



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

AUTOMATICKÉ POLOHOVÁNÍ PRO SOLÁRNÍ KONCENTRÁTOROVÝ SYSTÉM

AUTOMATIC POSITIONING FOR SOLAR CONCENTRATOR SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Juraj Čásar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

BRNO 2021

Diplomová práce

magisterský navazující studijní program **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. Juraj Čásar

ID: 222623

Ročník: 2

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Automatické polohování pro solární koncentrátorový systém

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Práce je zaměřena na pokračování v rozpracovaném tématu v oblasti využití solární energie pomocí koncentrátorového systému. Cílem je navázat na již hotové komponenty koncentrátorového systému, zpracování polohovacího zařízení, oživení mechanické a motorické části polohovacího zařízení, ověření v praxi a provedení měření.

Doporučená osnova práce:

1. popis současného stavu vytvořených zařízení,
2. rešerše možností motorového pohonu pro daný koncentrátor,
3. návrh mechanického modelu a příprava konstrukce,
4. osazení koncentrátoru polohovacím pohonem,
5. měření na funkčním vzorku, krátkodobé a dlouhodobé testy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího diplomové práce

Termín zadání: 8.2.2021

Termín odevzdání: 24.5.2021

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Cieľom práce bolo vytvorenie automatického polohovacieho systému, s optikou na koncentráciu žiarenia a telesom na jeho zber, ktorý je schopný sledovať slnko po oblohe prostredníctvom kamery. Na začiatku sú popísané koncentrátorové systémy a pohyb slnka z perspektívy pozorovateľa. Nasleduje popis rôznych potenciálnych komponentov potrebných k prevádzke systému. Posledná časť sa zaoberá implementáciou vybraných komponentov k fungovaniu ako celku, overením funkčnosti presným sledovaním slnka po oblohe a zmeraním výkonu koncentrátorového systému s automatickým natáčaním.

Kľúčová slova

Solárny koncentrátor, polohovanie, kamera, Raspberry Pi

Abstract

The aim of the work was to create an automatic positioning system, with optics for radiation concentration and a body for its collection, by monitoring the sun across the sky using a camera. At the beginning are introduced the concentrator systems and the movement of the sun from the perspective of the observer. Follows description of the various potential components which requires a functional system. The last part deal with the implementation of selected components for operation as a whole system, verification of functionality by accurate tracking of the sun across the sky and measuring the performance of the concentrator system with automatic positioning.

Keywords

Solar concentrator, positioning, camera, Raspberry Pi

Bibliografická citace

ČÁŠAR, Juraj. *Automatické polohování pro solární koncentrátorový systém*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134900>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Petr Baxant.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Juraj Čásar*

VUT ID studenta: *222623*

Typ práce: *Diplomová práce*

Akademický rok: *2020/21*

Téma závěrečné práce: *Automatické polohovanie pre solárny koncentrátorový systém*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 23.5.2021

Pod'akovanie

Na tomto mieste by som rád pod'akoval vedúcemu práce doc. Ing. Petrovi Baxantovi, Ph.D. za cenné rady pri spracovaní práce. Pod'akovanie patrí tiež pánovi Ing. Jřímu Grossovi za poskytnutie motorov pre účely tejto práce.

Obsah

ZOZNAM OBRÁZKOV	8
ZOZNAM TABULIEK	9
ÚVOD	10
1. ZDANLIVÝ POHYB SLNKA A ZBER SOLÁRNEJ ENERGIE.....	11
1.1 SOLÁRNE KONCENTRÁTORY	13
2. SYSTÉM RIADENIA POHYBU	16
2.1 ZREALIZOVANÝ RIADIACI SYSTÉM MOTOROV	16
2.2 SPÄTNÁ VÄZBA	17
2.2.1 Potenciometer	17
2.2.2 Solárne panely	18
2.2.3 Inerciálna meracia jednotka	18
2.2.4 Fotodiódy	20
2.2.5 Fotorezistory	21
2.2.6 Slnčný senzor	21
2.2.7 Kamera	22
2.3 RIADIACA JEDNOTKA	23
2.4 ELEKTROMOTORY	24
2.4.1 Jednosmerné	24
2.4.2 Servomotory	27
2.4.3 Krokové	28
2.5 OVLÁDANIE MOTOROV	28
3. SOLÁRNY KONCENTRÁTOROVÝ SYSTÉM S AUTOMATICKÝM POLOHOVANÍM .	30
3.1 MOTORY A ZDROJ NAPÁJANIA	31
3.2 OVLÁDANIE MOTOROV RELÉ MODULOM	34
3.3 SPÔSOBY RIADENIA SYSTÉMU	36
3.3.1 Kombinácia IMU a spočítaných hodnôt o polohe slnka	36
3.3.2 Riadenie kamerou	37
3.4 OVERENIE FUNKČNOSTI A MERANIE	43
3.5 FINANČNÉ VYHODNOTENIE	46
4. ZÁVER.....	48
LITERATÚRA.....	49
ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK	53
ZOZNAM PRÍLOH.....	54

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1-1 Pohyb zeme okolo slnka [29]	11
Obr. 1-2 Súradnice azimut a výška používané na určenie polohy vesmírnych telies [19]	12
Obr. 1-3 Možná poloha slnka pri striedaní ročných období [28]	12
Obr. 1-4 Typy koncentrátorových systémov [4]	13
Obr. 1-5 Porovnanie účinností premeny na elektrickú energiu jednotlivých typov koncentrátorových systémov [26]	14
Obr. 1-6 Časti koncentrátora s bodovým sústredením žiarenia [26]	14
Obr. 2-1 Schéma riadenia pohybu [30]	17
Obr. 2-2 Miniaturizovaný satelit CubeSat [35]	18
Obr. 2-3 Snímané tri osi jednotlivých senzorov [22]	19
Obr. 2-4 Senzor smeru intenzity žiarenia s piatimi fotodiódami [32]	20
Obr. 2-5 Svetelný senzor zložený z piatich fotodiód [32]	20
Obr. 2-6 Svetelný senzor s fotorezistormi [40]	21
Obr. 2-7 Princíp snímania polohy slnka svetelného senzora a jeho výstup na pixelovej matici [39]	22
Obr. 2-8 Obloha s vyznačeným stredom najjasnejšieho objektu [36]	23
Obr. 2-9 Mechanicky komutovaný motor s PM [30]	25
Obr. 2-10 Elektronicky komutovaný motor s PM [30]	26
Obr. 2-11 Lineárny aktuátor (k dispozícii rôzne dĺžky, sily zdvihu, rôzne prevody, spätná väzba, napájacie napätia) v sume od 70 € do 160 € [16]	26
Obr. 2-12 Princíp riadenia pulzne šírkovou moduláciou [31]	27
Obr. 2-13 Lineárne servomotory, začínajúca suma 115€ až 204 €, podľa výšky zdvihu [17]	28
Obr. 2-14 Ovládač motora MC33926 [25]	29
Obr. 2-15 Modul HW-316 so štyrmi relé a optočlenmi vrátane rozhrania pre mikrokontrolér za 3,74€ [27]	29
Obr. 3-1 Solárny koncentrátorový systém s automatickým polohovaním	30
Obr. 3-2 Závislosť rýchlosti na sile pre vybraný typ lineárnych aktuátorov pre rôzne prevodové pomery [16]	32
Obr. 3-3 Vľavo motor zabezpečujúci vertikálny pohyb, motor vpravo horizontálny	33
Obr. 3-4 Schéma riadenia motorov prostredníctvom relé modulu	35
Obr. 3-5 Zapojený relé modul	36
Obr. 3-6 Vývojový diagram algoritmu polohovania	37
Obr. 3-7 Raspberry Pi Zero a 5Mpx kamera s 160° uhlom záberu [2]	38
Obr. 3-8 Počítač na konštrukcii, kamera je na druhej strane dosky	38
Obr. 3-9 Výstupný binárny obraz s nájdeným slnkom	40
Obr. 3-10 Spracovávaný obraz; vľavo je prítomná iba clona proti intenzívnemu žiareniu s vyznačeným stredom obrazovky a jasného objektu; v strede je obraz po aplikovaní Gaussianského filtru; vpravo je binárny obraz a z bielej časti je počítaný priemerný stred	41
Obr. 3-11 Schéma zapojenia riadenia s kamerou	41
Obr. 3-12 Demonštrácia polohovania nasmerovaním systému na slnko pri oblačnosti; Najskôr polohuje motor zabezpečujúci vertikálny pohyb, potom horizontálny	42
Obr. 3-13 Konfigurácia merania vyparovania vody	45

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 2-1 Porovnanie vhodných systémov riadenia [7].....	24
Tab. 3-1 Parametre motorov [16].....	32
Tab. 3-2 Parametre zdroja [9]	33
Tab. 3-3 Podmienky počas merania	44
Tab. 3-4 Nastavené hodnoty systému	44
Tab. 3-5 Druhé nastavenie systému	44
Tab. 3-6 Hodnoty časov a vody merania	45
Tab. 3-7 Suma komponentov riadenia s IMU	46
Tab. 3-8 Suma komponentov riadenia s Raspberry Pi.....	47

ÚVOD

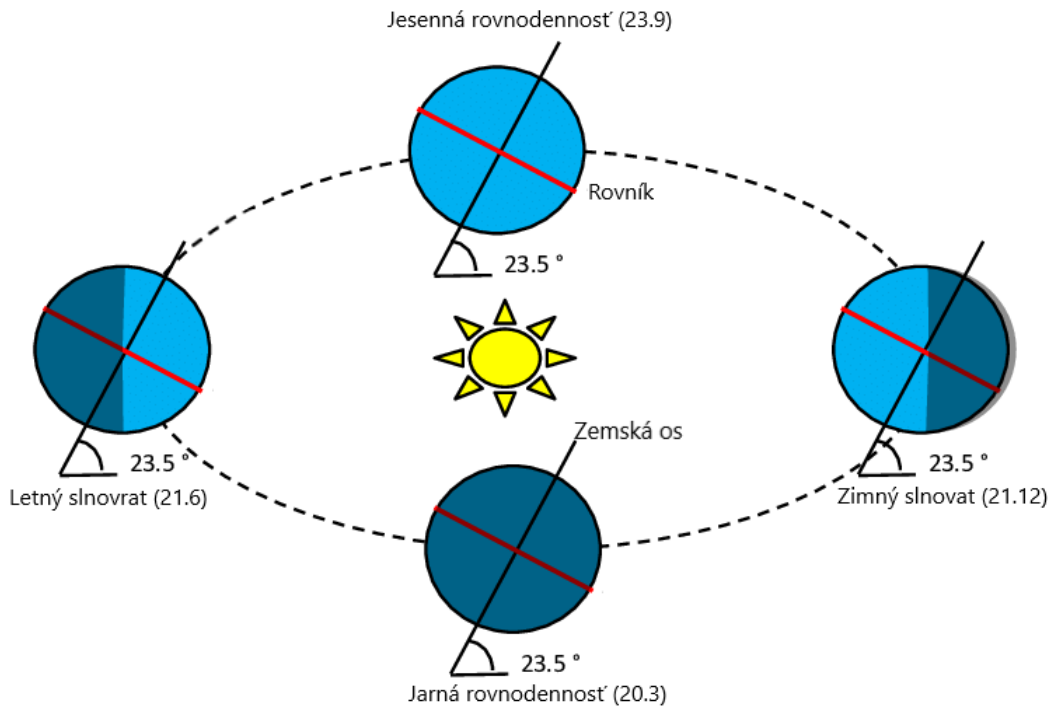
Slnčná energia patrí k nevyčerpatelným zdrojom energie a jej použitie nemá negatívny vplyv na životné prostredie. Môže byť využitá na výrobu tepla a električky. Jeden zo spôsobov získavania tepla je prostredníctvom koncentrátorových systémov. Využívajú princíp odrazu svetla a zrkadlovým povrchom sústreďujú dopadajúce žiarenie na absorbér (nádoba, potrubie), kde je nahromadená energia vhodne využitá. Polohovanie za slnkom môže navýšiť účinnosť solárnych panelov a je nevyhnutné k správnej činnosti koncentrátorov. Práca sa zaoberá využitím energie koncentrátorovými systémami.

Jeden z cieľov práce je vypracovať rešerš o elektromotoroch vhodných k polohovaniu, zvoliť jeden vhodný a určiť spôsob ovládania. Podľa vybraného pohonu zrealizovať konštrukciu schopnej voľného pohybu v dvoch osách. K zachytávaniu a následnému sústredeniu žiarenia je nutné vytvoriť optiku vhodného tvaru, povrchu a absorbátor na kumuláciu energie. Na dosiahnutie presnosti vyžadujúcej koncentrátorovými systémami je nutné tiež vytvoriť riadiaci systém. Po osadení komponentov a ich synchronizácie je cieľom overiť funkčnosť celého systému a uskutočniť meranie.

K natáčaniu sú použité dva jednosmerné posuvné motory bez spätnej väzby riadené spínaním viacerých relé zabezpečujúce natáčanie v horizontálnej a vertikálnej rovine. Ako optika na sústredenie žiarenia bola použitá televízna anténa tvaru paraboly s nanosenou zrkadlovou fóliou a absorbátor zo zhluku dutej medenej trúbky. Riadenie celého systému je vyhodnocované jednodoskovým počítačom Raspberry Pi Zero a širokouhlejšou kamerou s clonou proti intenzívnemu žiareniu, ktoré obraz spracováva a vyhodnocuje jasný objekt na obrazovke. Systém uskutočňuje polohovanie, dokedy nie je systém natočený na slnko. Na vytvorenie konštrukcie s voľným pohybom v dvoch osách bolo použité drevo.

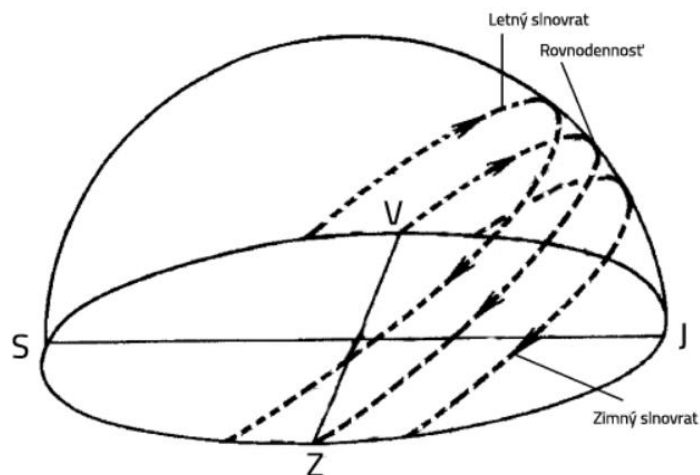
1. ZDANLIVÝ POHYB SLNKA A ZBER SOLÁRNEJ ENERGIE

Otáčanie zeme okolo zemskej osy a jej sklon od roviny eliptiky ($23,5^\circ$) spôsobuje zdanlivý pohyb slnka po oblohe. Zemská os je myslená priamka spojujúca severný a južný pól. Rovina eliptiky je rovina, v ktorej obieha zem okolo slnka. S nebeským rovníkom sa pretne dva krát do roka (rovnodennosť). [10]



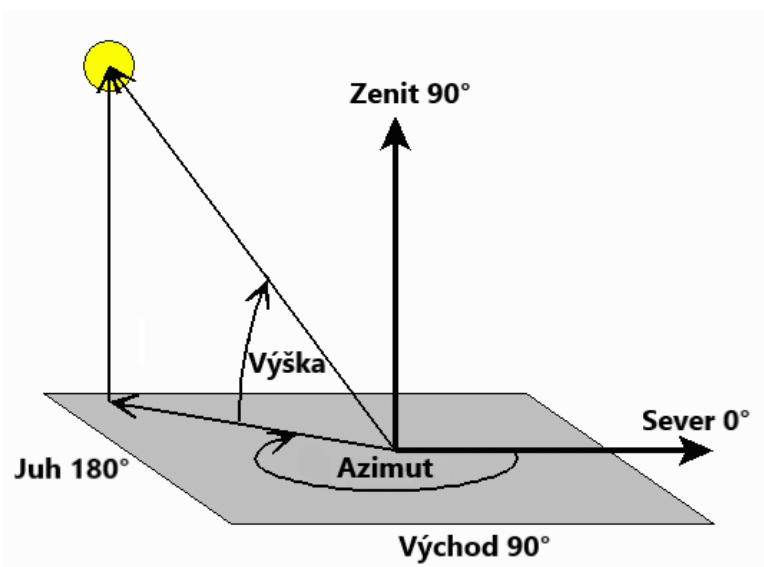
Obr. 1-1 Pohyb zeme okolo slnka [29]

Letný slnovrat má za následok polohu slnka vo väčšej výške. Na zem dopadá intenzívnejšie slnečné žiarenie pod priamejším uhlom a dni sú dlhšie. Na južnej pologuli je naopak chladnejšie pretože dni sú kratšie. [10]



Obr. 1-3 Možná poloha slnka pri striedaní ročných období [28]

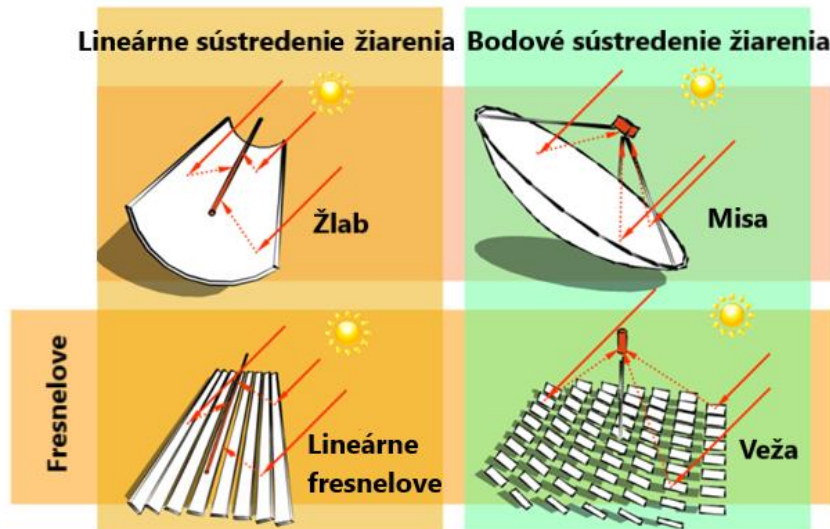
K určení polohy vesmírnych telies na viditeľnej oblohe sa používajú horizontálne súradnice azimut a výška. Rovina horizontu je považovaná ako základná.[28] Výška udáva uhlovú výšku vesmírneho telesa. Nad obzorom môže mať hodnoty 0° až 90° . Azimut môže mať hodnoty 0° až 360° v smere hodinových ručičiek a určuje uhlovú vzdialenosť pozorovaného vesmírneho telesa od severného smeru. Deklinácia udáva veľkosť uhla rozdielu konkrétnej rovnobežky od rovníku.



Obr. 1-2 Súradnice azimut a výška používané na určenie polohy vesmírnych telies [19]

1.1 Solárne koncentrátoary

K zberu solárnej energie je potrebné zariadenie na konvertovanie alebo koncentrovanie žiarenia. Solárne panely premieňajú žiarenie priamo na elektriku fotovoltaickým javom. Solárne koncentrátorové systémy využívajú sústredenia slnečného žiarenia použitím optiky ako šošovky alebo zrkadlá na koncentrovanie žiarenia z väčšej oblasti na absorbér za účelom kumulácie energie. Oba spôsoby získavania energie je možné zefektívniť smerovaním na slnko. [26]

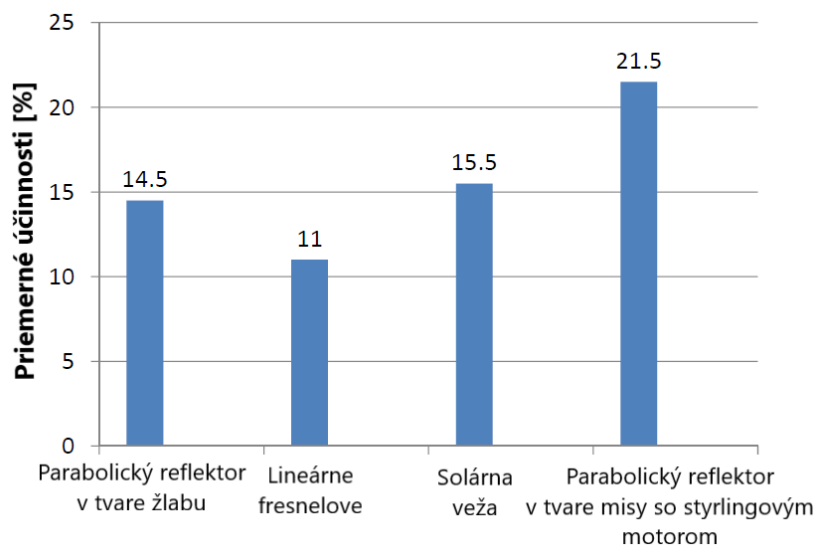


Obr. 1-4 Typy koncentrátorových systémov [4]

Môžu byť kategorizované podľa typu zamerania na bodové a lineárne.

Systémy s lineárnym sústredením žiarenia vyzerajú ako zrkadlové parabolické žľaby sústreďujúce žiarenie do potrubia. Tam je teplo predané médiu s vysokým bodom varu, napr. olej. Prevádzkové teploty tohto typu sú medzi 200 °C a 550 °C. Orientácia reflektorov je zvyčajne zarovnaná so severom a juhom alebo západom a východom. Otáčanie za slnkom je realizované iba a jednej osi. [4]

Systém s bodovým sústredením žiarenia, napríklad zrkadlo tvaru parabolickej misy, je schopný zvýšiť žiarenie niekoľko násobne a prevádzková teplota môže dosiahnuť cez 1000°C. Fresnelove bodovo sústreďujúce systémy sa nazývajú solárne veže. [4]



Obr. 1-5 Porovnanie účinností premeny na elektrickú energiu jednotlivých typov koncentrátorových systémov [26]

Uvedené sú účinnosti jednotlivých typov koncentrátorov. Najvyššiu má parabolický reflektor v tvare misy so stirlingovým motorom na generovanie elektriky.



Obr. 1-6 Časti koncentrátoru s bodovým sústredením žiarenia [26]

Koncentrátorový systém s bodovým sústredením žiarenia sa skladá z optického reflektora na sústredenie žiarenia na jednotku premeny energie, kde je tepelná energia prevedená na elektrickú stirlingovým motorom. Celý mechanizmus obsahuje elektronické ovládanie spojené s pohonmi na nasmerovanie reflektora priamo na slnko priebežne počas dňa. [26]

S daným typom a konfiguráciou je možné získať maximálny výkon 3 kW pri dopade slnečného žiarenia o hodnote 850 W/m^2 . Na obr. 1-6 je systém vytvorený firmou Infinia a sú inštalované v USA, Európe (Španielsko), Indii. Životnosť daného systému je uvedená na 25 rokov.[15]

Otáčaním smerovania na jednej osy fotovoltaického systému je možné zvýšiť generovanú energiu okolo 30%. V prípade otáčania systému v dvoch osiach je možné navýšiť výstup o 50% v lete a o 20% v zime bez oblačnosti.[14] Výsledky sú z lokácie Detroit USA.

Pri zlom návrhu polohovacieho systému je možné znížiť produkciu energie. Pri veľkej časti rozptýleného solárneho žiarenia je vhodná statická horizontálna poloha panelov.[15]

Na zaistenie dlhodobej funkcie automatického polohovacieho systému pri implementácii natáčania na solárne panely alebo koncentrátorové systémy je vhodné zistiť informáciu o oblačnosti alebo aktuálnej intenzite slnečného žiarenia, či je polohovanie za daných podmienok možné.

Presnosť solárneho sledovania je dôležitý faktor v dizajne solárnych koncentrátorových systémoch, pretože získaná tepelná energia priamo závisí od priamo zachyteného slnečného žiarenia. Pri chybe okolo 1° je strata tepla menšia ako 4% a pri 2° je strata okolo 22%. Straty exponenciálne stúpajú ako funkcia chyby solárneho sledovania. [15]

Za účelom udržania vysokého výstupného výkonu koncentrátorových systémov je vyžadovaný polohovací systém s presnosťou 0.1° . [26]

2. SYSTÉM RIADENIA POHYBU

Systémy riadenia pohybu sa väčšinou skladajú z riadiacej jednotky, ovládača motora alebo zosilňovača, elektrického motora a senzora spätnej väzby. Systém môže tiež obsahovať ďalšie komponenty ako sú pásy, guľové skrutky atď. Riadiaca jednotka môže byť väčšinou mikropočítač, osobný počítač alebo programovateľný logický automat, ktorý spracováva, uskutočňuje príkazy alebo reguluje správanie ostatných zariadení. Rozsah zložitosti aplikácií je od riadenia a kontrolovania teploty termostatom až po veľké priemyselné riadiace systémy kontrolujúce procesy či stroje. [12][30]

Všetky komponenty musia plynulo spolupracovať na dosiahnutie priradenej funkcie. Ich výber musí byť založený na technických a ekonomických uvaženiach. Systémy riadenia pohybu môžu byť klasifikované ako systémy otvorenej a uzavretej slučky. Otvorená slučka nevyžaduje merania za účelom produkcie chybového signálu.

Typický systém prevádzkovaný ako otvorená slučka, je napríklad krokový motor. Takýto systém nepotrebuje spätnú väzbu pretože pozícia záťaže a rýchlosť sú kontrolované pred-determinovaným číslom a smerom vstupných digitálnych pulzov poslaných do motora z riadiacej jednotky. Pozícia záťaže nie je väčšinou priebežne vzorkovaná senzorom spätnej väzby (ako u systémov prevádzkovaných uzatvorenej slučke) a môžu sa pri polohovaní vyskytnúť chyby (často nazývané krokové chyby), ktoré sa môžu časom naakumulovať. Preto sú systémy bez spätnej väzby často aplikované kde je záťaž konštantná, pohyb záťaže je jednoduchý a malá rýchlosť polohovania je prijateľná. [30]

2.1 Zrealizovaný riadiaci systém motorov

Práca nadväzuje na vytvorený riadiaci koncentrátorový systém. Skladá sa z mikropočítača, LCD displeja s dvomi riadkami o šesťnástich znakoch. Sú prítomné dve možnosti automatického snímania slnka. Pre túto potrebu bol vytvorený detektor intenzity osvetlenia.

Vytvorený bol detektor intenzity osvetlenia. Skladá sa zo štyroch fotorezistorov v čiernom tienidle o štyroch kvadrantoch, ku ktorým je privedených +5 V. Porovnávaný je priemerný úbytok napätia susednej dvojice rezistorov s priemerným úbytkom druhej dvojice. Ak je úbytok na niektorej dvojici väčší ako na dvojici susediacej a je presiahnutá stanovená citlivosť vyhodnotenia, je intenzita osvetlenia odlišná kvôli tieneniu a systém je potrebné otočiť príslušným smerom až do ideálneho stavu, kedy sú úbytky napätia na oboch dvojiciach rovnaké.

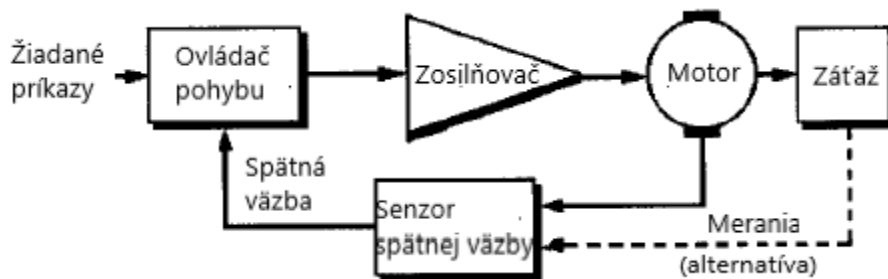
Druhou možnosťou snímania polohy slnka je prostredníctvom pred-počítaných hodnôt azimutu a výšky aktuálnej polohy slnka každých desať minút, pre konkrétnu hodinu a dátum. Spomenuté informácie sú uložené na SD karte, kvôli čomu systém disponuje čítačkou. Okrem toho je nutné poznať aktuálny čas a dátum, aby mohol systém

vybrať vhodný súbor. K tomu slúži modul reálneho času DS3231. V spomenutej práci je popísaný podrobný výpočet, ako získať azimut a výšku slnka.

K snímaniu natočenia systému slúži už spomenutý senzor intenzity osvetlenia. Ďalej je možné využiť k spresneniu polohovania potenciometre, ak to mechanická alebo motorická časť koncentrátorového systému dovoľuje. Komponenty sú ako celok umiestnené na obojstrannej doske plošných spojov v montážnej krabici s krytím IP 65. Vyvedené svorky sú určené pre ovládanie motorov, koncové spínače natočenia, potenciometre pre snímanie natočenia a náklonu a pre senzor intenzity osvetlenia.

2.2 Spätná väzba

Systémy riadenia pohybu so spätnou väzbou mávajú jednu či viac slučiek spätnej väzby, ktoré priebežne porovnávajú odpoveď systému s vloženými príkazmi alebo s nastavením pre korekciu chýb motora alebo rýchlosti a pozície záťaže (alternatíva). Takéto systémy sa nazývajú servosystémy. V danom type systému riadenia pohybu je potrebné aby mal každý motor svoj vlastný senzor spätnej väzby, ako sú napríklad potenciometre, rotačné diferenciálne transformátory alebo tachometre, ktoré uzatvárajú slučky spolu s motorom alebo/a záťažou. [30]



Obr. 2-1 Schéma riadenia pohybu [30]

2.2.1 Potenciometer

Pasívna elektrotechnická súčiastka, premenný delič potenciálu s pevným odporom znižuje hodnotu vstupného napätia na výstupe. Pevný odpor je rozdelený na dva známe a ich variabilným pomerom je možné získať rôzne výstupné napätie. Bývajú súčasťou motorov vyvedenou ďalšou svorkou ako výstup pre hodnotu odporu. Snímanie polohy premenným odporom je možné tiež upevnením externého otočného alebo ťahového potenciometra na otáčaný objekt. V prípade otáčania za slnkom v dvoch osiach je možné zosynchronizovať hodnoty odporov potenciometrov motorov s určitým rozsahom stupňov azimutu a zenitu.

2.2.2 Solárne panely

Menšie fotovoltaické panely poskytujú výkon od 0,2 W po 9 W. Veľkosť poskytnutého prúdu a napätia závisí na intenzite svetla a samotnej veľkosti modulu. Používané bývajú v záhradách, elektrických hračkách či menšej elektronike. [13]

Umiestnenie menších fotovoltaických panelov v pyramídovej konfigurácii má za následok rozdielne osvetlenie na rôznych stranách a je možné získať informáciu o pozícii slnka. Rovnakým princípom je možné snímač zrealizovať aj v konfigurácii kupoly alebo kocky na určenie uhlov žiarenia. Tohto princípu využíva miniaturizovaný satelit CubeSat pre vesmírny výskum umiestňovaný na obežnú dráhu. [26]

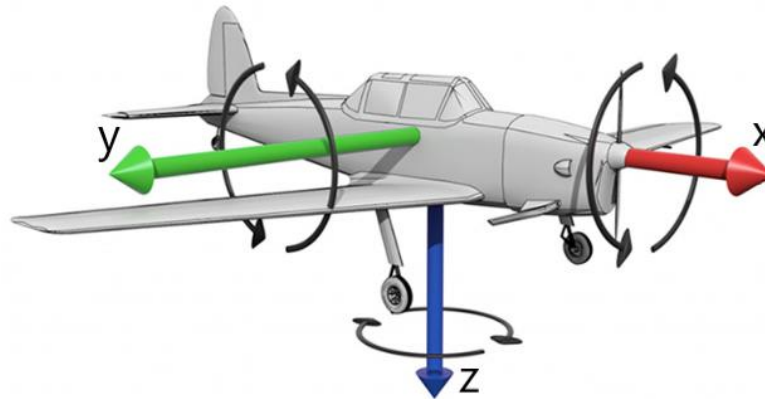


Obr. 2-2 Miniaturizovaný satelit CubeSat [35]

2.2.3 Inerciálna meracia jednotka

Ide o kombináciu zariadení, ktoré merajú, vyhodnocujú a poskytujú údaje o sile, uhlovej rýchlosti, zrýchlení a orientácii. Použité sú k tomu akcelerometer, gyroskop a magnetometer. Využívajú sa v zariadeniach určených pre let (lietadlá, kozmické lode, satelity atď..) na určenie výšky a smerovania = referenčný systém polohy. Senzory poskytujú informácie o otočení objektu okolo pozdĺžnej osi x , jeho smerovaní osi z a náklonu okolo osi y . [36] V prípade koncentrátorových systémoch je možné ich použiť na určenie azimutu a výšky aktuálneho smerovania systému.

Jednotka meria lineárne zrýchlenie akcelerometrom, rotáciu gyroskopom a smerovanie magnetometrom. Základný taký systém je zložený zo spomenutých troch senzorov a každý sníma tri osi.



Obr. 2-3 Snímané tri osi jednotlivých senzorov [22]

Z cenovo dostupných komponentov je možné použiť trojosí magnetometer HMC5883L.[18] Modul vie konvertovať akékoľvek magnetické pole do rozdielnych napäťových výstupov v troch osiach. Tieto napäťové posuny slúžia ako surové dáta digitálneho výstupu, ktoré môže byť použité na spočítanie smerovania a snímání magnetických polí z rozdielnych smerov vrátane magnetického poľa zeme. Nevýhodou je, že senzor musí byť položený vodorovne. Ďalej je náročná kalibrácia vyžadujúca otočenie senzora o 360°. [3]

K zisteniu zenitu je možné použiť trojosí gyroskop a akcelerometer MPU6050.[18] Meria zrýchlenie, rýchlosť, orientáciu a veľa ďalších parametrov systému alebo objektu súvisiaceho s pohybom. Meria uhlovú rýchlosť (rad/s) a uhol sklonu v rámci každej osi. Výstup je signál, ktorého amplitúda je rovná zrýchleniu. [20] Výpočet azimutu je daný podľa vzťahu:

$$\gamma = \arctg\left(\frac{B_y}{B_x}\right) + \delta \quad (2.1)$$

B_y T magnetická indukcia v smere osy y

B_x T magnetická indukcia v smere osy x

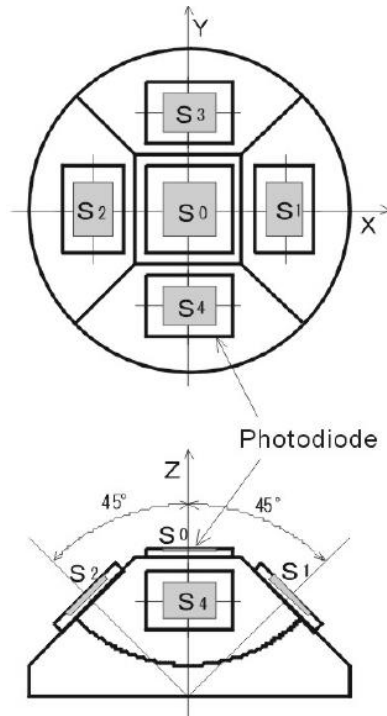
δ ° deklinácia

Základný problém magnetometrov používaných na implementáciu digitálnych kompasov je chybný výsledok azimutu v prípade naklonenia snímača v pozdĺžnej rovine x a zároveň ose y. Naklonenia magnetometra je možné kompenzovať od - 45° do + 45° v oboch osiach modulom MPU6050 údajmi o uhloch sklonov a natočenia.[11] Kompenzácia nie je možná v prípade naklonenia osy x aj y zároveň a preto ho nie je možné využiť na náročnejšie aplikácie. Korektné meranie azimutu aj v prípade naklonenia oboch ôs je možné s IMU BNO055.[23]

2.2.4 Fotodiódy

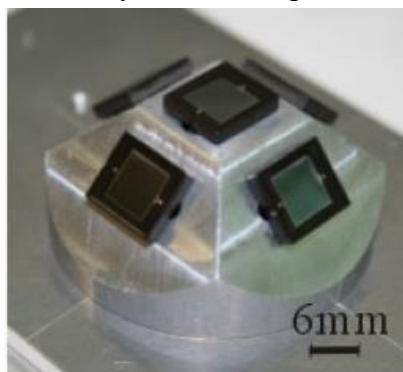
Fotodióda v porovnaní s fotorezistorom je citlivejšia na svetlo, je schopná snímať svetlo z určitého smeru a je necitlivá na svetlo z ostatných smerov. Odpor je menej závislý od teploty a jeho rozsah závisí na aplikovanom napájacom napätí. [6]

Dvojosí svetelný senzor je zložený z piatich fotodiód do tvaru pyramídy. Svetelný zdroj je zachytený pred senzorom znižovaním rozdielu výstupu medzi fotodiódami, ktoré sú oproti sebe. Dve kombinácie senzorov S_1 - S_2 a S_3 - S_4 sú priradené k ose x a y na obr. 2-4. [32][26]



Obr. 2-4 Senzor smeru intenzity žiarenia s piatimi fotodiódami [32]

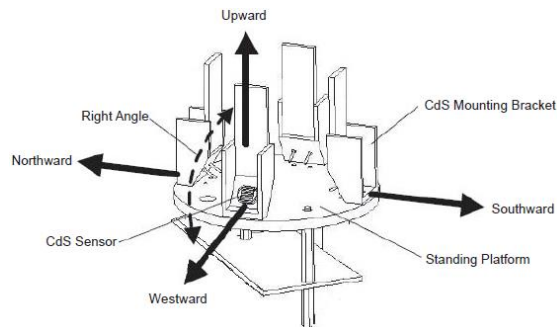
Rozdielny výstup kombinácie fotodiód je závislý na uhle dopadu slnečného žiarenia. Systém vyhodnocuje prúdy senzorov v páre. Reálny signál odchýlky je normalizovaný výstupom stredového S_0 za účelom eliminovať závislosť od ostatných smerov ako rozdiel I_{s3} a I_{s4} podelený I_{s0} . Bez oblačnosti systém nemal problém. [32]



Obr. 2-5 Svetelný senzor zložený z piatich fotodiód [32]

2.2.5 Fotorezistory

Svetelný senzor zložený zo štyroch podobných fotorezistorov, smerovaných na východ, západ, juh a sever pre snímanie svetelnej intenzity v štyroch smeroch. Normály plôch fotorezistorov sú v 45° uhle so svetelným zdrojom. Sú umiestnené v tienidlách, ktoré izolujú svetlo z ostatných smerov pre dosiahnutie väčšej presnosti obr. 2-6. [40]

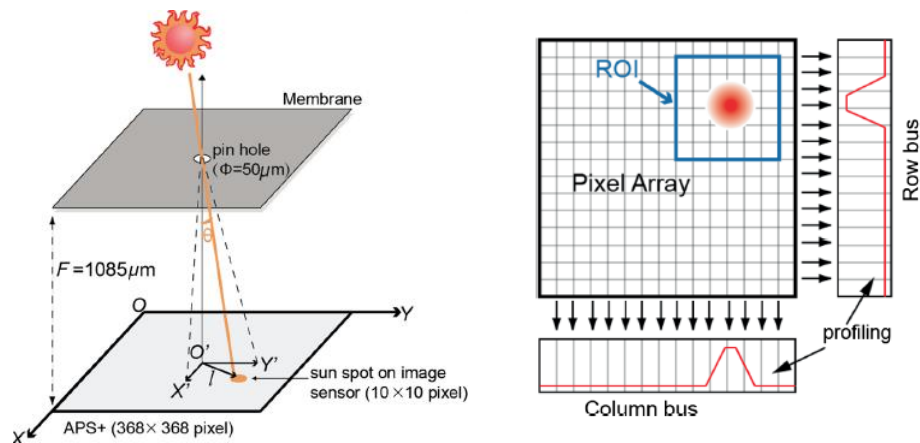


Obr. 2-6 Svetelný senzor s fotorezistormi [40]

Fotorezistory sú rozdelené do dvoch skupín, východ – západ a sever – juh. Ak sú výstupy detektorov svetla z jednej skupiny rozdielne z dôvodu zatienia jedného fotorezistora, je vytvorený príkaz na otočenie systému pre vyrovnanie daného rozdielu. [40]

2.2.6 Slniečny senzor

Je myslený upravený digitálny obrazový snímač. Je používaný, kde je vyžadovaná presná hodnota vektora žiarenia slnka v reálnom čase pre priebežné určovanie orientácie objektu. Jadrom senzora je CMOS aktívny pixelový senzor - pole o 368×368 pixelov, 12 bitový A/D prevodník a digitálne obvody na spracovanie signálu. Digitálna verzia na rozdiel od analógovej je schopná určiť uhol dopadajúceho svetelného žiarenia. Princíp je znázornený na obr. 2-7. Ide o kameru, ktorá má namiesto objektívu diera a je schopná určiť uhol medzi satelitom a slnkom. Nad ohniskovou rovinou samotného čipu je membrána uprostred ktorej je diera. Svetlo prechádza cez diera a je snímané na pixelovej matici čipu vrátane uhlu dopadu. Zorné pole býva približne 50° a presnosť určenia polohy 0.1° . [39]



Obr. 2-7 Princíp snímania polohy slnka svetelného senzora a jeho výstup na pixelovej matici [39]

2.2.7 Kamera

Ide o sledovanie slnka na základe spracovania obrazu. Obraz zachytený kamerou je privedený do mikropočítača pre vyhodnotenie pozície jasných pixelov. Na kameru je vhodné zväčškové sklo zabraňujúce intenzívnemu svetlu a UV. Prostredníctvom mikropočítača Raspberry Pi kamera sníma obraz a vyhodnocuje polohy najjasnejšieho miesta na obrazovke.[33]

Pri takomto riadení je potrebné na konci dňa pripraviť systém na ďalší deň a nasmerovať zasa na východ. Z toho dôvodu musí byť tiež prítomný prístup k aktuálnemu času. Riešenie polohovania takýmto spôsobom sa ukázalo byť vhodné aj pri väčších mrakoch. [33]



Obr. 2-8 Obloha s vyznačeným stredom najjasnejšieho objektu [36]

2.3 Riadiaca jednotka

Ovládacie systémy pre priemyselné a komerčné stroje sú historicky implementované prepojenými elektrickými relé a časovačmi. Dnes je väčšina týchto systémov založených na mikrokontroléroch alebo viac špecializovaných programovateľných logických automatoch, ktoré reagujú na spínače, senzory a spôsobujú činnosť stroja. [12]

Pre vývoj a optimalizáciu systému riadenia pohybu je vhodné Arduino. Pozostáva z fyzickej programovateľnej obvodovej dosky a jeho vlastného IDE (integrované vývojové prostredie) pre písanie a nahrávanie zdrojového kódu na dosku cez USB. Platforma používa zjednodušenú verziu C++ a je možné pripojenie rôznych komponentov ako spínače, svetlá, motory, mikrofón, GPS jednotku, kamery.^[35] Platforma má k dispozícii rôzne variácie dosiek, ktoré používajú rôzne mikroprocesory. Dosky sú vybavené sadami digitálnych a analógových a vstupných/výstupných pinov. Tie môžu byť rozšírené rôznymi rozširovacími doskami. [38]

Raspberry Pi je meno série jednodoskových počítačov vytvorených Raspberry Pi Foundation – charita spojeného kráľovstva za účelom vzdelávania ľudí o počítačovej vede a vytvoriť ľahší prístup k vzdelávaniu v tejto oblasti. Predstavenie malo v roku 2012 od ktorého bolo predstavených niekoľko variácií modelov. Pôvodné RP malo jedno jadro o frekvencii procesora 700 MHz a iba 256 MB RAM pamäte. Momentálne má najnovší model CPU frekvenciu 1,5 GHz o štyroch jadrách, 8 GB pamäťou RAM a cenou 102 €. [1][37] Na zariadení je možné prevádzkovať verzie operačných systémov s obmedzenými funkciami ako Linux, MS Windows 10 IoT Core. Podporuje virtualizáciu OS. [37]

Tab. 2-1 Porovnanie vhodných systémov riadenia [7]

	Raspberry Pi	Arduino
Typ	mini počítač	mikrokontrolér
Hardware	procesor, pamäte RAM a ROM, úložisko, multimediálny procesor, IO	procesor, pamäte RAM a ROM, IO
Software	Raspberry Pi OS, linux, Android	firmware k zadávaniu inštrukcií
Taktovacia fr.	taktovacia frekvencia 1,2 GHz	t. frekvencia 16 MHz
Vhodné použitie	vývoj SW použitím Python	ovládanie senzorov, svetiel či motorov
Vyradenie napájania	riziko poškodenia HW	po vyradení nezávadný reštart systému

2.4 Elektromotory

Najobľúbenejšie motory pre systémy riadenia pohybu sú krokové motory a jednosmerné servomotory s kefou alebo elektronicky komutované. Krokové motory sú systémy bez spätnej väzby. Rotor je riadený digitálnymi pulzami, ktoré otočia rotor do fixnej pozície. Krokový motor je lacnejšia a vhodná voľba pre široké spektrum aplikácií, ktoré nevyžadujú prudké zrýchlenie, vysokú rýchlosť a presné polohovanie ako je to u servomotorov. Voliteľná spätná väzba môže výrazne zlepšiť presnosť jeho polohovania bez vznikajúcej vyššej ceny celkového systému so spätnou väzbou. [30]

Servomotory (s kefou alebo elektronicky komutované) sú zvyčajne použité pre aplikácie, ktoré vyžadujú precíznejšie polohovanie, vysoké rýchlosti, ponúkajú plynulejší chod pri nižších rýchlostiach s lepším rozlíšením pozície ako krokové motory. Motory vyžadujú jeden alebo viac senzorov spätnej väzby a to pridáva na cenu a celkovej zložitosti systému.[30]

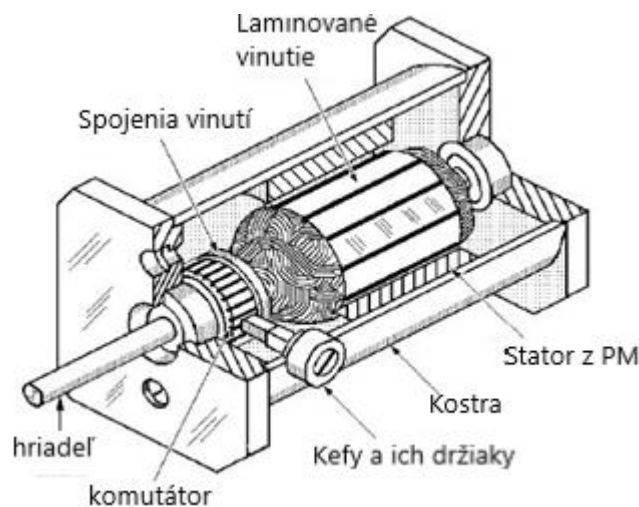
V elektromotore otáčavé magnetické pole statora pôsobí na rotor a vzájomným silovým pôsobením vytvára rotačný pohyb hriadeľa.[34] Mechanické aktuátory konvertujú rotačný pohyb na priamočiary. Využívajú sa lichobežníkové závitky upravené tak, aby sa matica skrutky so záťažou nepohybovala samovoľne, ale iba pri činnosti motora.[30] Jednou z metódou prevodu pohybu je trapézovými maticami. Ďalšou možnosťou je použitie guľovej skrutky. V skrutke sa nachádzajú presne tvarované guľičky, ktoré sa pri činnosti motora pohybujú v závitoch v rámci skrutky. Na konci sú zachytávané a vracajú sa späť na opačný koniec závitovej dráhy skrutky.

2.4.1 Jednosmerné

Pre magnety sa používa magneticky tvrdých materiálov, hlavne feritov a spekaných materiálov zo vzácnych zemín ako napr. samarium-kobalt. Aktívnymi časťami jednosmerného motora sú permanentné magnety s pólými nastavcami

z mäkkého železa pre koncentráciu magnetického toku do vzduchovej medzery, rotor (kotva) s vinutím, tvorené jednotlivými cievkami uloženými v drážkach a vyvedenými na komutátor, ktorý spolu s uhlíkovými kefami a ich držiakmi tvoria tzv. zberné ústrojenstvo. [30]

Jednosmerné motory majú nevýhody plynúce z použitia klzného kontaktu medzi komutátorom a zbernými kefami. Zberné ústrojenstvo vyžaduje údržbu ako je čistenie komutátora, výmena a zabrusovanie kief. Pri vyšších otáčkach sa medzi lamelami komutátora vyskytuje vyššie napätie a môže spôsobiť iskrenie a následne možný kruhový oblúk na komutátore. Nevýhodou motorov s permanentným magnetom je, že všetky straty (Jouleove vo vinutí, železe kotvy, komutátore) vznikajú v rotore a pri uzavretých konštrukciách servomotorov bez prístupu vzduchu je teplo odvedené vedením cez stator, kostru, hriadeľ. [5]

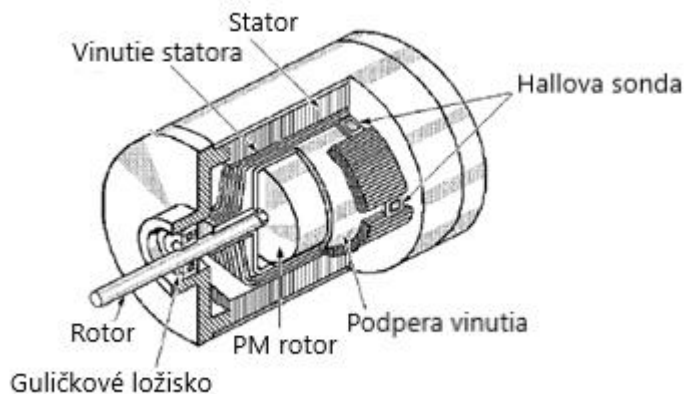


Obr. 2-9 Mechanicky komutovaný motor s PM [30]

Výmena poľa vinutia za permanentné magnety eliminuje potrebu rozdeliť pole budenia a straty spôsobené vinutím. PM kefových motorov môžu mať tiež armatúry v tvare plochých dosiek aby sa zredukovali vírivé prúdy. Sú ľahké, nízko zotrvačné a zabezpečia rýchlejšiu akceleráciu ako ťažšie konvenčné vinutie. [30]

Rotor mechanicky komutovaného DC motory je napájaný cez kefy a viac segmentový komutátor. Statory sú magnetické páry. Keď je motor napájaný, opačné polarizácie napájaných vinutí a magnety statora sa priťahujú a rotor sa otáča za účelom zarovnania sa so statorom. Ako rotor dosiahne zarovnanie, kefy prejdú cez komutátorové segmenty a napájajú ďalšie vinutie. Táto sekvencia pokračuje pokiaľ je prítomné napájanie, udržiavajúca rotor v súvislom pohybe. Komutátor je rozložený od pólov rotora a počet jeho segmentov je priamo proporcionálny počtu vinutí. Pri zmene polarizácie napájania motor zmení smer. [30]

Elektronicky komutované majú s predošlým typom majú permanentný magnet v statore vinutia. Mechanická kefa je nahradená elektronickými senzormi hallovou sondou v rámci vinutia statora pevne spojené s tranzistorom meniaci obeh.



Obr. 2-10 Elektronicky komutovaný motor s PM [30]

Aktuátory použité pre riadenie pohybu sú dostupné vo veľa rozličných formách, zahŕňajúce lineárne a rotačné verzie. Najpopulárnejšia konfigurácia je Thomsonova Saginaw na obr. 2-11. Skladá sa z jednosmerného alebo striedavého napájania montovaného paralelne k buď guľovej skrutke alebo lichobežníkovému závit. Sú napájané väčšinou 12, 24 alebo 36 V jednosmerného prúdu najčastejšie s permanentným magnetom. Vhodné sú na úlohy ako napríklad polohovanie anténnych reflektorov, otváranie a zatváranie bezpečnostných brán, pre manipuláciu s materiálmi, zdvíhanie alebo znižovanie polohy stolov nožnicového typu a pre pohyb ramien žeriavu určeného na manipulácie s ľahšími váhami. Sú vyrábané voliteľne so zabudovaným potenciometrom alebo hallovými sondami. [30]



Obr. 2-11 Lineárny aktuátor (k dispozícii rôzne dĺžky, sily zdvihu, rôzne prevody, spätná väzba, napájacie napätia) v sume od 70 € do 160 € [16]

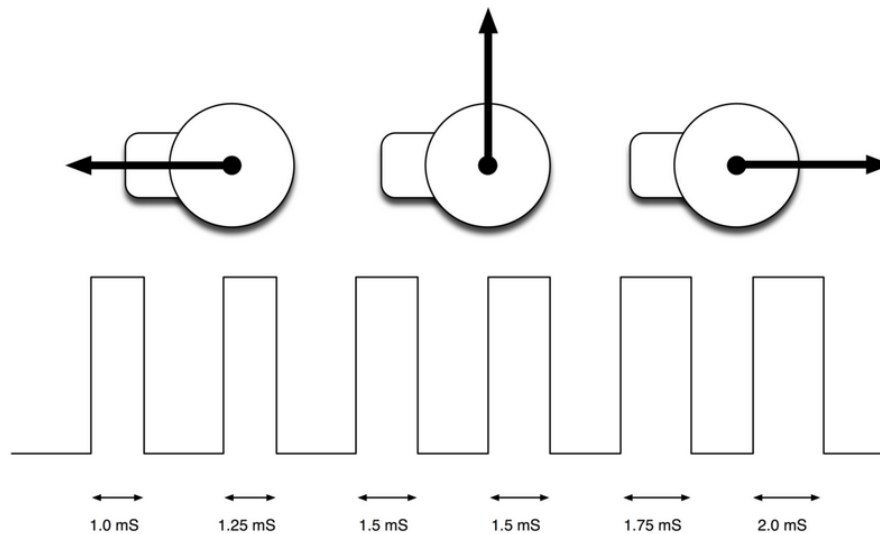
2.4.2 Servomotory

Je typ motora, ktorého pozíciu rotora – záťaže, je možné nastaviť s veľkou presnosťou. Ide o systém, ktorý je z princípu prevádzkovaný ako uzavretá slučka. Hriadeľ rotora je pevne spojený s potenciometrom, ktorý poskytuje spätnú väzbu a je možné presne určiť žiadanú pozíciu. Obsahuje zvyčajne aj prevodovku za účelom zníženia otáčok. [31]

Skladá sa zo záťaže, výstupného senzora a systému spätnej väzby. Referenčný vstupný signál je porovnaný s referenčným výstupným signálom na základe ktorých je generovaný tretí signál systémom spätnej väzby. Tento signál slúži ako vstup na ovládanie zariadenia – záťaže. Spomenutý signál na ovládanie záťaže je prítomný dokedy je prítomný signál spätnej väzby alebo je prítomný rozdiel medzi referenčným vstupným a referenčným výstupným signálom. [30]

V oblasti systémov riadenia pohybu sú najpoužívanejšie rotačné jednosmerné s permanentným magnetom (PM).[30]

Spomenutý systém je ovládaný pulzne šírkovou moduláciou. Servomotor kontroluje pulz každých 20 milisekúnd a uhol rotácie je kontrolovaný jeho trvaním.



Obr. 2-12 Princíp riadenia pulzne šírkovou moduláciou [31]



Obr. 2-13 Lineárne servomotory, začínajúca suma 115€ až 204 €, podľa výšky zdvihu [17]

2.4.3 Krokové

Je bez kefový jednosmerný typ pohonu, ktoré rozdeľuje celú rotáciu na určitý počet rovnakých krokov. Každý krok rotácie je odpoveď rotora na vstupný signál. Pozícia motora môže byť determinovaná a držaná na jednom zo spomenutých krokov bez spätnej väzby, pokiaľ je korektne dimenzovaný s ohľadom na krútiaci moment a rýchlosť. Sú vhodnou cenovou alternatívou k servomotorom v systémoch pohybu pri aplikáciách vyžadujúce vysoké rýchlosti. [30]

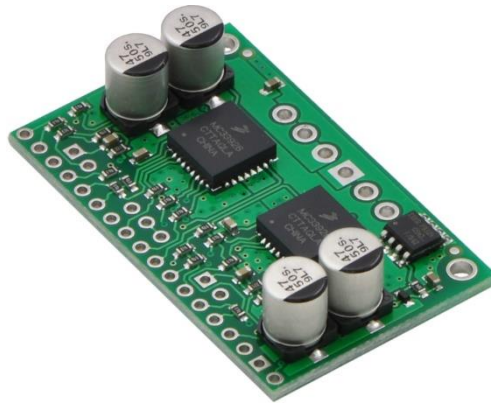
Sú obecné použité v menej náročných systémoch riadenia pohybu, kde polohovanie záťaže nie je kritické pre danú aplikáciu. Zvýšenie presnosti polohovania môže byť dosiahnuté uzavretím motora do regulačného obvodu. [5]

Krokové lineárne aktuátory sú k dispozícii aj s axiálnym závitovým hriadeľom a skrutkovou maticou, ktorá konvertuje rotačný pohyb na posuvný. Sú vhodné na polohovanie ľahkých záťaží. Citlivosť kroku je determinovaná geometriou závitov skrutkovej matice a uhlom kroku motora. Výhoda lineárneho motora je, že je pripojený priamo na pohybujúcu časť záťaže a pohybuje ňou priamo ako odpoveď motora. [30]

2.5 Ovládanie motorov

Motory je nutné zapínať a vypínať vo vymedzenom čase, ideálne s predtým determinovanou rýchlosťou. Na systémy riadenia pohybu, ktoré nevyžadujú polohovanie s veľkými záťažami, sa predpokladá konfigurácia jednosmerného napájacieho napätia 12 alebo 24 V.

Možnosťou je použiť ovládač motora, komponent určený priamo zmenu smeru alebo rýchlosti pripojeného motora. Konkrétne ovládač dvoch motorov MC33926 má dva výstupné kanály na ovládanie motorov s prevádzkovým napätím 5 – 28 V a do 3A pre každý kanál, do 5 A nárazovo na pár sekúnd.[25] Má rozhranie pre mikrokontroléry 2 - 5 V a podporuje pulze šírkovú moduláciu do 20 kHz.



Obr. 2-14 Ovládač motora MC33926 [25]

Ovládať motor bez možnosti regulovať rýchlosť je možné s kombináciou dvoch relé. Prepojením ich obvodov je možné s relé prepínať polaritu napájania či ho vypnúť.[8] K ovládaniu dvoch motorov by boli teda potrebné štyri relé.

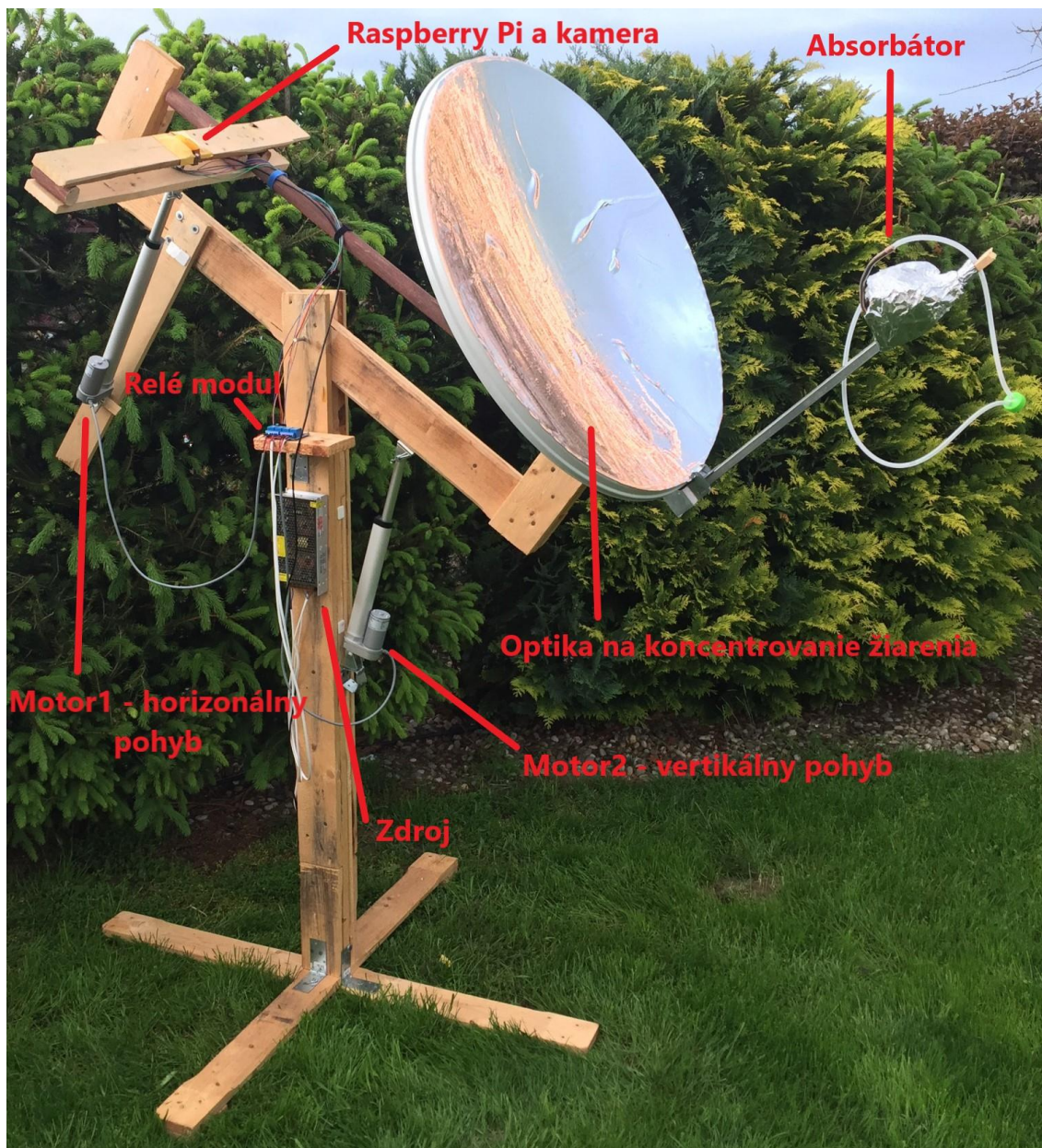
Na trhu sú dostupné moduly o viacerých relé s optočlenmi vrátane rozhrania pre mikrokontrolér. [27]



Obr. 2-15 Modul HW-316 so štyrmi relé a optočlenmi vrátane rozhrania pre mikrokontrolér za 3,74€ [27]

3. SOLÁRNY KONCENTRÁTOROVÝ SYSTÉM S AUTOMATICKÝM POLOHOVANÍM

Ako optika bola použitá vyradená Satelitná parabola používaná na prijímanie televízneho signálu, na ktorú bola nanosená zrkadlová fólia. Absorbátor je zrealizovaný zo zhluku dutej medenej rúry priemeru 0,6 cm. Sú využité dva lineárne pohony dĺžky zdvihu 200 a 300 mm. Ako riadiaci systém je využitý jednodoskový počítač Raspberry Pi Zero s kamerou 5 Mpx, zorným poľom 160° a clonou proti intenzívnemu žiareniu. Jednodoskový počítač realizuje príkazy a prostredníctvom modulu so štyrmi relé sú spínané motory k polohovaniu celého systému.



Obr. 3-1 Solárny koncentrátorový systém s automatickým polohovaním

Konštrukcia bola spravená z použitých drevených paliet určených na prepravu materiálu, ktoré boli k dispozícii. Dosky majú rozmery 120 x 7 x 2 cm. V nasledujúcich častiach práce je popis riadenia a činnosti jednotlivých komponentov.

3.1 Motory a zdroj napájania

V prechádzajúcej kapitole boli uvedené rôzne druhy motorov podľa princípu činnosti, typu pohybu, prítomnosti potenciometra. Po zrealizovaní návrhu konštrukcie bol vyhodnotený ako vhodný s posuvným typom pohybu. Manipulovaná záťaž je priamo spojená s motorom a nie sú potrebné ďalšie mechanické komponenty. V systémoch riadenia pohybu a pri aplikácii ako polohovanie sú najvhodnejšie a najpresnejšie servomotory, pretože z princípu pracujú v uzavretej slučke. Lineárne servomotory sú menej dostupné v porovnaní s lineárnymi jednosmernými a sú drahšie.

Z kategórie pohonov s posuvným pohybom je na trhu najväčší sortiment jednosmerných motorov, tzv. lineárnych aktuátorov s rozsahom zdvihov 50 mm – 300 mm a možnosťou potenciometra alebo hallovej sondy. Vybavené bývajú aj koncovými spínačmi pre rozpojenie obvodu pri dosiahnutí maximálnej polohy a rôznymi pomermi prevodov. Pre danú aplikáciu sú preto zvolené jednosmerné motory bez spätnej väzby.

Po realizácii konštrukcie z dreva, boli zmerané potrebné dĺžky vo vertikálnej a horizontálnej rovine na dosiahnutie polohy zdanlivého pohybu slnka po oblohe v akomkoľvek čase počas dňa. Konštrukcia je navrhnutá na prevádzku pri smerovaní na juh.

V prípade vertikálneho pohybu bol zvolený motor so zdvihom 200 mm, pretože výška polohy slnka sa nemení tak výrazným spôsobom ako u horizontálneho pohybu, pri ktorom sa mení azimut. Variabilná dĺžka motora pre horizontálny pohyb bola určená 300 mm. Ďalej treba určiť potrebnú silu motorov. Výpočet sily je možné napísať pre 1 kg a gravitačnom zrýchlení podľa vzťahu:

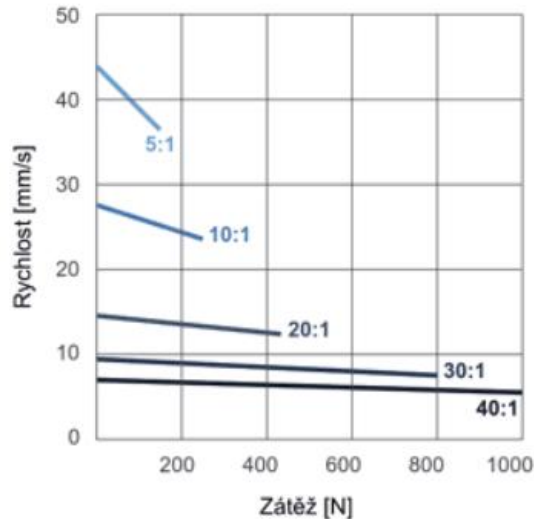
$$F = ma \tag{3.1}$$

$$9.80665 \text{ N} = 1 \text{ kg} * 9.80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

F	N	sila
m	kg	hmotnosť
a	$\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	zrýchlenie (gravitačné 9.80665)

Konstruktúra systému nevyžaduje pri polohovaní manipuláciu s väčšou hmotnosťou ako 20 kg pri zanedbanej sile vetra. Pri motore zabezpečujúcom horizontálny pohyb je maximálne možné zaťaženie ešte nižšie, pretože otáča iba optikou koncentrátora. Vyžadovaná sila je

$$20 \text{ kg} * 9.80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 196.133 \text{ N}$$



Obr. 3-2 Závislosť rýchlosti na sile pre vybraný typ lineárnych aktuátorov pre rôzne prevodové pomery [16]

Uvedená závislosť pre lineárne aktuátory s rôznym prevodovým pomerom. K polohovaniu sú vhodné pomalšie motory z dôvodu menšej zmeny hodnoty spätnej väzby. Skoro konštantná rýchlosť pri akejkoľvek záťaži je tiež vhodná. Zvolené boli motory s prevodovým pomerom 40:1. Z určenej maximálnej sily zdvihu je možné konštatovať, že možnosti motora skoro päť krát preyšujú požiadavky záťaže a silu vetra je možné ponechať zanedbanú. V aktuálnej kategórii bol k dispozícii iba s napájacím napätím 24 V a preto je potrebné obstarat' vhodný zdroj.

Tab. 3-1 Parametre motorov [16]

Zdvih	[mm]	200 a 300
Napájacie napätie	[V]	24
Menovitý prúd	[A]	1,4
Maximálna sila	[N]	1000
Statické zaťaženie	[N]	2500
Prevodový pomer	[-]	40:1
Rýchlosť pri max. zaťažení	[mm/s]	5,5
Krytie	[-]	IP65



Obr. 3-3 Vľavo motor zabezpečujúci vertikálny pohyb, motor vpravo horizontálny

Zdroj musí byť jednosmerného napätia 24 V a príkonom približne 90 W pri zahrnutí rezervy 25%. Najbližší vyšší výkon je s hodnotou 120W, konkrétne spínaný modulový priemyselný zdroj WXD-120W[9], ktorého parametre sú uvedené v tabuľke. Dva režimy vstupného striedavého napätia 220 V alebo 110 V sú volené prepínačom. Dva výstupy sú nastaviteľné v rozsahu napätia 21-29 V trimerom.

Tab. 3-2 Parametre zdroja [9]

Vstupné napätie (AC)	[V]	230 alebo 110
Výstupné napätie (DC)	[V]	21-29
Max. výstupný prúd	[A]	5
Výkon	[W]	120
Pracovná teplota	[°C]	-20 až 70 °C
Krytie	[-]	IP20
Ochrany proti	[-]	prehriatiu, prepätia, preťaženiu

Výstupné napätie sa reguluje trimerom a reálne minimálne napätie je 17 V.



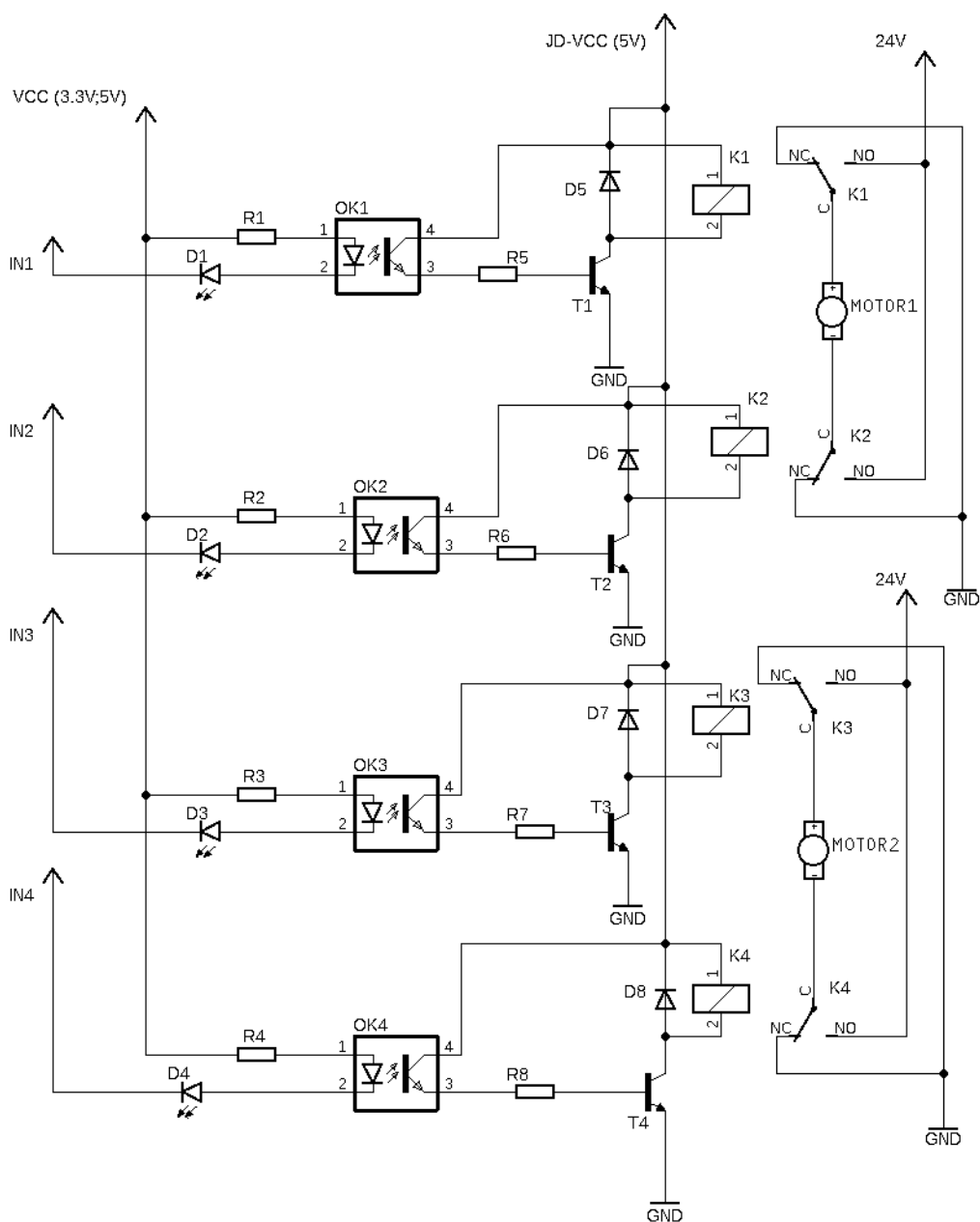
Obrázok 3-4 Zdroj jednosmerného napätia 24 V

3.2 Ovládanie motorov relé modulom

Každá možnosť riadenia má rôznu konfiguráciu zapojenia, zložitosť a tým vhodnosť pre určité aplikácie. Na trhu sú cenovo dostupné moduly s rôznymi počtami relé a optočlenmi so štandardným 5V (a 15-20 mA) rozhraním pre ovládanie.

K spínaniu motora medzi oboma smermi sú nutné dve relé. Konkrétne modul HW-316 je vybavený štyrmi relé vrátane optočlenov. Modul má možnosť zapojenia tzv. optickej izolácie, kedy nie je priame spojenie medzi obvodom mikrokontroléra a obvodu s ovládaným relé (na schéme spojenie JDVCC a VCC). Maximálne prevádzkové parametre sú DC 30V,10A/AC 250V,10A.

Na Obr. 3-4 je schéma modulu HW-316 určeného na spínanie dvoch motorov. Dve relé majú spojené obvody so zdrojom tak, že ich spínaním je možné napájacie napätie vypnúť, priviesť alebo obrátiť.



Obr. 3-4 Schéma riadenia motorov prostredníctvom relé modulu

Vstupné svorky modulu IN1 – IN4 slúžia pre riadiacu jednotku ako výstup na zadávanie príkazov. Relé je aktívne, keď je na danú svorku privedených 0 V aktivovaním optočlena OK1. Prúd emitora fotoranzistora pôsobí na bázu tranzistora T1 a uzemní danú oblasť obvodu.

Modul s relé má primárne napájania VCC a JD-VCC spojené jumperom. K spínaniu optočlenov a samotných relé K1-K4 je tak použité rovnaké napätie. Pri spojených obvodoch a nižšom VCC napätí nemusí byť výkon dostatočný na zopnutie relé. Obvod sa realizuje v konfigurácii s ďalším napájacím napätím 5V určeným na zopnutie relé. Riadiaci obvod je potom galvanicky oddelený od obvodu s cievkou.

Napájanie s označením VCC môže mať hodnoty 3.3 V alebo 5 V. Raspberry Pi Zero s parametrami GPIO 3.3V a 16 mA je schopné aktivovať optočleny natoľko, aby otvorili nasledujúci tranzistor za účelom uzemnenia a zopnutia daného relé. K samotnému zopnutiu je nutných ďalších 5 V.



Obr. 3-5 Zapojený relé modul

3.3 Spôsoby riadenia systému

Po nasadení motorov na konštrukciu a overenia funkčnosti ovládania cez modul relé je nutný senzor na priebežné vyhodnocovanie polohy slnka. Niektoré senzory snímania polohy slnka slúžia z princípu zároveň aj ako senzory aktuálneho natočenia systému. Jedná sa o všetky optické senzory alebo IMU v kombinácii so spočítanými údajmi azimutu a zenitu pre konkrétny čas a dátum.

3.3.1 Kombinácia IMU a spočítaných hodnôt o polohe slnka

Hodnoty o polohe slnka na oblohe z perspektívy pozorovateľa sú uložené pre každý deň v určitom roku a mesiaci v textových súboroch. Textový súbor pre daný deň obsahuje štyri hodnoty: hodina, minúta, azimut a zenit. Tieto hodnoty sú aktualizované každých desať minút.

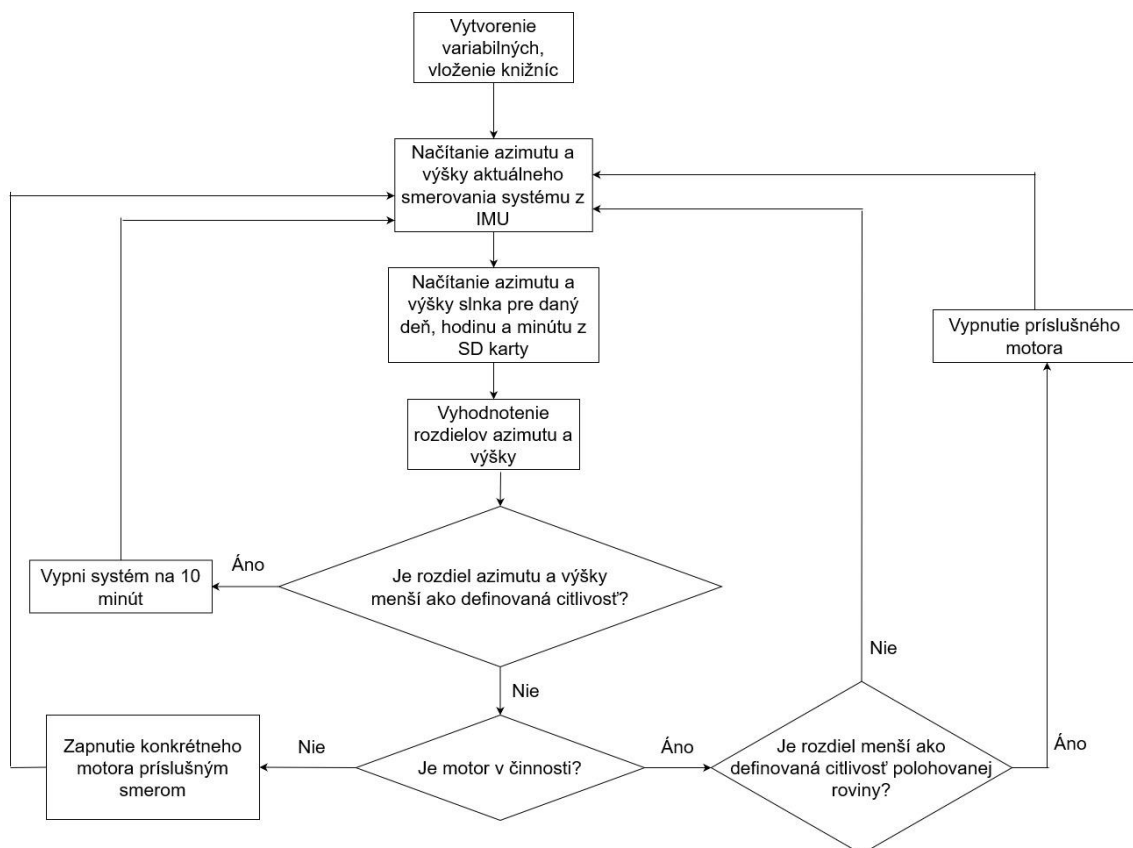
Uložené údaje o polohe slnka boli získané v programe Matlab pre zemepisnú šírku 49.246 256° a dĺžku 16.562 261°.[18] V tomto prípade slúžia na testovanie, či je možné zrealizovať korektné natáčanie prostredníctvom senzora IMU.

Aby bol systém schopný načítať údaje o polohe slnka pre konkrétny čas a dátum, je nutné aby poznal aktuálny čas a dátum. Pre tieto potreby bol pridaný modul reálneho času bežiaci na hodinovom čipe DS1302. Komponent je napájaný z 3 V gombíkovej batérie typu CR2032. Pred uvedením do prevádzky je nutné inicializovať aktuálny čas a dátum.

Ako inerciálna meracia jednotka je využitý BNO055. Senzor je schopný dáta zo senzorov spojiť a vytvoriť stabilný abstraktný trojosí výstup orientácie systému.

Pre vhodné nasmerovanie systému je nutné poznať aktuálnu hodnotu azimutu smerovania systému a jeho náklon. Súčasná konštrukcia nedovoľuje vodorovné umiestnenie senzora. Pri náklonoch neostáva správne smerovanie magnetometra a senzor poskytuje zlé výsledky.

Na kompenzáciu azimutu daných výkyvov bol použitý algoritmus Paula McWhortera.[24]



Obr. 3-6 Vývojový diagram algoritmu polohovania

3.3.2 Riadenie kamerou

Výhoda snímania slnka kamerou je, že k vyhodnocovaniu aktuálneho a správneho natočenia používa pixely a nie sú vyžadované väčšie nároky na motory schopné presnej

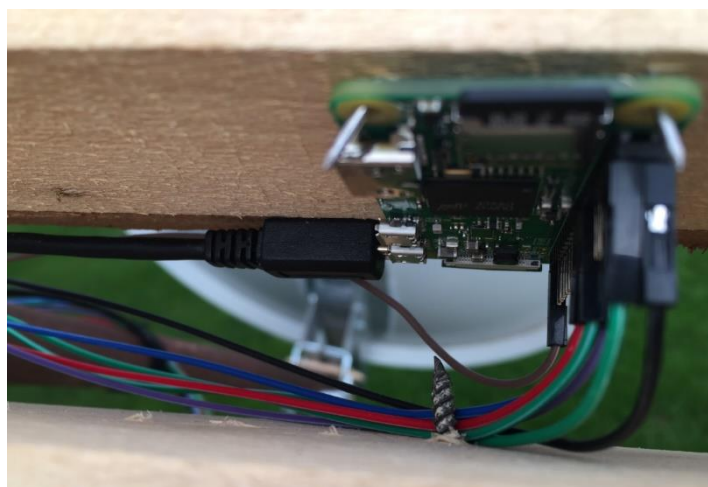
polohy ako je to napríklad u krokových alebo servosystémoch pri zabudovanom potenciometri v motore alebo mimo neho.

Zariadenie pre snímanie by malo mať väčšie zorné pole za účelom snímania čo najväčšej plochy na oblohe a tým nájsť najjasnejšieho objektu. Rozlíšenie nie je až také dôležité, pretože bude aj tak zredukované za účelom odľahčenia záťaže procesora. Program musí okrem vykresľovania a spracovania samotného obrazu určovať aj najjasnejší objekt na oblohe, spočítať jeho stred a uskutočniť ďalšie príkazy potrebné k správne natočeniu. Malo by byť vybavené tiež filtrom UV a pre zníženie intenzity slnečného žiarenia z dôvodu rizika poškodenia a lepšej spracovateľnosti obrazu. Umiestnené by malo byť v smere natočenia systému a stredový pixel dvoch dimenzií obrazu predstavuje aktuálne smerovanie. Na základe spomenutých požiadaviek je vhodná kamera s pevným zaostrením Arducam o natívnom rozlíšení 5Mpx s uhlom záberu 160° určená pre Raspberry Pi Zero.

Disponuje IR filtrom a objektívom s pevným zaostrením a je schopná zachytiť video 1080p30, 720p60 a 640x480p60/90. Pripojenie je prostredníctvom CSI zbernice schopnej vysokých obrazových rýchlostí. [2]



Obr. 3-7 Raspberry Pi Zero a 5Mpx kamera s 160° uhlom záberu [2]



Obr. 3-8 Počítač na konštrukcii, kamera je na druhej strane dosky

Z dôvodu kompatibility a dostupného výkonu na spracovanie obrazu je pre túto aplikáciu vhodné Raspberry Pi Zero. Na rozdiel od predošlej použitej riadiacej jednotky (Arduino – I/O až 40 mA a 5V) môže na vstupno-výstupných svorkách všeobecného účelu (z angl. GPIO – general purpose i/o) poskytnúť iba 3.3 V a maximálne 16 mA na svorku, čo by mohlo mať za následok nedostatočný výkon na zopnutie relé. V takom prípade by bolo nutné použitie tranzistorov s vhodnými hodnotami odporov.

Pre výkonovo obmedzený typ mikropočítača je podľa dokumentácie vhodný iba operačný systém Raspbian. Systém je odvodený z Debianu a je odporúčaný na vývoj. Pri výbere je ďalej na výber z verzií ľahká, základná alebo plná. Hlavný rozdiel medzi nimi je v nainštalovanom software. Po inicializácii základnej verzie Raspbianu boli nainštalované potrebné nástroje ako vhodné vývojové prostredie, VNCviewer pre vzdialené pripojenie, Python3.

K spracovaniu obrazu v reálnom čase je najznámejšia knižnica OpenCV.

Je napísaná v C++ a primárne prostredie je tiež v C++, ale použiteľný je aj Python, Java, Matlab. Z operačných systémov podporuje Windows, Mac OS [21].

Po inicializovaní kamery a knižnice OpenCV je aplikovaná clona pred intenzívnym slnečným žiarením. Použité sú dve sklíčka na sebe zo slnečných okuliarov. Vhodnejšie by bolo zväračské sklo.

Na začiatku kódu sú vložené knižnice OpenCV (ako identifikátor *cv2*), Numpy (*np*) a time. Knižnica Numpy slúži na efektívne spracovanie s viacrozmernými poľami. Pre obnovovanie obrazu je uskutočňovaný cyklus *while*, kde je na začiatku čítaný dátový tok a uložený v premennej *img*. Efektívne pracovanie s poľami je nevyhnutné z dôvodu rizika veľkej obnovovacej frekvencie obrazu. Pri neefektívnom prechádzaní pixelov napríklad cyklami *for* sa značne znižuje plynulosť obrazu.

Prvá je generovaná inštancia triedou VideoIO pre zachytenie video súborov, obrázkov, kamery. Následne je definované značne nižšie rozlíšenie (320 x 240 px) ako sú možnosti kamery aj počítača za účelom odľahčenia záťaže procesora. Definované sú aj ďalšie pomocné premenné typu boolean a stredové pixely obrazovky *x* a *y*, citlivosť nasmerovania.

$$Y = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B \quad (3.3)$$

Čítaný RGB obraz je prevedený do monochromatickej stupnice šedej farby podľa vzorca 3.3 pri ktorej každý pixel nesie hodnotu množstva svetla. Rozsah kontrastu je od čiernej farby pri nízkom osvetlení po bielu pri vysokom. Ďalšie spracovanie je prostredníctvom gausianskej funkcie, ktorá by mala z obrazu odstrániť nežiaduce detaily a vyhladiť zachytené objekty aby nemali ostré hrany. Obrázok v monochromatickej stupnici šedi môže obsahovať náhodný výskyt jasu, nežiaduce detaily. K tomu je vhodný Gausianský filter podľa rovnice

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (3.4)$$

x	px	súradnica na ose x
y	px	súradnice na ose y
σ	-	úroveň skreslenia

Po uvedený obrazu do podoby vhodnej k spracovaniu je na obraze nájdená hodnota najviac a najmenej jasného pixelu vrátane ich lokácie v dvojdimenzionálnej rovine. Táto hodnota je uložená v premennej aby bola ďalej použitá ako prahová hodnota funkcie prahovania.

Prevedenie do binárneho obrazu je rýchla a výpočtovo nenáročná metóda spracovania obrazu aplikovaná na hodnoty jasu v obrázku. Okrem určenia minimálne prahovej hodnoty treba zadefinovať aj maximálnu. Na základe týchto hodnôt je transformovaný vstupný obraz na tzv. binárny. Ak je prekročená minimálna hodnota jasu, priradí sa 1, ak nie tak 0. Svojou výpočtovou nenáročnosťou je vhodná pre aplikácie v reálnom čase. Ako minimálna prahová hodnota v kóde je definovaná hodnota 0.9 násobok hodnoty najjasnejšieho pixelu. Ak by bola hodnota celá, výstupom by bola veľmi malá oblasť



Obr. 3-9 Výstupný binárny obraz s nájdeným slnkom

pixelov. Výstupom funkcie pri sledovaní slnka na oblohe je väčšinou samotné slnko alebo zhluk mrakov za ktorými je slnko. Všetky ostatné pixely na obraze majú hodnotu 0, zatiaľ čo žiadané pixely slnka prípadne jasného objektu majú hodnotu rôznu od nuly. Prítomné nenulové pixely sú spočítané rýchlou funkciou countNonZero (knížnica Numpy).

Ťažisko alebo geometrický stred je aritmetická stredná poloha všetkých bodov. V tomto prípade je daná jednotková plocha A akéhokoľvek tvaru rozdelená na dve oblasti x a y , čo tvorí konečný počet pixelov. Geometrický stred plochy je daný nasledovne:

$$x_c = \frac{S_y}{A} \quad (3.5)$$

$$y_c = \frac{S_x}{A} \quad (3.6)$$

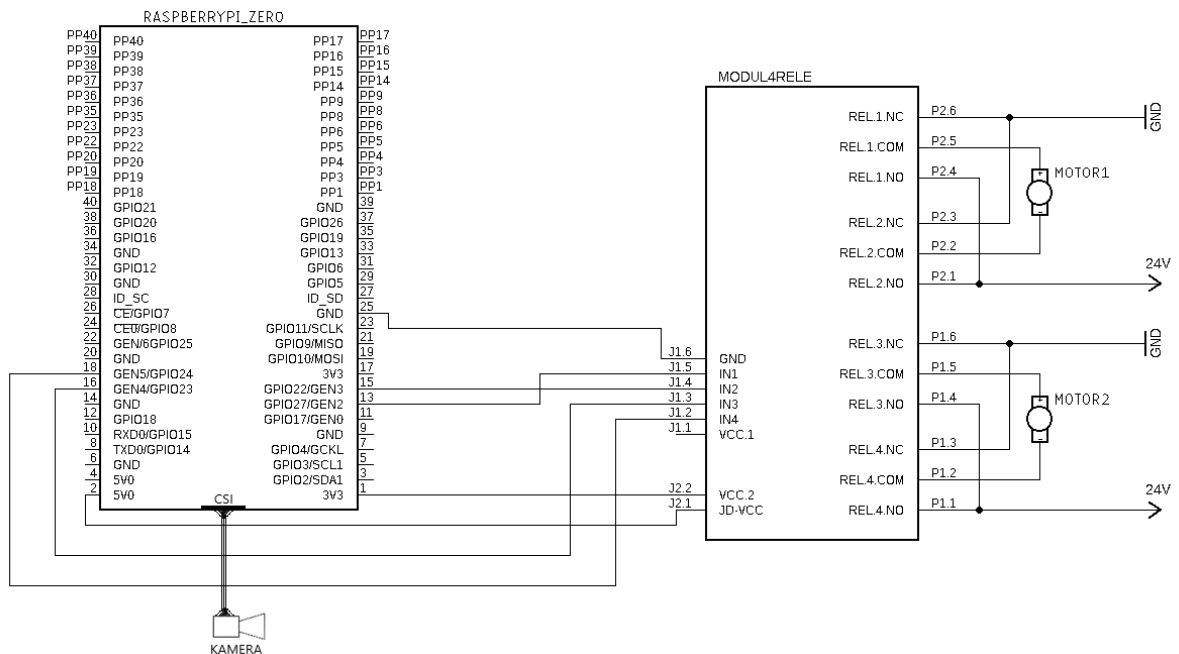
A	px	súčet všetkých bielych pixelov
S_x	px	súčet súradníc na ose x
S_y	px	súčet súradníc na ose y

Na obraz je potom vykresľovaný pri každom cykle stred bielej jednotkovej plochy vrátane zaznačenia stredu obrazovky spočítaného raz na začiatku. Je potrebné zaistenie dopadanie žiarenia iba cez filter. V prípade výskytu jasu na kraji obrazovky algoritmus nepočíta správne stred najjasnejšieho objektu a vykreslí priemerný stred medzi zaznamenanými jasmi.

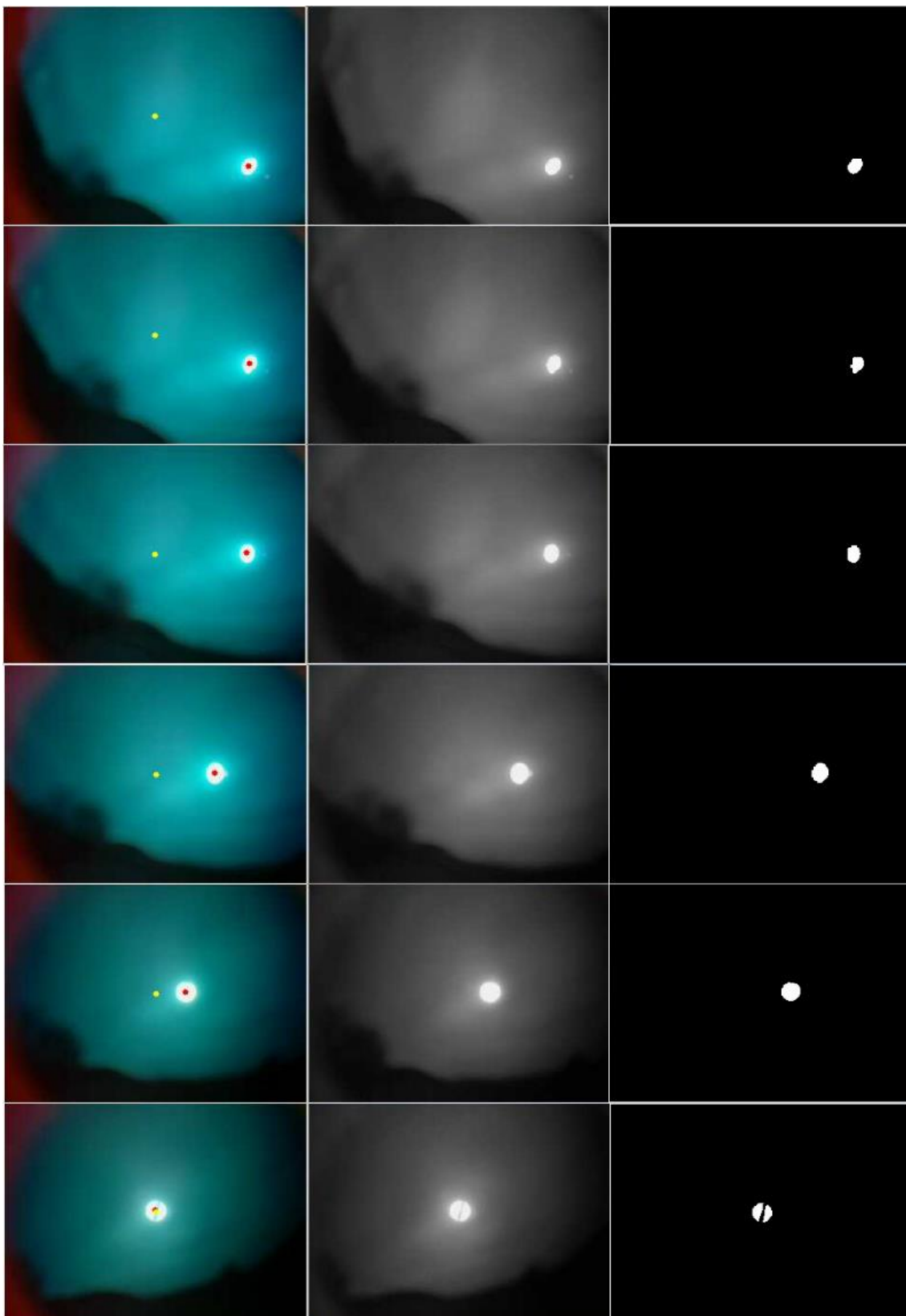


Obr. 3-10 Spracovávaný obraz; vľavo je prítomná iba clona proti intenzívnemu žiareniu s vyznačeným stredom obrazovky a jasného objektu; v strede je obraz po aplikovaní Gausianskeho filteru; vpravo je binárny obraz a z bielej časti je počítaný priemerný stred

Po získaní súradníc o strede najjasnejšieho objektu na obrazovke je spočítaný rozdiel so stredom obrazovky zvlášť pre osu x a y . Podľa dvoch rozdielov je vyhodnocovaný správny pohyb vedúci k znižovaniu ich hodnoty dokedy, nie je synchronizovaný stred obrazovky so stredom jasného objektu danej ose. Systém vyhodnotí dosiahnutie požadovaného cieľa keď je absolútna hodnota rozdielu na ose x a y menšia ako zadaná hodnota citlivosti v pixeloch a zastaví program na určitú dobu.



Obr. 3-11 Schéma zapojenia riadenia s kamerou



Obr. 3-12 Demonštrácia polohovania nasmerovaním systému na slnko pri oblačnosti;
 Najskôr polohuje motor zabezpečujúci vertikálny pohyb, potom horizontálny

3.4 Overenie funkčnosti a meranie

Po nasadení optiky a motorov koncentrátora na konštrukciu vrátane zapojenia bolo najskôr testované riadenie cez IMU. Motory mali napriek danému prevodu veľkú rýchlosť a tým vysokú hodnotu zmeny meranej hodnoty (azimut, náklon, pixely) tak bolo znížené prevádzkové napätie na priemyselnom zdroji na 17 V pri otestovaní schopnosti polohovať.

Na senzore IMU je pri inicializácii nutné uskutočniť kalibráciu. Gyroskop sa kalibruje umiestnením na vodorovnú plochu bez pohybu po dobu asi jednej minúty, magnetometer je nutné rýchlejšie presúvať z miesta na miesto a akcelerometer musí byť naklonený na všetky strany v 45° uhle. Aj napriek kalibrácii má komponent rýchlo meniaci, nie vždy presný výstup. Počas prevádzky vykazuje na určitý čas odchýlku merania aj 10° hodnoty azimutu, výstupné hodnoty stupňov náklonu sú presnejšie. Z dôvodu rýchlych zmien hodnôt senzora a občasnej odchýlke systém nebol schopný nájsť uvedenú polohu z SD karty a stále menil smery činnosti horizontálneho motora aj pri zvýšení citlivosti na hodnotu 10 stupňov. Vertikálny motor bol schopný nájsť žiadanú pozíciu s citlivosťou na 5 stupňov. Nedosiahnuté polohovanie danou metódou môže byť spôsobené aj typom použitých motorov – jednosmerné bez spätnej väzby.

Pri bodových koncentrátorových systémoch je nutná vysoká presnosť polohovania a k dosiahnutiu cieľa je použitá kamera. Do objektívu nemôže prenikáť svetlo iným smerom, ako cez filter. Aj preto na zaoblený objektív lepšie sadli podobne ohnuté sklá zo slnečných okuliarov.

V prípade dosiahnutia žiadanej pozície bolo nastavené vypnutie motorov na pätnásť minút. Po zadefinovaní hodnoty najjasnejšieho pixelu boli označené všetky pixely s tzv. prahovou hodnotou jasnosti 90 % hodnoty najjasnejšieho pixelu. S klesajúcou prahovou hodnotou je zachytených viac pixelov aj s menšou hodnotou jasnosti a zväčšuje sa odfiltrovaná biela oblasť binárneho obrázka, z ktorej je počítaný stred.

Gaussovské rozostrenie potrebuje zadanie hodnoty odchýlky od 1-9. Vyššia hodnota odchýlky spôsobí vyššiu mieru rozmazania obrazu a pixely s vyšším jasom majú po výstupe menšiu mieru skreslenia, ako tie s menším.

Spracovanie obrazu a správanie systému je možné ovplyvniť:

- Výškou prahovej hodnoty binárneho obrázka (v tomto prípade vyššia ako 90% najjasnejšieho pixelu)
- Odchýlkou gaussovského rozostrenia
- Hodnotou citlivosti
- Doby vypnutia systému po dosiahnutí žiadaného natočenia

Tab. 3-3 Podmienky počas merania

Podmienky počas merania		
Teplota okolia	[°C]	24
Relatívna vlhkosť	[%]	58
Rýchlosť vetra	[m/s]	6
Atmosférický tlak	[kPa]	101,5

Tab. 3-4 Nastavené hodnoty systému

Nastavenie systému		
Výška prahovej hodnoty	[px]	80 % max. h. pixela
Odchýlka gaussovského rozostrenia	[px]	5
Citlivosť	[px]	5
Doba vypnutia systému	[min]	15

Po spustení program začína systém hneď polohovať. Najskôr je v činnosti motor zabezpečujúci vertikálny pohyb dokedy nedokončí polohovanie znížením hodnoty rozdielu medzi súradnicou stredu jasného objektu y_{obj} a súradnicou stredu obrazovky y_{stred} . Po dokončení pohybu je podobným spôsobom v činnosti horizontálny motor pre os x .

Systém je schopný nájsť slnko bez problémov aj pri oblačnosti, pokiaľ je v zornom poli kamery. Aj pri zväčšenej oblačnosti je najjasnejší objekt zhluk mrakov pred slnkom, ktorého stred je zameraný. Sústredené slnečné žiarenie smeruje do absorbéru iba čiastočne a systém sa vypne na neprimerane dlhú dobu v porovnaní s pohybom slnka. Z toho dôvodu sú zmenené parametre.

Tab. 3-5 Druhé nastavenie systému

Nastavenie systému		
Výška prahovej hodnoty	[px]	90 % max. h. pixela
Odchýlka gaussovského rozostrenia	[px]	1
Citlivosť	[px]	1
Doba vypnutia systému	[min]	1

Zvýšenie prahovej hodnoty má za následok spracovanie menšieho nenulového objektu v binárnej podobe. Iba malá časť pixelov na obrazovke vyhovuje danému jasu. Zmena rozostrenia nemá pri súčasnom filtri na objektíve veľký vplyv na spracovanie obrazu, vyhodnotený najjasnejší objekt je aj tak iba jeden bez nežiadúceho náhodného jasu. Citlivosť bola znížená na najnižšiu možnú hodnotu 1 pixel.

Systém sa po konfiguračných zmenách otáča za slnkom s veľkou presnosťou. Motory sa spínajú vo väčšej frekvencii na krátku dobu v priemere každú druhú minútu. Po

dosiahnutí presného automatického polohovania solárneho koncentrátorového systému je možné pristúpiť k meraniu.



Obr. 3-13 Konfigurácia merania vyparovania vody

Tab. 3-6 Hodnoty časov a vody merania

Čas vrenia [s]	Počiatkové množstvo [ml]	Konečný zostatok [ml]	Vyparená voda [ml]	Vypočítaný výkon [W]
4500	100	44.9	55.09	27,63
5094	100	45.3	54.7	24,24
3000	100	79.9	20.1	15,12
2600	100	84.7	15.3	13,28
2200	100	92.2	7.8	8,00

K meraniu nebolo k dispozícii čerpadlo, tak musela byť nádrž s vodou umiestnená nad systémom tak, aby nezacláňala.

Príklad výpočtu:

Latentné teplo vyparovania vody: $\Delta H_{vyp;voda} = 2257 \text{ kJ/kg}$

Potrebná energia na vyparenie

$$E = \Delta H_{vyp;voda} * m_{voda} = \frac{2257kJ * 0.05509kg}{kg} = 124\,338\,J$$

$$Výkon = \frac{Energia}{Čas} = \frac{124\,338}{4500} = 27,63\,Watt$$

$$Výsledný\,výkon = 27,63 - (0.20 * 27,63) = 22,104\,W$$

Meranie je ovplyvnené stratami tepla v prírodovej hadici a v nádrži. Časť žiarenia sa tiež odrazí od absorbátora a bolo by vhodné natretie čiernou vysokoteplotnou farbou. Na optiku koncentrátora sa nepodarilo naniest' zrkadlovú fóliu bez nerovností a vznikli vzduchové bubliny, ktoré sa nepodielajú na koncentrácii žiarenia.

V priebehu merania klesla teplota asi o 2° a zvýšila sa oblačnosť. Meranie je závislé od slnka, aj pri menšej oblačnosti sú ovplyvnené výsledky. Meranie na prvej vzorke so zostatkom 55,09 ml bolo realizované pri žiadnej oblačnosti a tento výsledok je braný ako relevantný. Na základe spomenutých únikov je počítané so stratami 20 % a výsledný výkon je 22,104 W.

3.5 Finančné vyhodnotenie

Testované boli dve konfigurácie systémov. Pri prvej metóde riadenia s IMU bol využitý mikrokontrolér z predchádzajúceho systému riadenia motorov. Motory boli poskytnuté zadarmo na účely testovania. Celková suma riadenia s IMU je bez motorov a Arduina je 68 €. Sú uvedené dve tabuľky pre testované konfigurácie. V každej tabuľke je celková suma na zrealizovanie daného systému.

Tab. 3-7 Suma komponentov riadenia s IMU

Riadenie s IMU	
Zdroj 24 V	15 €
Káble	3 €
SD karta	6 €
Čítačka SD karty	1,20 €
Relé modul	3,74 €
Modul reálneho času	3,03 €
Motor 200 mm	90 €
Motor 300 mm	90 €
USB na SD kartu	5,70 €
IMU senzor	30 €
Arduino Mega	43 €
Celkom	291 €

Realizácia prostredníctvom kamery je jednoduchšia, lacnejšia a boli dosiahnuté vhodné výsledky na polohovanie koncentrátorových systémov. Suma systému riadenia pohybu kamerou je 237 €.

Tab. 3-8 Suma komponentov riadenia s Raspberry Pi

Riadenie s Raspberry Pi	
Zdroj 24 V	15 €
Káble	3 €
Motor 200 mm	90 €
Motor 300 mm	90 €
Kamera 160°	25 €
Relé modul	3,74 €
Raspberry Pi Zero	10 €
Celkom	237 €

4. ZÁVER

Práca sa zaoberá uskutočnením automatického polohovania pre solárny koncentrátorový systém. Nadväzuje na rozpracované téma v oblasti využitia solárnej energie koncentrátorovými systémami, pri ktorom bol zrealizovaný riadiaci systém. Ten ponúka dva automatické režimy prevádzky a časť jeho komponentov bolo použitých dosiahnutiu polohovania. Presné otáčanie za slnkom bolo dosiahnuté iným, vytvoreným riadiacim systémom.

K splneniu požiadavkou zadania práce bol v úvodnej časti vytvorený obecný popis solárnych koncentrátorových systémov, ich požiadavkami a zdanlivým pohybom slnka po oblohe. V nadväzujúcej kapitole sú uvedené vhodné komponenty potrebné k prevádzke. Je uvedených viac spôsobov snímania slnka a aktuálneho natočenia systému. Zvolený spôsob je viazaný na výkonové parametre riadiacej jednotky. Na záver kapitoly je popis vlastností rôznych typov elektromotorov vhodných k polohovaniu vrátane dvoch spôsobov ich ovládania.

Na dosiahnutie úspešného automatického polohovania boli použité dve metódy.

Prvá bola realizovaná mikrokontrolérom Arduino kombináciou IMU a vypočítaných hodnôt o polohe slnka v stupňoch. Daným spôsobom nebolo dosiahnuté polohovanie. Poskytnutá hodnota azimutu z IMU má meniacu odchýlku aj 10° . Vertikálny motor bol schopný nájsť polohu s citlivosťou 5° , pri horizontálnom motore nebolo možné nájsť žiadanú pozíciu. Môže to byť spôsobené aj použitým typom motorov. Pre solárne koncentrátory je vyžadovaná väčšia presnosť.

Druhá metóda bola realizovaná prostredníctvom Raspberry Pi a kamery vyhodnocovaním pixelov. Systém bol schopný pracovať s citlivosťou jedného pixela a doba vypnutia motorov bola znížená na jednu minútu za účelom zvýšenia presnosti. Aj v prípade zvýšenej oblačnosti je schopný presne vyhodnotiť polohu slnka a určí stred zhľuku najjasnejších pixelov. S danou konfiguráciou bolo dosiahnuté presné polohovanie.

Po osadení koncentrátorového systému polohovaním bola meraná získaná energia sústredením žiarenia v absorbátore vyparovaním vody. Bolo uskutočnené meranie na piatich vzorkách o množstve 100 ml. Na základe zostatku vody v nádrži a zmeraného času varu vody bol určený približný výkon koncentrátorového systému hodnotou 22,04 W so zahrnutými stratami 20% cez hadičky a neizolovanú nádobu s vodou. Na optickom systéme sú vzduchové bubliny, ktoré sa nepodielajú na koncentrácii žiarenia. Meranie je možné uskutočniť iba pri slnečnom počasí a je ovplyvnené prípadnou oblačnosťou.

Ako pokračovanie v danej téme by bolo vhodné vytvorenie efektívnej optiky na koncentrovanie žiarenia vrátane absorbátora. Medený absorbátor by bolo vhodné natrieť čiernou vysokoteplotnou farbou aby nebolo toľko žiarenia odrazeného. Overený polohovací systém by bolo vhodné ošetriť funkciou vyhodnotenia oblačnosti.

LITERATÚRA

- [1] A.S, A. Raspberry Pi 4 Model B 8 GB RAM - Mini PC | Alza.sk. In *Alza* [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné na internete: <<https://www.alza.sk/raspberry-pi-4-model-b-8-gb-ram-d5863776.htm>>.
- [2] Arducam 5Mpx OV5647 160° mini kamera. In *RPishop.cz* [online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné na internete: <<https://rpishop.cz/kamery/2906-arducam-5mpx-ov5647-160-mini-kamera.html>>.
- [3] Compass Module 3-Axis HMC5883L datasheet. In . s. 6. .
- [4] CSIRO SOLAR THERMAL [Online]. 2011. [cit. 2021-05-22]. Dostupné na internete: <<https://csirosolarthermal.wordpress.com/about/>>.
- [5] DE SILVA, C.W., 2016. *Sensors and actuators: control systems instrumentation*. . Boca Raton, FL: CRC Press, 2007. 671 s. ISBN 978-1-4200-4483-6.
- [6] Difference between photoresistor and photodiode,photoresistor vs photodiode. In [online]. [cit. 2021-04-16]. Dostupné na internete: <<https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Photoresistor-vs-Photodiode.html>>.
- [7] ELECTRONICS HUB [online]. 2021. [cit. 2021-05-24]. Dostupné na internete: <<https://www.electronicshub.org/raspberry-pi-vs-arduino/>>.
- [8] GARZOFOLLOW DC Motor Controller With Two Relay. In *Instructables* [online]. [cit. 2021-04-30]. Dostupné na internete: <<https://www.instructables.com/DC-Motor-Controller-With-Two-Relay/>>.
- [9] HOTAIR.CZ Modulový zdroj WXD-120W 24V 5A 120W. In [online]. [cit. 2021-04-29]. Dostupné na internete: <<https://www.hotair.sk/detail/priemyselne-zdroje/modulove-pre-vstavanie/modulovy-zdroj-wxd-120w-24v-5a-120w.html>>.
- [10] Charting The Sun's Motion In Relation To Your Home And Permaculture Site. In *The Permaculture Research Institute* [online]. 2015. [cit. 2021-05-20]. Dostupné na internete: <<https://www.permaculturenews.org/2015/10/23/charting-the-suns-motion-in-relation-to-your-home-and-permaculture-site/>>.
- [11] JARZĘBSKI, K. /dev/jarzebski: Kompensacja przechyleń kompasów cyfrowych. In [online]. 2015. [cit. 2021-04-15]. Dostupné na internete: <<http://www.jarzebski.pl/arduino/rozwiazania-i-algorytmy/kompensacja-przechylen-kompasow-cyfrowych.html>>.

- [12] JOSEPH J., D.I. et al., 1995. Theory and problems of feedback and control systems. In . Los Angeles, Irvine and Redondo Beach, California: McGraw-Hill, 1990. s. 507. ISBN 0-07-017052-5.
- [13] KARL W., B. Solar Cells. In [online]. 2005. Dostupné na internete: <<http://www.chemistryexplained.com/Ru-Sp/Solar-Cells.html>>.
- [14] KELLY, N.A. - GIBSON, T.L.. Improved photovoltaic energy output for cloudy conditions with a solar tracking system. In *Solar Energy* . 2009. Vol. 83, no. 11, s. 2092–2102. Dostupné na internete: <<https://pdfslide.net/documents/kelly-solar-energy-improved-photovoltaic-energy-output-for-cloudy-conditions.html>>
- [15] KUTTYBAY, N. et al. An Automated Intelligent Solar Tracking Control System With Adaptive Algorithm for Different Weather Conditions. In *2019 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)* [online]. Selangor, Malaysia: IEEE, 2019. s. 315–319. [cit. 2021-05-20]. Dostupné na internete: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8825098/>>.
- [16] Lineárne aktuátory. In [online]. [cit. 2021-05-23]. Dostupné na internete: <<https://www.dcmotory.sk/dc-aktuatory/>>.
- [17] Lineární servomotor Drive-System Europe DSZY30-24-A6-050-3-IP54, 1000 N, 24 V/DC, délka 50 mm | Conrad.sk. In [online]. [cit. 2021-05-23]. Dostupné na internete: <<https://velkoobchod.conrad.sk/linearni-servomotor-drive-system-europe-dszy30-24-a6-050-3-ip54-1000-n-24-v-dc-delka-50-mm.k1508423>>.
- [18] MARTIN, Žák, 2017. *Solárny koncentrátorový systém s automatickým natáčením*. Brno, 2017. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=146929. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Petr Baxant.
- [19] MEMORIAL SPACEFLIGHTS CELESTIS What are the “azimuth and elevation” of a satellite? | Memorial Spaceflights. In [online]. [cit. 2021-05-22]. Dostupné na internete: <<https://www.celestis.com/resources/faq/what-are-the-azimuth-and-elevation-of-a-satellite/>>.
- [20] MPU6050 (Gyroscope + Accelerometer + Temperature) Sensor Module |.. In [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné na internete: <<https://www.electronicwings.com/sensors-modules/mpu6050-gyroscope-accelerometer-temperature-sensor-module>>.

- [21] OPENCV [Online]. [cit. 2021-05-13]. Dostupné na internete: <<https://opencv.org/about/>>.
- [22] OxTS - Why use a survey grade INS on a UAV platform. In *OxTS* [online]. [cit. 2021-05-22]. Dostupné na internete: <<https://www.oxts.com/technical-notes/why-survey-grade-ins-drone/>>.
- [23] PAUL McGROW [Online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné na internete: <<https://toptechboy.com/arduino-based-9-axis-inertial-measurement-unit-imu-based-on-bno055-sensor/>>.
- [24] PAUL MCWHORTER, 2019. [cit. 2021-05-16]. Dostupné na internete: <https://www.youtube.com/watch?v=p_qZ-ie2R7o>.
- [25] POLOLU-1213, 2019. Regulátor otáček DC motoru | MC33926; 20kHz; PWM; 2,5A; Kanály: 2 | TME Czech Republic s.r.o. - Elektronické součástky. In [online]. [cit. 2021-04-30]. Dostupné na internete: <<https://www.tme.eu/cz/details/pololu-1213/modulove-ovladace-motoru/pololu/>>.
- [26] PRINSLOO, G. - DOBSON, R. Sun Position Sun Tracking Sun Following. In . s. 542. Dostupné z: <https://www.academia.edu/17744987/Solar_Tracking_Sun_Tracking_Sun_Tracker_Solar_Tracker_Follow_Sun_Sun_Position>
- [27] R.O, C. Spol s Arduino relé 4 kanály 5V s optočlenem | dratek.cz. In *dratek.cz* [online]. [cit. 2021-04-30]. Dostupné na internete: <<https://dratek.cz/arduino/2190-rele-4-kanaly-5v-s-optoclenem.html>>.
- [28] REICHL, J. - VŠETIČKA, M., 2006. Encyklopedie fyziky. In [online]. [cit. 2021-05-20]. Dostupné na internete: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/931-obzornikova-soustava-souradnic>>.
- [29] SANDNES, F. Determining the Geographical Location of Image Scenes based on Object Shadow Lengths. In *Signal Processing Systems* . 2011. Vol. 65, s. 35–47.
- [30] SCLATER, N. *Mechanisms and mechanical devices sourcebook*. . [s.l.]: McGraw-Hill, 2011. 561 s. ISBN 978-0-07-170441-0.
- [31] Servo Motor Basics, Working Principle & Theory. In [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné na internete: <<https://circuitdigest.com/article/servo-motor-working-and-basics>>.

- [32] SHIBATA M. - TAMBO T. Dual Axis Light Sensor for Tracking Sun. In *IEEE Transactions on Sensors and Micromachines* . 2010. Vol. 130, no. 3, s. 86–91. .
- [33] SURYANTO, A. et al. Dual-axis solar tracking system based on Raspberry Pi imaging. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* . 2021. Vol. 700, no. 1, s. 012016. .
- [34] TKOTZ, K. *Príručka pre elektrotechnika*. . druhé. vyd. 2014. Praha: Europa-Sobotáles cz 624 s. ISBN 80-86706-13-3.
- [35] UVA ‘CubeSat’ Deployed; Students Seek Contact From Ground Station. In *UVA Today* [online]. 2019. [cit. 2021-05-22]. Dostupné na internete: <<https://news.virginia.edu/content/uva-cubesat-deployed-students-seek-contact-ground-station>>.
- [36] WEI, C.-C. et al. Design of a Solar Tracking System Using the Brightest Region in the Sky Image Sensor. In *Sensors* . 2016. Vol. 16, no. 12, s. 1995. .
- [37] What is a Raspberry Pi? In *Opensource.com* [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné na internete: <<https://opensource.com/resources/raspberry-pi>>.
- [38] What is an Arduino? - learn.sparkfun.com. In [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné na internete: <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino/all>>.
- [39] XIE, N. - THEUWISSEN, A.J.P. Low-power high-accuracy micro-digital sun sensor by means of a CMOS image sensor. In *Journal of Electronic Imaging* . 2013. Vol. 22, s. 11. .
- [40] XINHONG, Z. et al. Intelligent Solar Tracking Control System Implemented on an FPGA. In . 2007. s. 30. Dostupné z: <<https://www.semanticscholar.org/paper/Intelligent-Solar-Tracking-Control-System-on-an-on-Xinhong-Zong-xian/fc0a6bcfe536cd999f07a7dcd64f84992fff9087>>
- [41] Zdanlivý pohyb Slnka na oblohe. In [online]. [cit. 2021-05-22]. Dostupné na internete: <<https://www.dkubinsky.sk/clanok/zdanlivy-pohyb-slnka-na-oblohe>>.

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratky:

IMU	Inertial Measurement unit
GPS	Global Positioning System
IDE	Integrated Development Environment
CPU	Central processing unit
RAM	Random Access Memory
HW	Hardware
SW	Software
IO	Input Output
ROM	Read-Only memory
GPIO	General Purpose Input Output
RGB	Red Green Blue

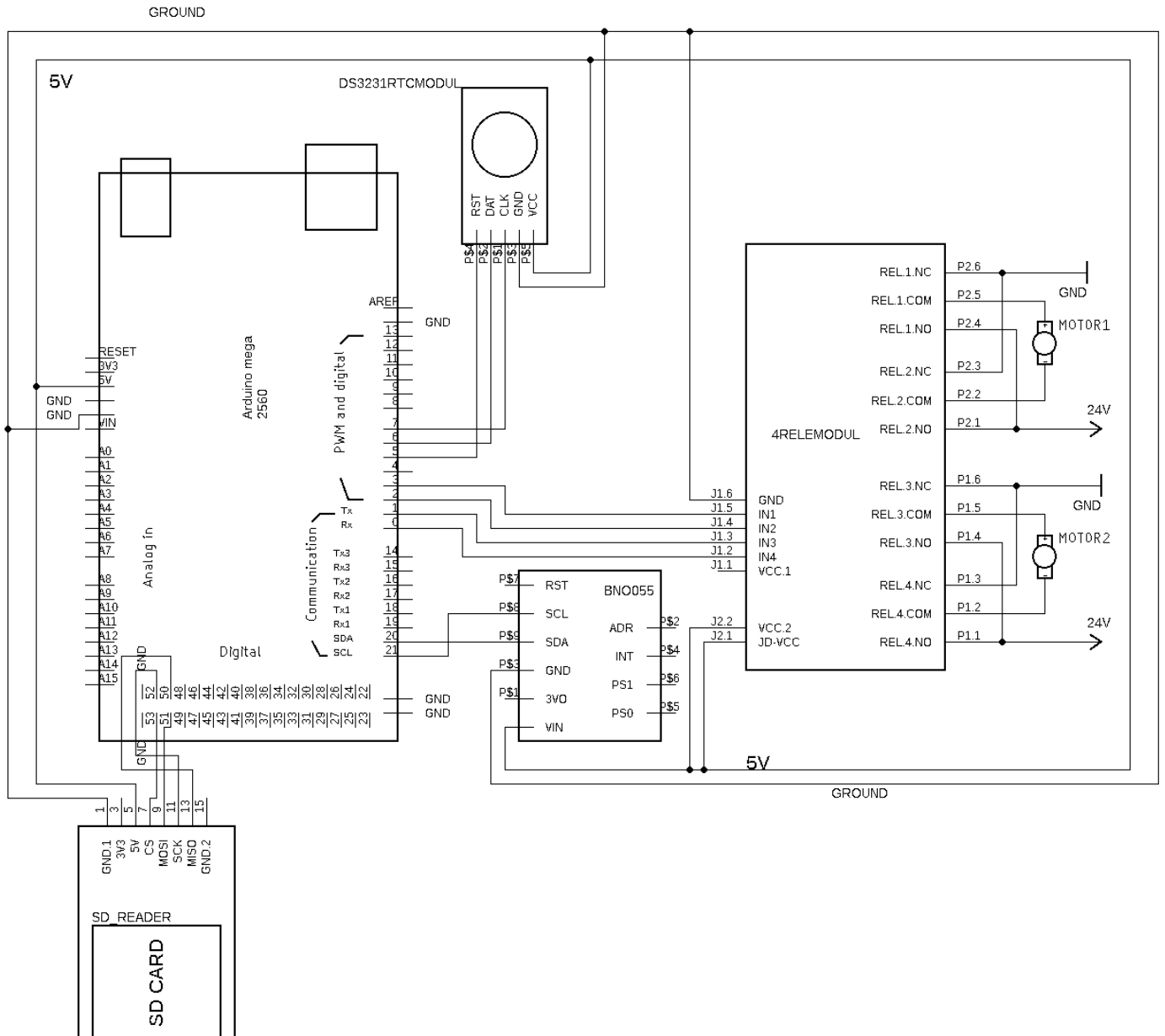
Symboly:

P	výkon	(W)
B_y	magnetická indukcia osy y	(T)
B_x	magnetická indukcia osy x	(T)
δ	deklinácia	(°)
γ	azimut	(°)
y	osa y	(px)
x	osa x	(px)
F	sila	(N)
m	hmotnosť	(kg)
a	zrýchlenie	(m/s ²)
σ	úroveň skreslenia	(-)
A	súčet pixelov	(px)
S_x	súčet pixelov na ose x	(px)
S_y	súčet pixelov na ose y	(px)
x_c	súradnica na ose x vypočítaného stredu obj.	(px)
y_c	súradnica na ose y vypočítaného stredu obj.	(px)

ZOZNAM PRÍLOH

PŘÍLOHA A - SCHÉMA ZAPOJENIA RIADENIA S IMU A VYPOČÍTANÝCH HODNÔT	55
PŘÍLOHA B - ZDROJOVÝ KÓD RIADENIA S IMU (.INO).....	56
PŘÍLOHA C - ZDROJOVÝ KÓD RIADENIA S KAMEROU (.PY).....	61

Příloha A - Schéma zapojenia riadenia s IMU a vypočítaných hodnôt



Příloha B - Zdrojový kód riadenia s IMU (.ino)

```
#include <Wire.h> // I2C
#include <SPI.h> // SPI
#include <SD.h> //SD
#define CS_PIN 4
#include <virtuabotixRTC.h>
virtuabotixRTC myRTC(6, 7, 8);
const byte zaznamu = 200; //zaznamy na karte pro jeden den
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BNO055.h>
#include <utility/ImuMaths.h>
#include <math.h>
float thetaM;
float Xm;
float Ym;
float psi;
float theta;
float phi;
float thetaRad;
float phiRad;
float dt;
unsigned long millisOld;
#define BNO055_SAMPLERATE_DELAY_MS (100)

Adafruit_BNO055 myIMU = Adafruit_BNO055();

float akc_naklon = 0;
float azimut = 0;
float zenit = 0;
float azimut_n = 0; //pozadovany azimut
float zenit_n = 0; //pozadovany zenit
int i = 0;
int j = -1;
bool behXmotora=false;
bool behYmotora=false;
//promenne casu
byte second, minute, hour, dayOfWeek, dayOfMonth, month, year;
int cas_h, cas_m, den_m;
float pole[zaznamu][4];
byte cislo = 0;
byte radek = 0;
char soubor[9] = "";
File file;
size_t n;
char str[20];
//MOTORY
int M1A = 4; //piny pre motorA
int M1B = 5;

int M2A = 6; //piny pre motorB
int M2B = 7;

int citlivost = 10;
int pauza = 0;
int vypnut = 0;

size_t readField(File* file, char* str, size_t size, const char* delim)
```



```

{ //funkcia na pracu so suborom
char ch;
size_t n = 0;
while ((n + 1) < size && file->read(&ch, 1) == 1) {
    if (ch == '\r') {
        continue;
    }
    str[n++] = ch;
    if (strchr(delim, ch)) {
        break;
    }
}
str[n] = '\0';
return n;
}

void readDS3231time(byte *second, byte *minute, byte *hour, byte
*dayOfWeek, byte *dayOfMonth, byte *month, byte *year){ //aktualizacia
hodnot casu
    myRTC.updateTime();
    *second = myRTC.seconds;
    *minute = myRTC.minutes;
    *hour = myRTC.hours;
    *dayOfWeek = myRTC.dayofweek;
    *dayOfMonth = myRTC.dayofmonth;
    *month = myRTC.month;
    *year = myRTC.year;
}

void setup() {
    pinMode(M1A, OUTPUT);
    pinMode(M1B, OUTPUT);
    pinMode(M2A, OUTPUT);
    pinMode(M2B, OUTPUT);
    digitalWrite(M1A, LOW);
    digitalWrite(M1B, LOW);
    digitalWrite(M2A, LOW);
    digitalWrite(M2B, LOW);
    Serial.begin(115200);
    myIMU.begin();
    delay(1000);
    int8_t temp=myIMU.getTemp();
    myIMU.setExtCrystalUse(true);
    millisOld=millis();
    myRTC.updateTime();
    Wire.begin(); // I2C
    Serial.begin(115200); // seriove
    Serial.println("Pripojovanie");
    while (!SD.begin(CS_PIN)){
        Serial.println("Karta nejde pripojit");
        delay(2000);
    }
    readDS3231time(&second, &minute, &hour, &dayOfWeek, &dayOfMonth,
&month, &year); //ziskanie data a casu
    sprintf(soubor, "%02d-%02d.txt", month, dayOfMonth);
    file = SD.open(soubor);
    while (!file){
        Serial.println("Nie je mozne otvorit subor.");
        delay(2000);
    }
}

```

```

}
file.seek(0);
while (true) {
    n = readField(&file, str, sizeof(str), ",\n");
    if (n == 0) break;
    if (str[n-1] == ',' || str[n-1] == '\n') {
        //i = sloupcovy index, j = radkovy index
        if (i == 0) j++;
        if (i == 3) i = -1;
        i = i + 1;
        str[n-1] = 0;
    } else{
        if (file.available()){
            Serial.print("Chyba!");
        }else{
            i = 0;
        }
    }
    float cislo = atof(str);
    pole[j][i == 0 ? 3 : i - 1] = cislo;
}
file.close();
cas_h = 100 * hour + minute;
cas_m = minute;
den_m = dayOfMonth;
for (i = 0; i < zaznamu; i++){
    if (100 * pole[i][0] + pole[i][1] <= cas_h){
        radek = i;
    }else{
        break;
    }
}
azimut_n = pole[radek][3];
zenit_n = pole[radek][2];
i = 0;
}

void loop() {
uint8_t system, gyro, accel, mg = 0;
myIMU.getCalibration(&system, &gyro, &accel, &mg);
imu::Vector<3>
acc=myIMU.getVector(Adafruit_BNO055::VECTOR_ACCELEROMETER);//ziskanie
dat z IMU
imu::Vector<3> gyr=myIMU.getVector(Adafruit_BNO055::VECTOR_GYROSCOPE);
imu::Vector<3>
mag=myIMU.getVector(Adafruit_BNO055::VECTOR_MAGNETOMETER);
thetaM=-atan2(acc.x()/9.8,acc.z()/9.8)/2/3.141592654*360;
theta=(theta+gyr.y()*dt); //naklon1
phi=(phi-gyr.x()*dt); //naklon2
phiRad=phi/360*(2*3.14);// na Rad
thetaRad=theta/360*(2*3.14);// na Rad
Xm=mag.x()*cos(thetaRad)-
mag.y()*sin(phiRad)*sin(thetaRad)+mag.z()*cos(phiRad)*sin(thetaRad);
Ym=mag.y()*cos(phiRad)+mag.z()*sin(phiRad);
float psi=atan2(Ym,Xm); //urcenie azimutu
float azimut = psi;
float deklinace = (4 + (32 / 60)) / (180 / PI);
azimut += deklinace; // upravy aj s deklinaciou
if (azimut < 0){azimut += 2 * PI;}

```

```

if (azimut > 2 * PI){azimut -= 2 * PI;}
azimut = azimut * 180/PI; //azimut z IMU
zenit = -thetaM; //vyska z IMU
dt=(millis()-millisOld)/1000.;
millisOld=millis();
    readDS3231time(&second, &minute, &hour, &dayOfWeek, &dayOfMonth,
&month, &year); //aktualni cas
    if (den_m != dayOfMonth){
        asm volatile (" jmp 0");
    }
    if (minute != cas_m){
        cas_m = minute;
        cas_h = 100 * hour + minute;
        if (pole[radek + 1][0] != 0){ //kontrola pole dat
            if (100 * pole[radek + 1][0] + pole[radek + 1][1] <= cas_h){
                radek++;
                azimut_n = pole[radek][3];
                zenit_n = pole[radek][2];
            }
        }
    }
    if (i >= 300){
        i = 0;}
    i++;
    float R1=int(azimut)-int(azimut_n); //riadenie motorov
    if (behYmotora != true)
    {
        if (R1>0 && abs(R1)>citlivost)
        {
            digitalWrite(M1A, HIGH);
            digitalWrite(M1B, LOW);
            behXmotora = true;
        }
        if (R1<0 && abs(R1)>citlivost)
        {
            digitalWrite(M1B, HIGH);
            digitalWrite(M1A, LOW);
            behXmotora = true;
        }
        if (abs(R1)<citlivost)
        {
            digitalWrite(M1A, LOW);
            digitalWrite(M1B, LOW);
            behXmotora = false;
        }
    }
    float R2=int(zenit)-int(zenit_n);
    if (behXmotora != true)
    {
        if (R2>0 && abs(R2)>citlivost)
        {
            digitalWrite(M2A, HIGH);
            digitalWrite(M2B, LOW);
            behYmotora = true;
        }
        if (R2<0 && abs(R2)>citlivost)
        {
            digitalWrite(M2B, HIGH);
            digitalWrite(M2A, LOW);
        }
    }

```

```
        behYmotora = true;
    }
    if (abs(R2)<citlivost)
    {
        digitalWrite(M2A, LOW);
        digitalWrite(M2B, LOW);
        behYmotora = false;
    }
}
if (abs(R1)<citlivost && abs(R2)<citlivost) //dosiahnutie
ziadaneho natocenia
{
    Serial.println("Dosiachnuta poloha a odmlcanie systemu");
    delay(600000);
}
}
```

Příloha C - Zdrojový kód riadenia s kamerou (.py)

```
import cv2
import numpy as np
import time
import RPi.GPIO as gpio
vid = cv2.VideoCapture(0)
vid.set(3, 320)
vid.set(4, 240)
X=320
Y=240
centerX = int(X/2)
centerY = int(Y/2)
R3=1 #MUSI BYT NEPARNE CISLO
behXmotora=False
behYmotora=False
citlivost=1
VMplus=False
VMmin=False
HMplus=False
HMmin=False
i=1
def Stop():
    if VMplus == True and RoY<=0:
        print("STOP")
    if VMmin == True and RoY>=0:
        print("STOP1")
    if HMplus == True and RoX<=0:
        print("STOP2")
    if HMmin == True and RoX>=0:
        print("STOP3")

gpio.setmode(gpio.BCM)
gpio.setwarnings(False)
gpio.setup(27, gpio.OUT, initial=gpio.LOW)
gpio.setup(22, gpio.OUT, initial=gpio.LOW)
gpio.setup(23, gpio.OUT, initial=gpio.LOW)
gpio.setup(24, gpio.OUT, initial=gpio.LOW)
#zaciatok=time.time()
while(True):
    ret, img = vid.read()
    gray = cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2GRAY) #monochromaticka seda
    gauss = cv2.GaussianBlur(gray, (R3, R3), 0) #Gauss skreslenie
    minVal, maxVal, minLoc, maxLoc = cv2.minMaxLoc(gauss) #lokaciaMaxPix
    x,y=maxLoc #ulozenie z Tuple
    tval=0.98*maxVal #urcenie prahovej hodnoty
    ret,thresh = cv2.threshold(gauss,tval,255,cv2.THRESH_BINARY) #binar
    pocet=cv2.countNonZero(thresh) #spocitanie bielych pix
    x_center, y_center= np.argwhere(thresh==255).sum(0) #vypocet stredu
    Xx = int(y_center/pocet) #stred jasneho objektu na ose x
    Yy = int(x_center/pocet) #stred jasneho objektu na ose y
    cv2.circle(img, (Xx, Yy), 3, (0, 0, 255), -1)
    cv2.circle(img, (centerX, centerY), 3, (0, 255, 255), -1)
    if cv2.waitKey(1) & 0xFF == ord('q'):
        break
    #cv2.imshow('image', thresh)
```

```

cv2.imshow('real', img)
cv2.imshow('binar', thresh)
cv2.imshow('rozmazanie', gauss)
#Motory
RoY = centerY - Yy
if (abs(RoY)>citlivost or behYmotora==True) and behXmotora!=True
    if RoY>0 and behYmotora!=True and abs(RoY)>citlivost:#DOPREDU
        behYmotora = True
        gpio.output(27, gpio.HIGH)
        gpio.output(22, gpio.LOW)
        #VMplus=True

    if RoY<0 and behYmotora!=True and abs(RoY)>citlivost:#DOZADU
        behYmotora = True
        gpio.output(22, gpio.HIGH)
        gpio.output(27, gpio.LOW)
        #VMmin=True
        #Stop()

    if behYmotora == True and abs(RoY)<citlivost:
        #ZASTAVENIE
        behYmotora = False
        gpio.output(27, gpio.LOW)
        gpio.output(22, gpio.LOW)

RoX = centerX - Xx

if (abs(RoX)>citlivost or behXmotora==True) and behYmotora!=True:
    if RoX>0 and behXmotora!=True and abs(RoX)>citlivost:#DOPREDU
        behXmotora = True
        gpio.output(23, gpio.HIGH)
        gpio.output(24, gpio.LOW)
        #HMplus=True

    if RoX<0 and behXmotora!=True and abs(RoX)>citlivost:#DOZADU
        behXmotora = True
        gpio.output(24, gpio.HIGH)
        gpio.output(23, gpio.LOW)
        #HMmin=True
    #Stop()

    if behXmotora == True and abs(RoX)<citlivost:
        #ZASTAVENIE POHYBOV VERTIKALNEHO
        behXmotora = False
        gpio.output(23, gpio.LOW)
        gpio.output(24, gpio.LOW)

#if i == 1:
    #print("%s sekund" % (time.time() - zaciatok))
    #i=2

    if abs(RoX)<citlivost and abs(RoY)<citlivost:
        print("Motory sa vypinaju na 60 sekund z dovodu spravneho
nasmerovania")
        time.sleep(60)

gpio.setup(27, gpio.OUT, initial=gpio.HIGH)
gpio.setup(22, gpio.OUT, initial=gpio.HIGH)
gpio.setup(23, gpio.OUT, initial=gpio.HIGH)

```

```
gpio.setup(24, gpio.OUT, initial=gpio.HIGH)
vid.release()
cv2.destroyAllWindows()
```