian Village has Artificial Sun | Zazen Life. 302 Found [online]. Dostupné z: <http://test.zazenlife.com/2012/03/06/strange-place-italian-village-artificial-sun/>
2. Pasivní domy z přírodních materiálů Autor: Hudec Mojmir NAKLADATEL Grada DATUM VYDÁNÍ 1.12.2012 ISBN 978-80-247-4243-4
3. Tepelné mosty – Detaily pro nízkoenergetické a pasivní domy Autor: Roman Šubrt Vydavatel: Grada Jazyk: čeština Publikováno: 6.12.2011 ISBN: 978-80-247-4059-1
4. TNI 730331 Energetická náročnost budov ? Typické hodnoty pro výpočet, UNMZ, 4/2013.
5. Elektronická kniha: Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů Autor: Josef Smola Nakladatelství: Grada Rok vydání: 2011 ISBN: 978-80-247-2995-4

6. Praktická aplikace metodiky hodnocení energetické náročnosti budov ? RODINNÝ DŮM [online]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/9897-prakticka-aplikace-metodiky-hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-rodinny-dum>
7. Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov, 12/2015
8. ČSN 06 0310, Tepelné soustavy v budovách ? Projektování a montáž, 8/2014
9. Arduino na nepřijívném poli. Úvod [online]. Dostupné z: <http://docs.uart.cz/docs/duino/>
10. Obvod reálného času DS1307 ? uArt.cz. uArt.cz ? Electronics, programming and stuff? [online]. Dostupné z: <https://uart.cz/78/obvod-realneho-casu-ds1307/>
11. Arduino – StepperSpeedControl . Arduino – Home [online]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/tutorial/stepperSpeedControl>
12. Arduino – Datalogger . Arduino – Home [online]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/tutorial/datalogger>

Podpis studenta:

Datum:

Podpis vedoucího práce:

Datum:

© IS/STAG, Portál – Podklad kvalifikační práce, slame1, 26. dubna 2023 08:22