

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

SERVOMECHANICKÉ ŘÍZENÍ POHYBU FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ

SERVOMECHANICAL MOVEMENT CONTROL OF PHOTOVOLTAIC PANEL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. ONDŘEJ UHER

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

DOC. ING. ZDENĚK NĚMEC, CSC.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2010/11

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Ondřej Uher

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902T001)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Servomechanické řízení pohybu fotovoltaických panelů

v anglickém jazyce:

Servomechanical movement control of photovoltaic panel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Využití alternativních zdrojů elektrické energie s fotovoltaickými panely do značné míry závisí na kolmosti nastavení panelů vůči slunci. Úkolem je návrh technického řešení tohoto problému automatickým nastavováním polohy panelů.

Cíle diplomové práce:

1. Zoznámít se s problematikou výroby elektřiny pomocí fotovoltaických článků a osvojit si práci s programovatelným automatem Simatic S7-224XP.
2. Pro zvolený příklad panelu navrhnout elektromechanickou část pro ovládání úhlu elevace a azimutu panelu.
3. Navrhnout koncepci celkového řešení automatického řízení pohybu panelu, přičemž řídicí jednotkou by měl být automat Simatic S7-224XP.
4. Navrhnout algoritmy řízení a zpracovat uživatelské programové vybavení alespoň pro hlavní činnosti automatu.
5. Zhodnotit očekávané přínosy navrženého řešení a srovnat toto řešení vůči obvyklé koncepci s pevným nastavením panelu.

Seznam odborné literatury:

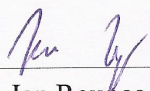
- [1] Literatura o alternativních zdrojích energie.
- [2] Firemní dokumentace fy Siemens o programovatelných automatech.
- [3] Švarc, I.; Šeda, M.; Vítečková, M. Automatické řízení. Brno: CERM, 2007. 324 s. ISBN 978-80-214-3491-2.

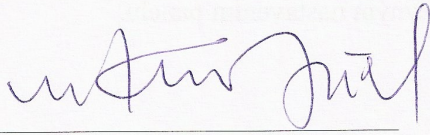
Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Zdeněk Němec, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11

V Brně, dne 18.11.2010




Ing. Jan Roupec, Ph.D.


prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.

ABSTRAKT

Práce se zabývá úvodem do problematiky výroby elektřiny pomocí fotovoltaických panelů a vzájemné poloze panelů a Slunce. Předmětem práce bylo navrhnout zařízení, které zajistí kolmou polohu fotovoltaických panelů vůči Slunci v průběhu celého dne tak, abychom dosáhli maximálního energetického zisku ze slunečního záření. Natáčení polohovacího mechanismu se bude řídit podle data a času.

ABSTRACT

Thesis deals with the introduction to the production of electricity using photovoltaic panels and the relative position between panels and the Sun. The project aim was to design equipment to ensure the vertical position of the solar panels towards the Sun during the day so as to achieve maximum energy gain from sunlight. Pointing mechanism will be governed by the date and time.

KLÍČOVÁ SLOVA

Azimut, elevace, fotovoltaický panel, řízení polohy, Slunce

KEYWORDS

Azimuth, elevation, photovoltaic panel, position control, the Sun

UHER, O. *Servomechanické řízení pohybu fotovoltaických panelů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 57 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Zdeněk Němec, CSc..

Bibliografická citace mé práce:

Já, Bc. Ondřej Uher, prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité prameny a literaturu.

V Brně 26.5.2011

.....

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Zdeňkovi Němcovi, CSc. za odborné a cenné rady při vypracování této diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat rodičům za podporu při studiu.

Obsah:

	Abstrakt.....	5
	Poděkování.....	11
1	Úvod.....	15
2	Sluneční energie.....	17
2.1	Sluneční energie na Zemi.....	17
2.2	Využití sluneční energie.....	17
2.3	Složení slunečního záření.....	18
2.4	Intenzita slunečního záření.....	19
3	Výroba elektřiny fotovoltaickými články.....	21
3.1	Historický vývoj.....	21
3.2	Princip činnosti solárního článku.....	21
3.3	Sluneční záření.....	22
3.4	Fotovoltaický (solární) panel.....	22
3.4.1	Porovnání vybraných fotovoltaických panelů.....	23
3.5	Pohyb Slunce po obloze.....	24
4	Programovatelný automat SIMATIC S7-224XP.....	31
4.1	PLC SIMATIC S7-224XP.....	31
4.2	STEP 7 – Micro/WIN V4.0.....	32
5	Návrh elektromechanické části ovládání	33
5.1	Úhel elevace.....	33
5.1.1	Volba motoru pro ovládání úhlu elevace.....	34
5.2	Azimut.....	37
5.2.1	Volba motoru pro ovládání azimutu.....	38
5.3	Snímač rychlosti větru.....	39
6	Koncepce automatického řízení panelu.....	41
6.1	Řídící program ovládání krokového motoru	41
6.1.1	Hlavní program main.....	41
6.1.2	Zastavení otáčení (SBR0).....	44
6.1.2	Nastavení referenčního bodu (SBR1).....	44
6.1.3	Přepočet úhlu na pulsy (SBR2).....	45
6.1.4	Přerušení (INT0).....	45
7	Porovnání polohovacího a konvenčního řešení.....	47
7.1	Teoretické porovnání.....	47
7.1.1	Konvenční koncepce.....	47
7.1.2	Kolektor pohybující se za Sluncem.....	48
7.1.3	Srovnání teoretických zisků energie.....	49
7.2	Reálný výpočet.....	49
7.2.1	Konvenční koncepce.....	50
7.2.2	Kolektor pohybující se za Sluncem.....	51
7.2.3	Srovnání reálných zisků energie.....	52
8	ZÁVĚR.....	55
	Seznam použité literatury.....	57

1 ÚVOD

Sluneční záření je nejčastěji využívaným energetickým zdrojem. Na Zemi má tato energie různé podoby a formy. Nejvíce využívaná je v současnosti sluneční energie těžená v podobě fosilních paliv (ropa, zemní plyn a uhlí), která jsou na Zemi nashromážděna působením slunečního záření po mnoho tisíc let. Protože se jedná o neobnovitelný zdroj energie a jeho zásoby budou při současné spotřebě v blízké době vyčerpány, bude nutností nahradit fosilní paliva alternativními.

Ubývající zásoby fosilních paliv vedou k nahrazování a hledání jiných energetických zdrojů, ale současně také dochází k neustálému nárůstu jejich cen. Proto je snaha o postupné nahrazení těchto energetických zdrojů alternativními zdroji energie. Důvodů pro přechod na alternativní zdroje je více. Například snaha o energetickou nezávislost. Dalším neméně důležitým důvodem pro přechod k alternativním zdrojům je ekologická zátěž životního prostředí, kterou způsobují emise vzniklé využíváním fosilních paliv.

V našich podmínkách se nejčastěji sluneční (solární) energie využívá k výrobě tepla a elektřiny. Tepelnou energii získanou ze Slunce můžeme použít k ohřevu užitkové vody, vody v bazénech a vytápění objektů (domy, chaty, skleníky atd.). Asi nejrozšířenější způsob jak získat tepelnou energii je instalace trubic (například na střechu rodinného domu), ve kterých se ohřívá médium. Takto ohřáté médium za pomoci čerpadel cirkuluje v okruhu mezi trubicemi a akumulací nádobou, kde ohřívá vodu pro další použití. Sluneční energii přeměníme na elektrickou pomocí fotovoltaických panelů.

Instalace fotovoltaických panelů pro výrobu elektrické energie může být pevná, to znamená, že panely jsou natočeny k jihu pod neměnným úhlem. S takovou instalací můžeme setkat na solárních polích, další variantou pro umístění panelů jsou nevyužité plochy střech výrobních hal či rodinných domů. Oblíbeným místem pro instalaci fotovoltaických elektráren se stávají také louky a pole.

Další možností je natáčení solárních panelů. Solární panely můžeme polohovat v horizontální ose nebo horizontální i vertikální ose současně. Cílem tohoto způsobu natáčení solárních panelů je zajistit, aby sluneční paprsky dopadaly kolmo na plochu panelů po co nejdelší část dne. Ideálního osvětlení plochy panelů můžeme dosáhnout měřicími senzory, které snímají dopadající záření a polohováním zajistíme, aby byly panely ideálně nakloněny vůči Slunci. Další možností je řídit polohu panelů v závislosti na datu a čase tak, aby byla zajištěna kolmost panelu ke Slunci v průběhu celého roku.

2 SLUNEČNÍ ENERGIE

Téměř veškerá energie na Zemi a většina energie, kterou využíváme pochází ze Slunce. Tato energie vzniká díky termonukleárním reakcím na Slunci, kdy dochází ke slučování vodíku a hélia a při tom dochází k uvolňování energie. To se děje při teplotě kolem 15 milionů stupňů Celsia. Díky Slunci vznikají na Zemi větry, probíhá koloběh vody a další jevy umožňující život na Zemi. Sluneční energie byla využívána již prvními rostlinami a živočichy před více než sty miliony lety.

2.1 Sluneční energie na Zemi

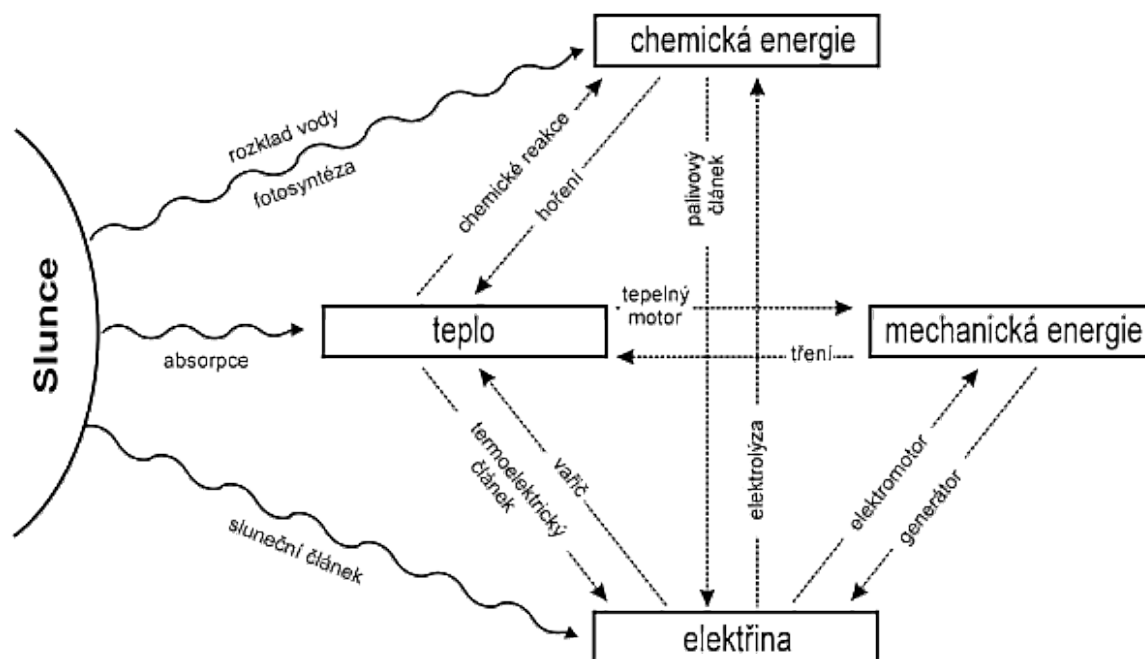
Sluneční záření umožňuje život na Zemi. Dopadající sluneční záření na Zemi, se přeměňuje do těchto forem energie:

- fosilní paliva – ropa, zemní plyn a uhlí. Fosilní paliva jsou vyčerpatelné zdroje. Jsou to nerostné suroviny, které vznikly před miliony lety z mrtvých organismů (rostliny a těla živočichů). Průmyslová revoluce odstartovala masové využívání těchto surovin. V současné době dochází z ekologických, ekonomických ale i strategických důvodů k nahrazování fosilních paliv jadernou energií nebo obnovitelnými zdroji.
- větrná energie – dříve využívána jako pohon pro plachetnice, větrné mlýny a čerpadla vody. Energie větru se převáděla na mechanickou energii. V dnešní době jsou nejčastěji využívány větrné elektrárny, které jsou roztáčeny větrem. K větrné turbíně je potom připojen elektrický generátor, který dodává elektrickou energii do sítě.
- biomasa – hmota organického původu. Biomasu tvoří biologicky rozložitelné části výrobků, odpadů, zbytky ze zemědělství včetně rostlinných a živočišných látek. Je to obnovitelný zdroj, který můžeme použít ve všech moderních tepelných elektrárnách. Palivo spalované v těchto elektrárnách může obsahovat až 25 procent biomasy. [8]
Můžeme ji rozdělit do dvou kategorií:
 - odpadní biomasa
 - záměrně produkovaná biomasa
- vodní energie – v dřívějších dobách používány vodní toky například ke splavování dřeva, lodí. Rozmach ve využívání vodní energie nastal po vynalezení vodního kola. Vodním kolem byli poháněny různé mechanismy (mlýny, čerpadla, pily). Dnes je vodní kolo nahrazeno vodní turbínou.

2.2 Využití sluneční energie

Všechnu potřebnou energii jsme schopni získat ze slunečního záření. Můžeme ji rozdělit do těchto kategorií:

- teplo – přeměna sluneční energie na teplo se nazývá absorpce záření. Tuto tepelnou energii můžeme například využít pro sluneční kolektory, ve sklenících, ve slunečních pecích.
- chemická energie (fotosyntéza) – chemická paliva jsou uměle vytvořené látky, na rozdíl od fosilních paliv (ropa, zemní plyn a uhlí). Vhodné suroviny pro přípravu chemických paliv, jsou písek, voda, kyslík, oxid uhličitý.
- elektrický proud – získáme ho pomocí fotovoltaiického článku, nejpoužívanější je křemíkový.
- mechanická energie – pro pohon různých strojů lze mechanickou energii získat třemi způsoby. Názorně můžeme vidět na Obr. 1 .
 - teplem – například sluneční pumpy
 - chemickou reakcí – například bioplyn, vodík
 - elektřinou – například solární automobil, solární letadlo



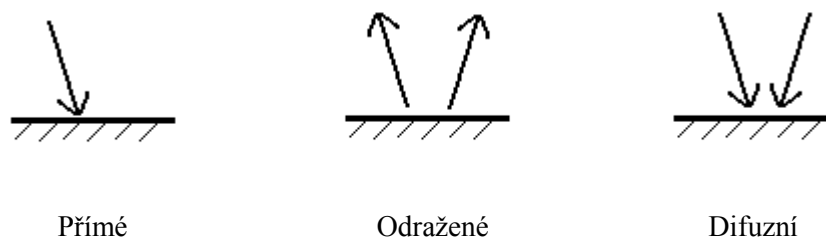
Obr. 1 Přeměny energie ze Slunce [4]

2.3 Složení slunečního záření

Sluneční záření můžeme rozdělit podle jeho složení a podle toho, o jaký druh záření se jedná.

Druhy slunečního záření jsou:

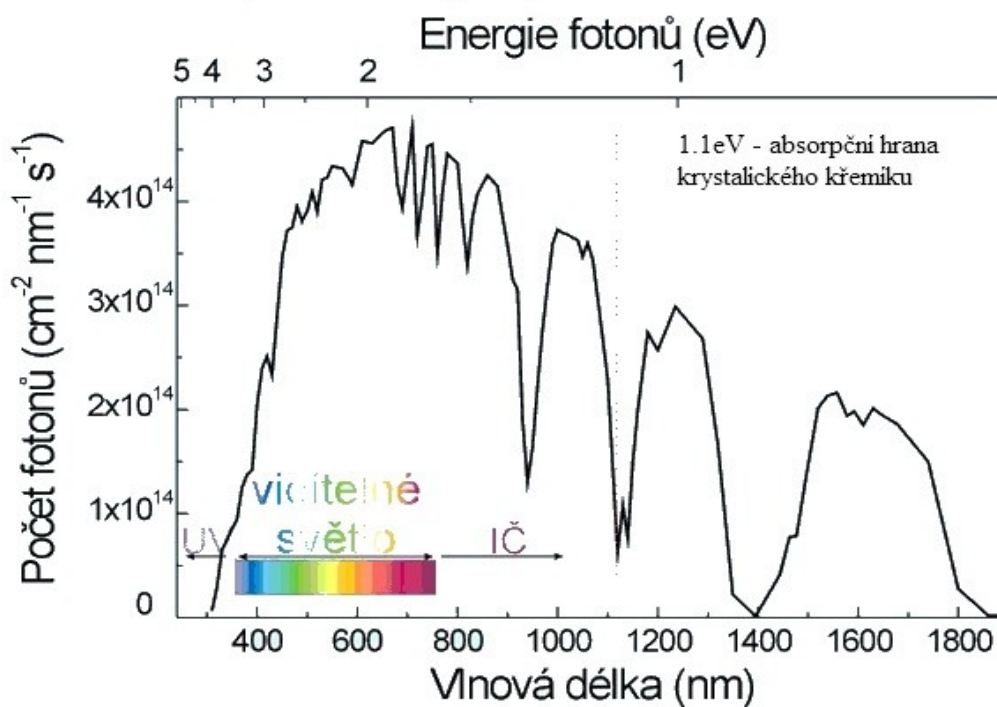
- přímé – dopadá na plochu, aniž by bylo rozptýleno v atmosféře. Je směrově závislé, v jednom směru je výrazně intenzivní.
- odražené – vliv na směr dopadu na plochu mají odrazy od terénu, budov a další překážky.
- difúzní – je to odražené záření od částic v atmosféře a má změněný směr. Oblačnost a znečištění atmosféry ovlivňují jeho množství. Je-li obloha zatažená, dopadá na Zemi pouze difúzní záření.



Obr. 2 Druhy slunečního záření

Slunečním zářením rozumíme elektromagnetické vlnění o spektru vlnových délek. Toto sluneční spektrum rozdělujeme na tři části

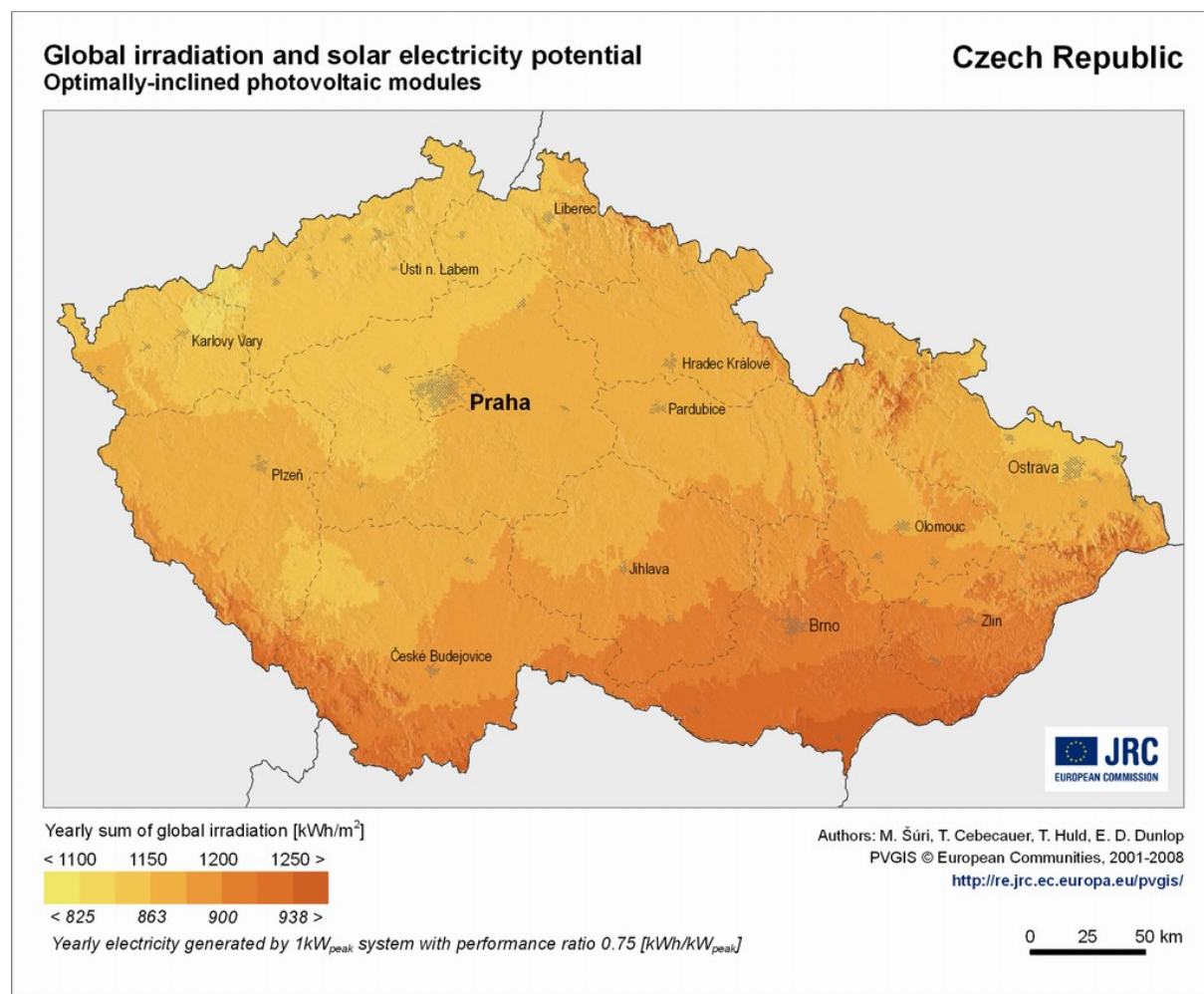
- UV – ultrafialové záření, $0,2 - 0,4 \mu\text{m}$
- viditelné záření – $0,4 - 0,75 \mu\text{m}$
- IČ – infračervené záření, $0,75 - 5 \mu\text{m}$



Obr. 3 Sluneční spektrum [5]

2.4 Intenzita slunečního záření

Intenzita slunečního záření je suma globálního záření dopadajícího na jednotku vodorovné plochy v dané oblasti. Intenzita se skládá ze sumy dvou složek – tj. z přímého slunečního záření a z difuzního slunečního záření. Pro Českou republiku se intenzita slunečního záření pohybuje ročně mezi 950 a 1250 kWh/m² při jasné obloze bez oblačnosti. Množství dopadající energie se zvyšuje s klesající zeměpisnou šířkou, například v severní Africe má intenzita hodnotu 2000 kWh/m² za rok.



Obr. 4 Sluneční záření v ČR (kWh/m^2 vodorovné plochy) za rok [6]

3 VÝROBA ELEKTŘINY FOTOVOLTAICKÝMI ČLÁNKY

Přímé sluneční záření patří do kategorie obnovitelných zdrojů. Využívání tohoto alternativního zdroje energie můžeme z pohledu ochrany životního prostředí přiřadit k nejšetrnějšímu a nejčistšímu způsobu výroby elektřiny. Další, neméně důležitou výhodou tohoto energetického zdroje je jeho dostupnost a dostatečné množství v přírodě. Z těchto důvodů se podíl slunečního záření v poslední době neustále zvyšuje hlavně v oblasti výroby elektřiny a tepla. Výrobu elektřiny pak můžeme nazvat solární fotovoltaika a výrobu tepla solární termika.

Ze slunečního záření lze elektrickou energii získat dvěma způsoby, a to přímou nebo nepřímou přeměnou.

- Přímá přeměna – pomocí fotovoltaických panelů (využívají fotoelektrický efekt)
- Nepřímá přeměna – získkem tepla a využitím tzv. Seebeckova jevu. Elektrické napětí získáme přímou přeměnou teplotních rozdílů ve spoji dvou rozdílných kovů nebo polovodičů.

3.1 Historický vývoj

Fotovoltaický jev byl odhalen při experimentech Alexandra Edmonda Becquerela v roce 1839. Tento jev byl podrobně popsán až Albertem Einsteinem v roce 1904 a v roce 1921 mu byla udělena Nobelova cena za „práce pro rozvoj teoretické fyziky, zejména objev fotoelektrického efektu“. První fotovoltaický článek z krystalického křemíku byl vyroben v Bellových laboratořích v roce 1954. Tento článek měl účinnost 6%. V šedesátých letech vývoj fotovoltaiky dosáhl velkého rozvoje díky kosmickému výzkumu. Solární články byly použity jako energetický zdroj pro družice. První družici využívající jako zdroj sluneční energii byl ruský Sputnik, který byl vypuštěn do 15. května 1957.

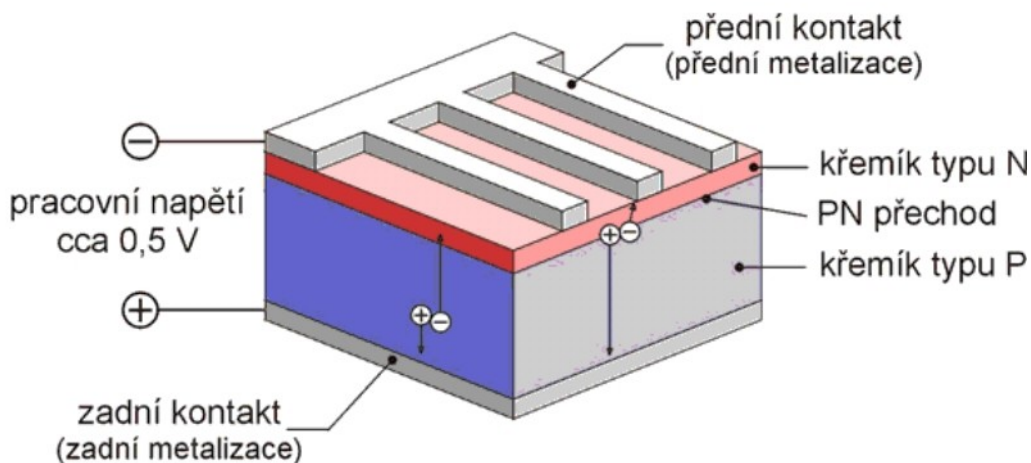
Fotovoltaické články mají za sebou kolem 50-ti let vývoje. Ten můžeme rozdělit do následujících tří kategorií:

- první generace – fotovoltaické články využívající křemíkové desky. V současné době se jedná o jedny z nejpoužívanějších článků i přesto, že jejich výrobní náklady jsou vysoké díky ceně krystalického křemíku. Jejich účinnost se pohybuje kolem 18%.
- druhá generace – hlavní příčina rozvoje druhé generace fotovoltaických článků je úspora křemíku, který je základním prvkem. Touto úsporou se podařilo získat 100 krát až 1000 krát tenčí absorpční vrstvu. Oproti článkům první generace došlo ke snížení výrobních nákladů, ale i ke snížení účinnosti pod 10%.
- třetí generace – snaží se o maximální napěťový i proudový zisk. Nevyužívá křemík. Komerční využití není rozsáhlé.[7]

3.2 Princip činnosti solárního článku

Fotovoltaický (solární) článek je polovodičová součástka, která je schopná přeměnit světlo na elektrickou energii. Jedná se o přímou přeměnu energie světelné na elektrickou. V podstatě se jedná o velkoplošnou diodu, která má alespoň jeden PN přechod. Elektrické pole vysoké intenzity je v přechodové vrstvě P-N, která vzniká na rozhraní polovodiče typu P a polovodiče typu N. Elektrický proud P-N přechodu je propouštěn pouze jedním směrem.

Křemíková destička, která tvoří solární článek má tloušťku 0,3 až 0,5mm. Na horní straně, která je nakloněna ke Slunci je záporný náboj a na spodní je kladný. To je způsobeno přísadami, kterými je křemík obohacen. Dopadající sluneční záření způsobí generování elektricky nabitých částic. Vnější obvod mezi přední a zadní stranou článku, tzn. kladným a záporným kontaktem, protéká stejnosměrný elektrický proud. Velikost proudu je pak přímo úměrná velikosti plochy solárního článku a intenzitě dopadajícího slunečního záření. Napětí článku je přibližně 0,5V. Hodnota tohoto napětí je příliš nízká pro další využití. Sériovým zapojením článků dosáhneme hodnot napětí, které můžeme používat.[7]



Obr. 5 Fotovoltaický panel [7]

3.3 Sluneční záření

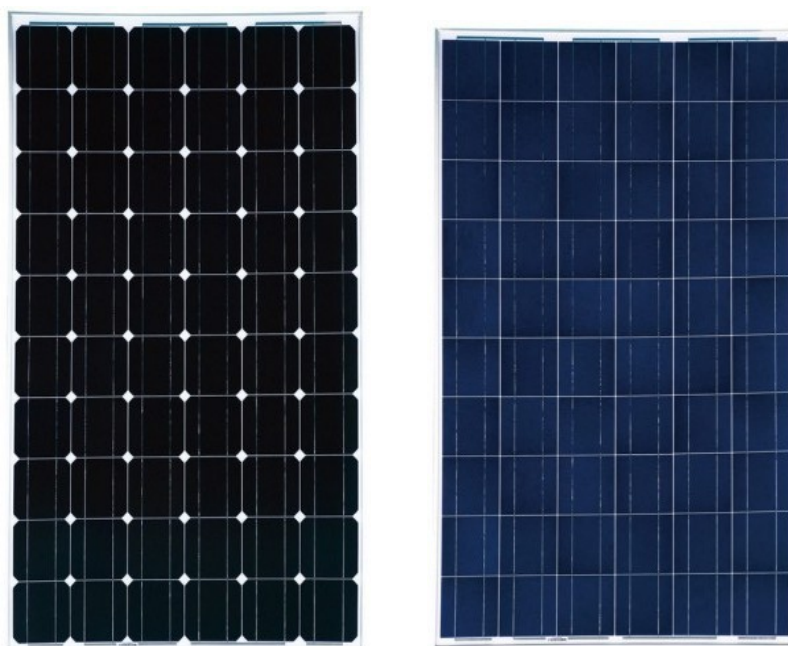
Základním úkolem solárního článku je pohltit co nejširší sluneční spektrum. Je-li energie fotonu dopadajícího na solární článek menší než 1,1 eV (elektronvolt), není foton absorbován. Pokud je větší než 1,1 eV je absorbován a dojde ke vzniku volného nosiče náboje. [7]

3.4 Fotovoltaický (solární) panel

Sériovým nebo paralelním zapojením solárních článků získáme solární panel. Aby bylo možné dále panel používat, musí být zajištěna mechanická odolnost a odolnost vůči klimatickým vlivům např. krupobití, mráz a silný vítr. Jako krycí materiál se používá speciální vysoce propustné tvrzené sklo odolné i vůči silnému krupobití. Fotovoltaický panel je uložen v rámové konstrukci, díky které lze panely snadno uchytit na požadované místo. Jako materiál rámu se většinou používá hliník nebo dural, a to z důvodu nízké hmotnosti těchto materiálů. Jednotlivé rámy lze mezi sebou jednoduše propojovat.

Fotovoltaické panely se rozdělují podle typu solárních článků, a to na:

- monokrystalické – mají účinnost mezi 13% a 17% při běžné velikosti panelů. Monokrystalické články mají vyšší účinnost při kolmo dopadajícím světle, než při rozptýleném tzv. difúzním světle. Proto je tento typ vhodné používat pro instalace natáčející se za Sluncem.
- polykrystalické – účinnost mezi 12% a 15% u běžných velikostí panelů. Výhodou je, že jsou tyto články schopné zachytit lépe rozptýlené světlo oproti monokrystalickým článkům. Výhodné je používat tyto panely pro nepohyblivé instalace.



Obr. 6 Mono-krystalický (vlevo) a polykrystalický panel [13]

3.4.1 Porovnání vybraných fotovoltaických panelů

Při výběru typu fotovoltaických panelů vybíráme mono krystalické panely, které jsou pro návrh polohovacího systému vhodnější. Dalším důležitým parametrem při výběru je jeho jmenovitý výkon Wp (Watt-peak), který udává jeho maximální výkon při standardních testovacích podmínkách. Další elektrické hodnoty v tabulce jsou naměřeny při standardních testovacích podmínkách (STC – Standart test Conditions), na kterých se shodli vědci i výrobci. Standardními podmínkami jsou:

- kolmo dopadající energie na fotovoltaický panel mající hodnotu 1000W/m^2
- teplota článku 25°C
- $\text{AM} = 1,5$ (AM - Air Mass; průzračnost atmosféry)

Záruční doba na všechny níže uvedené panely je garantovaná stejně, a to pět let záruka na produkt, deset let na devadesátiprocentní výkonnost a dvacet pět let na osmdesátiprocentní.[13][15]

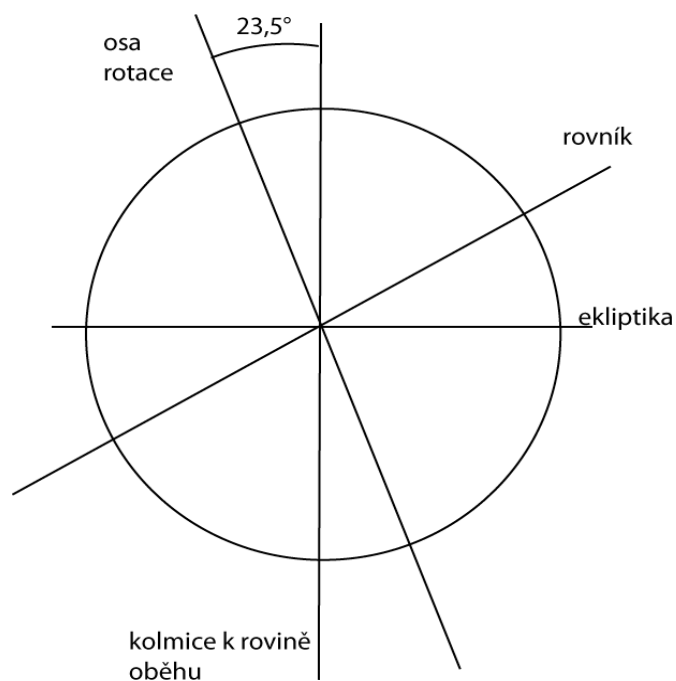
Důležitý faktor, který je zapotřebí zohlednit při výběru fotovoltaického panelu je jeho účinnost. V současné době je celá řada výrobců solární techniky. Díky tomu můžeme vybírat z velkého množství fotovoltaických panelů a porovnáním parametrů jednotlivých typů zvolit vhodný pro konkrétní použití.

Výrobce	IBC MonoSol	PHONO SOLAR	LINTECH SOLAR
Typ	235ET	PS230M-20/U	LS200
Počet článků	6x10	6x10	6x10
Rozměr (VxŠxH)	1680x990x5	1460x992x35	1650x1010x42
Hmotnost	24kg	19kg	19kg
Jmenovitý výkon	235 Wp	230 Wp	230Wp
Jmenovité napětí	29,7V	29,6V	29,11V
Jmenovitý proud	7,92A	7,78A	7,97A
Napětí na prázdko	36,6V	36,32V	37,3V
Proud nakrátko	8,83A	8,42A	8,25A
Účinnost	14,1%	14,14%	13,8%
Orientační cena bez DPH	-	15.300,-Kč	12.650,-Kč

Tab. 1 Porovnání parametrů fotovoltaických panelů jednotlivých výrobců [13][14][15]

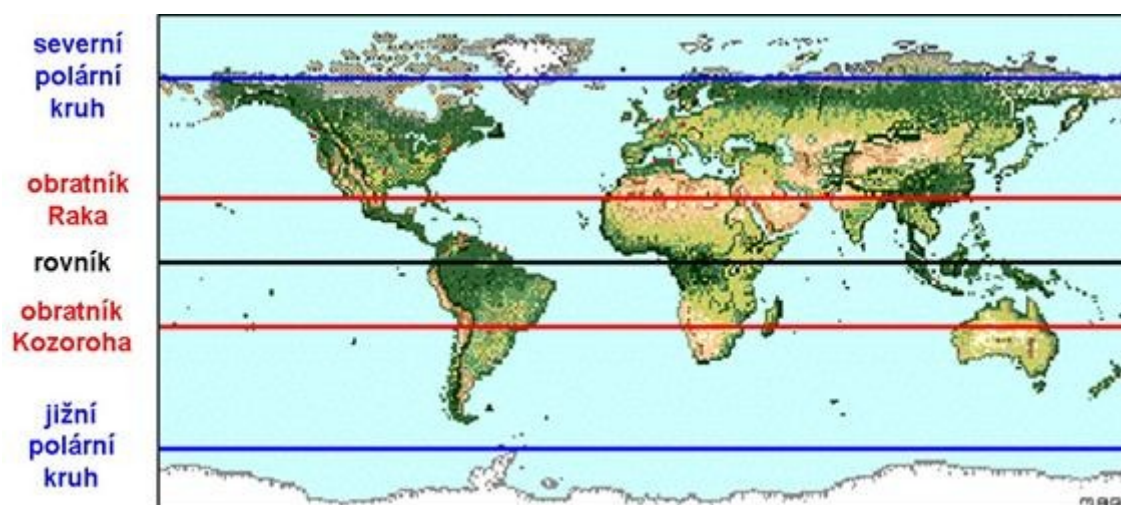
3.5 Pohyb Slunce po obloze

V rámci fotovoltaiky si můžeme dovolit uvažovat pouze dva hlavní pohyby Země a to její rotaci kolem vlastní osy a obíhání kolem Slunce. Jedno otočení trvá dvacet čtyři hodin. Skutečná doba otočení je však o čtyři minuty kratší. To je způsobeno rotací Země kolem Slunce, kdy se Země posune o jednu třistapěšedesátinu dne, která je rovna čtyřem minutám.



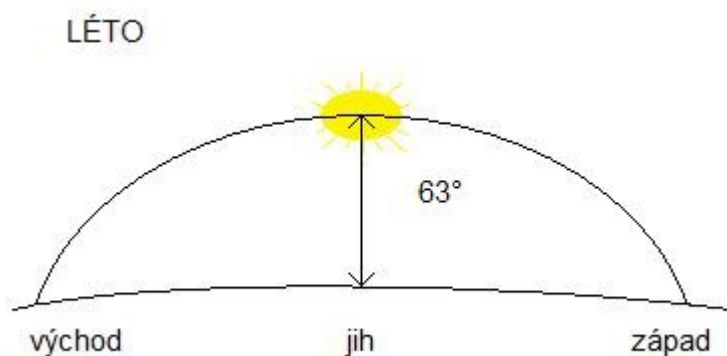
Obr. 7 Sklon zemské osy (ekliptika = rovina oběhu kolem Slunce)

Země obíhá Slunce a přitom rotuje kolem své vlastní osy. Zemská rotační osa není vůči oběžné dráze kolmá, ale má sklon 23,5°.



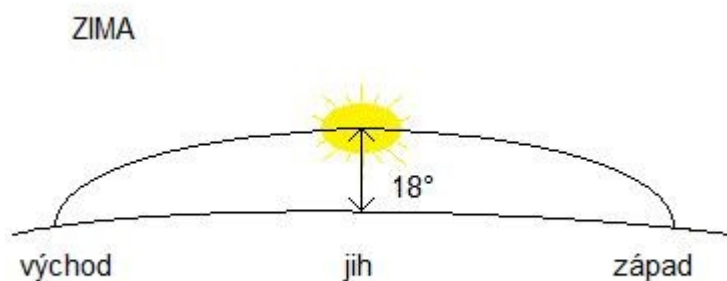
Obr. 8 Významné rovnoběžky [10]

Je-li na severní polokouli léto, pohybuje se Slunce nad obratníkem Raka, který se nachází dvacet tři stupňů severně od rovníku. V tomto období se Slunce u nás dostane nejvýše na oblohu, a to šedesát tři stupňů nad horizont. Jedná se o období kolem letního slunovratu, tzn. 21. června.



Obr. 9 Pohyb Slunce po obloze v létě

V zimě je odklon od Slunce největší v období zimního slunovratu, tzn. kolem 21. prosince. V této době se Slunce pohybuje nad obratníkem Kozoroha, který je dvacet tři stupňů na jih od rovníku. Slunce se dostane nad obzor pouhých osmnáct stupňů.



Obr. 10 Pohyb Slunce po obloze v zimě

V našich podmínkách, tedy padesátý stupeň severní šířky, se Slunce pohybuje po obloze mezi osmnácti a šedesáti třemi stupni.

Pro řízení pohybu fotovoltaického panelu potřebujeme znát výšku Slunce nad obzorem a azimut, abychom mohli vypočítat, pod jakým úhlem panel nastavit. Výšku Slunce nad obzorem, neboli elevaci h (1), vypočítáme podle vzorce :

$$h = \arcsin(\sin \delta * \sin \varphi + \cos \delta * \cos \varphi \cos \tau) \quad (1)$$

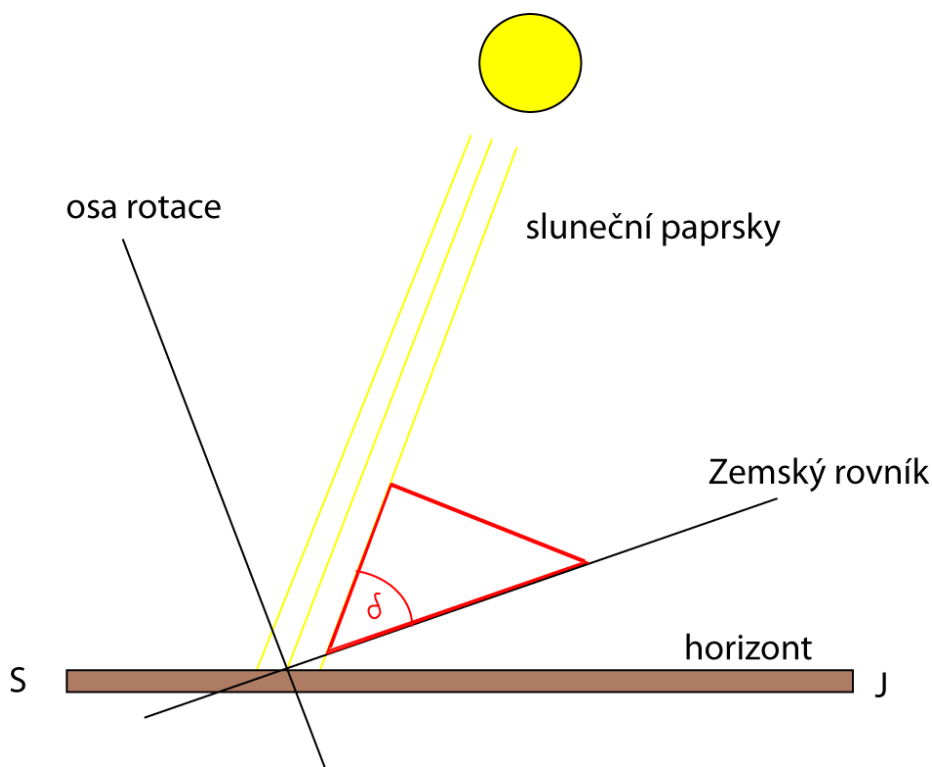
Kde δ je deklinace Slunce, φ zeměpisná šířka místa instalace, v našem případě 50° pro ČR, τ časový úhel.

Sluneční časový (hodinový) úhel τ s počátkem ve 12h. Je to úhel zdánlivého posunu Slunce nad poledníky vlivem rotace Země. Posun Slunce je patnáct stupňů za hodinu, protože se Slunce otočí jednou za dvacet čtyři hodin kolem své osy (360°). V dopoledních hodinách má zápornou hodnotu, v odpoledních kladnou, $1h = 15^\circ$, $11h = -15^\circ$.

Deklinace Slunce δ (2) je úhel mezi zemským rovníkem a slunečním paprskem směřujícím ke středu Země v den D ve 12 hodin, viz. Obr. 11

$$\delta = 23,45^\circ * \sin(0,98^\circ * D + 29,7^\circ * M - 109^\circ) \quad (2)$$

kde D je den v měsíci, M je číslo měsíce v roce.



Obr. 11 Deklinace Slunce

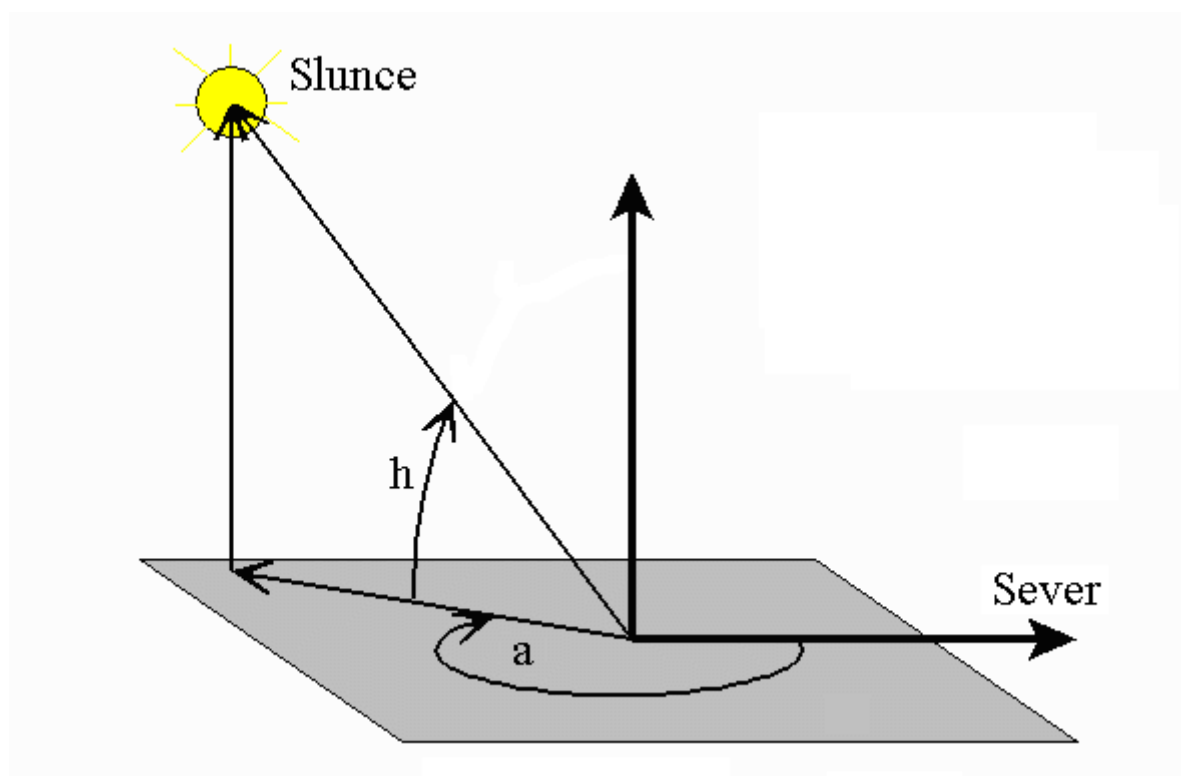
Dále je nutné, pro výpočet elevace (výšky nad obzorem) Slunce, znát φ , zeměpisnou šířku místa, kde bude zařízení instalováno. Zeměpisná šířka má hodnoty od 0° do $\pm 90^\circ$. Jedná se o úhel sevřený mezi rovinou zemského rovníku a místem, ze kterého se díváme na Slunce. Na severní polokouli se nazývá severní zeměpisná šířka a nabývá kladných hodnot. Na jižní polokouli hovoříme o jižní zeměpisné šířce, ta má hodnoty ve stejném rozmezí, ale záporné.

V tabulce 2 je vypočtena elevace Slunce ve stupních. Hodnoty, které jsou uzavřeny v závorce a označeny červeně nemají logický význam, protože jsou pod pětistupňovou hranicí nad obzorem. [9]

měsíc	elevace Slunce h [$^\circ$] v hodině t							
	12	11	10	9	8	7	6	5
		13	14	15	16	17	18	19
prosinec	16,55	15,35	11,88	6,44	(-0,57)	(-8,76)	(-17,75)	(-27,22)
leden, listopad	20,00	18,75	15,14	9,50	(2,29)	(-6,07)	15,19	(-24,73)
únor, říjen	28,50	27,11	23,13	17,02	9,34	-0,59	(-8,78)	(-18,41)
březen, září	40,00	38,38	33,83	27,03	18,75	9,58	(0,00)	(-9,58)
duben, srpen	51,50	49,57	44,28	36,74	27,88	18,41	8,78	(-0,59)
květen, červenec	60,00	57,72	51,73	43,56	34,33	24,73	15,19	6,07
červen	63,45	60,98	54,64	46,21	36,85	27,22	17,75	8,76

Tab. 2 Výška Slunce nad horizontem [9]

Azimut definujeme jako horizontální úhel, který svírá směr severu a cílový bod, který je v našem případě Slunce. Nabývá hodnot 0° až 360° a je měřen od severu k východu, to znamená po směru hodinových ručiček. Platí tedy, že azimut severu je 0° , východ 90° , jih 180° , západ 270° .



Obr. 12 Souřadnice Slunce, a =azimut měřený od Severu, h =elevace Slunce
Azimut Slunce vypočteme podle vzorce (3).

$$\sin a = (\sin \tau * \cos \delta) / \cos h \quad (3)$$

Kde τ je časová konstanta, δ deklinace Slunce, h elevace Slunce

Pro názornost jsou v Tab. 3 hodnoty azimutu posunuty o 180° tak, aby azimut jihu odpovídal 0° a severní 180° .

měsíc	azimut Slunce α [°] v hodině t měřený od J							
	5	6	7	8	9	10	11	12
prosinec	-	-	-	-	-40,75	-27,95	-14,25	0,00
leden, listopad	-	-	-	-	-42,35	-29,13	-14,88	0,00
únor, říjen	-	-	-	-59,32	-46,44	-32,19	-16,55	0,00
březen, září	-	-	-78,40	-66,14	-52,55	-37,00	-19,28	0,00
duben, srpen	-	-97,45	-86,00	-73,76	-59,84	-43,19	-23,02	0,00
květen, červenec	-114,11	-103,17	-92,12	-80,23	-66,48	-49,34	-27,09	0,00
červen	-116,29	-105,58	-94,77	-83,14	-69,61	-52,43	-29,30	0,00
měsíc	azimut Slunce a v hodině t [°] měřený od J							
	13	14	15	16	17	18	19	20
prosinec	14,25	27,95	40,75	-	-	-	-	-
leden, listopad	14,88	29,13	42,35	-	-	-	-	-
únor, říjen	16,55	32,19	46,44	59,32	-	-	-	-
březen, září	19,28	37,00	52,55	66,14	78,40	-	-	-
duben, srpen	23,02	43,19	59,84	73,76	86,00	97,45	-	-
květen, červenec	27,09	49,34	66,48	80,23	92,12	103,17	114,11	-
červen	29,30	52,43	69,61	83,14	94,77	105,58	116,29	-

Tab. 3 Azimut Slunce [9]

4 PROGRAMOVATELNÝ AUTOMAT SIMATIC S7-224XP

PLC SIMATIC S7-224XP patří do série S7-200. Tato série je řada malých programovatelných automatů (mikro - PLC), které jsou určeny k řízení v různých automatizačních aplikacích. Programovatelný automat řídí výstupy podle uživatelského programu na základě sledování vstupních hodnot. Uživatelský program může obsahovat Booleovu logiku, čítače, časovače, složité matematické operace s celými i reálnými čísly. Dále může komunikovat s jinými zařízeními. Kompaktní design, flexibilní konfigurace a výkonný instrukční soubor jsou důvody, proč je S7-200 dobrým řešením pro široké použití v automatizaci.[2]

4.1 PLC SIMATIC S7-224XP

PLC SIMATIC S7-224XP má k dispozici dva komunikační porty umožňující připojení k PC, do komunikačních sítí. Má k dispozici PID regulátor s adaptivním algoritmem pro jednoduché nastavení parametrů PID regulátoru. Paměť pro uložení programu je až 16kB. V případech, kde je potřeba použít malý kompaktní PLC s výkonem dostatečným i pro relativně velké aplikace, můžeme sáhnout po jednotce 224XP. [12]



Obr. 13 PLC S7-224XP [2]

Výhody zvoleného automatu:

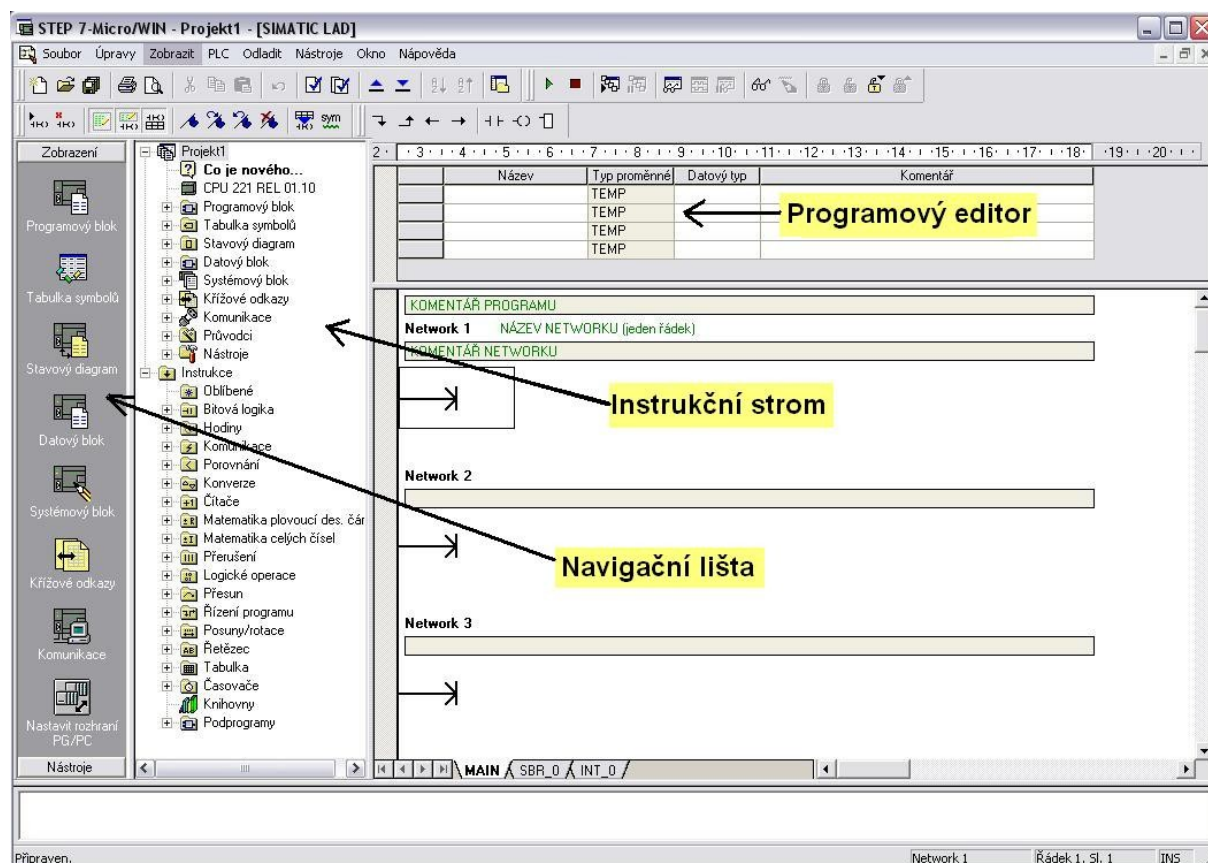
- malý a kompaktní design
- výkonná instrukční sada stejná pro všechny modely CPU
- systém časových přerušení i přerušení události
- rozšíření vstupů a výstupů
- vysokorychlostní čítače a pulzní vstupy

Technické parametry SIMATIC S7-224XP:

- integrované digitální vstupy/výstupy: 14/10
- maximální počet vstupů/výstupů: 94/82
- integrované analogové vstupy/výstupy: 2/1
- paměť pro program: 16KB/12KB (režim RUN)
- paměť pro data: 10KB
- vysokorychlostní čítač: celkem 6 čítačů z toho 2 čítače při 200kHz
- komunikační port RS 485: 2x
- podporované protokoly: PPI master-slave/MPI slave/Freeport

4.2 STEP 7 – Micro/WIN V4.0

STEP7 – Micro/WIN V4.0 je vývojový software, pomocí kterého lze ovládat řídicí systém. Hlavní výhodou je úspora času při programování a usnadnění práce uživatelům. STEP7 – Micro/WIN je vybaven širokou nabídkou online nápovědy, která obsahuje různé typy pro aplikace a další užitečné informace. [2]



Obr. 14 Prostředí STEP 7 – Micro/WIN [2]

STEP 7 Micro/WIN obsahuje tři editory pro vytvoření uživatelského programu. Programy mohou být s určitým omezením napsané v kterémkoli z těchto editorů:

- kontaktní schéma (LAD) – program je zobrazen v grafické formě. Možnost simulovat tok elektrického proudu přes logické vstupní podmínky, které aktivují výstupní logické podmínky. Program obsahuje levou napájecí lištu, která je pod napětím. Pro zobrazení programu lze použít STL editor. LAD je snadno použitelný pro programátory začátečníky.
- výpis příkazů (STL) – řídicí program se vytváří vkládáním textových instrukcí. Pomocí tohoto editoru lze vytvořit programy, které nelze vytvořit LAD a FDB editory. STL je vhodnější pro zkušenější programátory.
- funkční bloky (FDB) – program je zobrazen v grafické formě. Nepoužívá napájecí lišty. Vstup a výstup signálového toku lze přímo přiřadit operandu. Pro zobrazení programu lze využít STL editor. [2]

5 NÁVRH ELEKTROMECHANICKÉ ČÁSTI OVLÁDÁNÍ

Při návrhu elektromechanické části ovládání polohy fotovoltaických panelů můžeme vybírat z celé řady možností pohonných jednotek. Výběr máme z lineárních, asynchronních, synchronních, krokových motorů.

V návrhu pro elektromechanické ovládání budeme pracovat s krokovým motorem. Třífázový krokový motor, díky svým dynamickým a statickým vlastnostem, používají pro polohovací servopohony a regulační pohony. Mezi jejich výhodu patří, že nepotřebují snímače otáček a snímače polohy ve zpětné vazbě. Výhodou těchto motorů jsou jejich nízké nároky na údržbu, vysoká účinnost, nebo malé rozměry. [16]

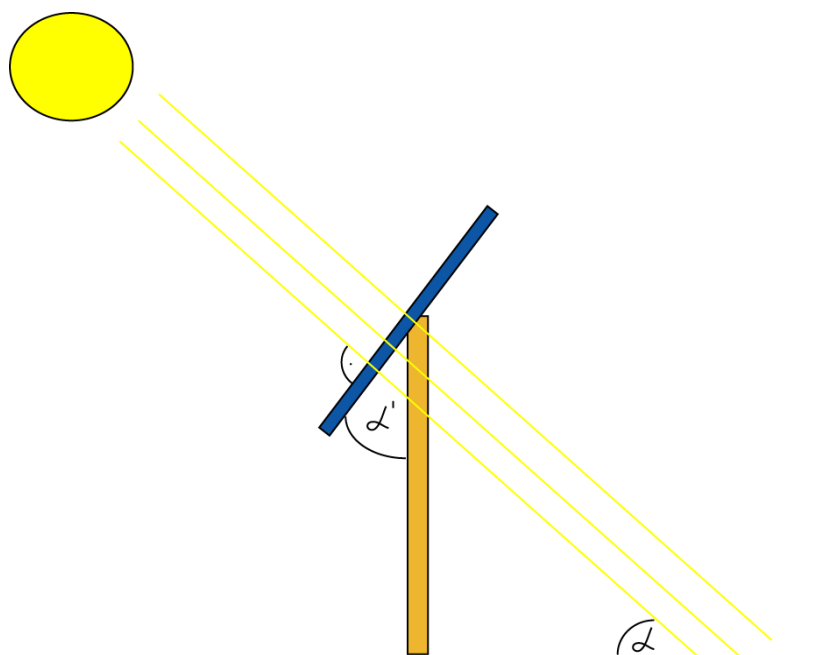
5.1 Úhel elevace

Požadovaný náklon panelu získáme pomocí Tab. 2, ve které je uvedena výška Slunce nad obzorem. Úhel náklonu α' vůči kolmici k zemi (Tab. 4) je roven výšce Slunce nad horizontem v danou hodinu.

měsíc	úhel naklonění panelu α' [°] v hodině t							
	12	11	10	9	8	7	6	5
		13	14	15	16	17	18	19
prosinec	16,55	15,35	11,88	6,44	-0,57	-8,76	-17,75	-27,22
leden, listopad	20,00	18,75	15,14	9,50	2,29	-6,07	-15,19	-24,73
únor, říjen	28,50	27,11	23,13	17,02	9,34	0,59	-8,78	-18,41
březen, září	40,00	38,38	33,83	27,03	18,75	9,58	0,00	-9,58
duben, srpen	51,50	49,57	44,28	36,74	27,88	18,41	8,78	-0,59
květen, červenec	60,00	57,72	51,73	43,56	34,33	24,73	15,19	6,07
červen	63,45	60,98	54,64	46,21	36,85	27,22	17,75	8,76

Tab. 4 Úhel panelu vůči kolmici k zemi

Červeně označené hodnoty v tabulce 4 nemají logický význam, protože Slunce se nachází příliš nízko nad obzorem.



Obr. 15 Úhel naklonění fotovoltaického panelu

5.1.1 Volba motoru pro ovládání úhlu elevace

Abychom mohli vybrat vhodný motor, musíme znát síly, jaké budou na konstrukci působit. V našem případě bude asi nejčastější a nejsilnější působící silou vítr. Sílu, jakou bude vítr působit na plochu panelu spočítáme ze vzorce pro výpočet odporu proudění (4). Pro naši instalaci, kde konstrukce se bude sestávat ze dvou vedle sebe umístěných panelů, je plocha, na kterou bude působit síla větru velká necelé tři metry čtvereční. Součinitel odporu pro rovnou desku má hodnotu 1,12. Hodnota hustoty vzduchu se liší podle teploty vzduchu. Vycházejme tedy z dlouhodobého průměru roční teploty pro ČR, který je 7,5° Celsia. Hustota vzduchu pro tuto teplotu je tedy 1,2585 kg/m³. Rychlost větru zvolíme šestý stupeň z dvanácti, podle Beaufortovi stupnice. Tento stupeň odpovídá rychlosti od 7,3 m/s do 11,9 m/s. Slovně se označuje jako silný vítr. [17][18][19]

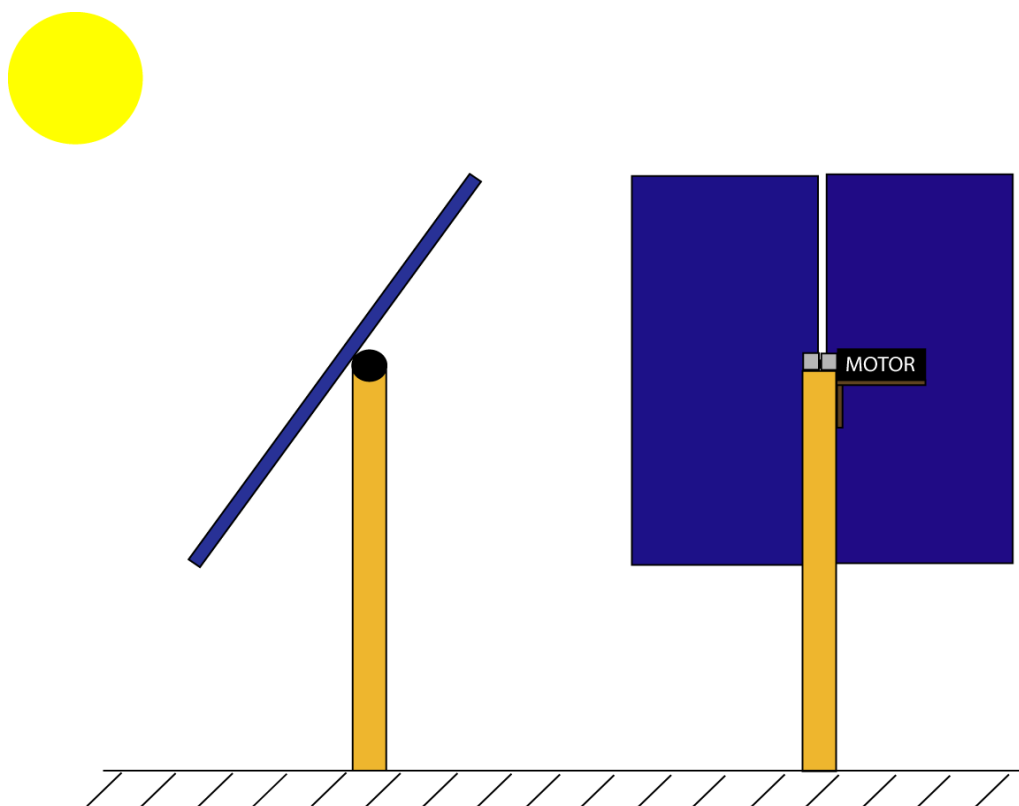
$$F_v = c_v \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S = 1,12 \cdot 1,2585 \cdot 9,6^2 \cdot 3 \approx 390 \text{ N} \quad (4)$$

kde F_v ... je odpor proudění v N
 c_v ... součinitel odporu, bezrozměrné
 ρ ... hustota vzduchu v kg/m³
 v ... rychlost větru v m/s
 S ... plocha panelu v m²

Z výpočtu vyplývá, že na plochu panelů bude působit síla o velikosti 390N při silném větru. Dále vypočítáme statický moment (5).

$$M = F \cdot r = 195 \cdot 0,75 = 146,25 \text{ Nm} \quad (5)$$

kde M ... je statický moment v Nm
 F ... síla působící ve vzdálenosti r v N
 r ... vzdálenost od těžiště v m



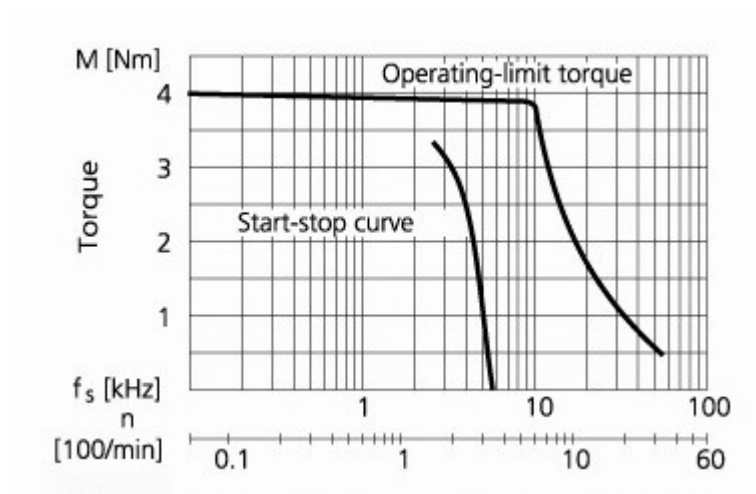
Obr. 16 Návrh polohování úhlu elevace

Umístění motoru pro polohování elevace můžeme vidět na Obr. 16. Motor je umístěn v těžišti plochy fotovoltaických panelů. Ze vzorce (5) plyne, že motor s převodovkou musí mít krouticí moment o velikosti 150Nm. Pro ovládání úhlu elevace v naší aplikaci volíme krokový motor s vhodnou převodovkou.

Typ krokového motoru	Krouticí moment (Nm)	Moment setrvačnosti (kg cm ²)	Hmotnost (kg)	Délka motoru (mm)
BRS3AD	16,50	16,00	11,00	228
YK31317A	23,00	25,00	13,00	168
863S68	6,78	3,30	3,80	127

Tab. 5 Parametry krokových motorů

Pro naši aplikaci zvolíme krokový motor BRS3AD firmy BERGER LAHR positech. Jedná se o třífázový krokový motor obsahující přesné regulátory proudu pro každou fázi v jejich výkonových jednotkách. Řízení tímto způsobem zajišťuje plynulý a stabilní chod motoru v celém rozsahu otáček od nuly. Rozlišení lze na výkonových jednotkách nastavit v rozsahu 200 až 10.000 kroků za otáčku.



Obr. 17 Typická momentová charakteristika třífázového krokového motoru [20]



Obr. 18 3-fázové krokové motory [20]

Krokový motor BRS3AD dosahuje krouticího momentu pouze o velikosti 16,5 Nm. Tato síla je pro pohon soustavy nedostatečná. Musíme tedy k motoru zvolit vhodnou převodovku.

Typové označení převodovky	i	Krouticí moment (Nm)	Moment setrvačnosti (kg cm ²)
PLS - 90	5	110	0,52
PLS - 115	3	150	2,10
PLS – 142	3	400	12,14

Tab. 6 Parametry planetových převodovek

Ke krokovému motoru vybereme planetovou převodovku PLS-115, která nám v kombinaci s motorem zajistí dostatečnou sílu pro natáčení úhlu elevace navrhované soustavy za nepříznivých povětrnostních podmínek.



Obr. 19 Planetová převodovka [20]

Abychom měli jistotu, že po nastavení úhlu panelu nebude docházet k výchylce z požadované polohy, použijeme elektromagnetickou brzdou. Tato brzda musí splňovat podmínky pro silný vítr, to znamená, že musí mít krouticí moment o velikosti 150 Nm. Tyto předpoklady splňuje například elektromagnetická brzda UFB, která má krouticí moment 250 Nm, maximálně 3000 otáček za minutu a váží 6kg. [20][21][22][23]

5.2 Azimut

Z Tab. 3 vyplývá, že azimut se pohybuje maximálně v rozmezí přibližně $\pm 115^\circ$ a to v měsících květen, červen a červenec. Ve skutečnosti nebude potřeba takového rozmezí dosáhnout. Sluneční záření po východu Slunce a před jeho západem prochází přes silnou vrstvu atmosféry a množství vyrobené energie se prakticky v rozmezí více jak šedesáti stupňovém neprojeví. Viz. Obr. 39. Abychom měli jistou rezervu, budeme počítat s osmdesáti procenty doby, po kterou se Slunce pohybuje po obloze v daném měsíci (Tab. 3). V Tab. 7 je uvedeno rozmezí úhlů pro jednotlivé měsíce.

měsíc	rozmezí úhlu [°]
prosinec	± 30
leden, listopad	± 40
únor, říjen	± 50
březen, září	± 65
duben, srpen	± 80
květen, červenec	± 90
červen	± 100

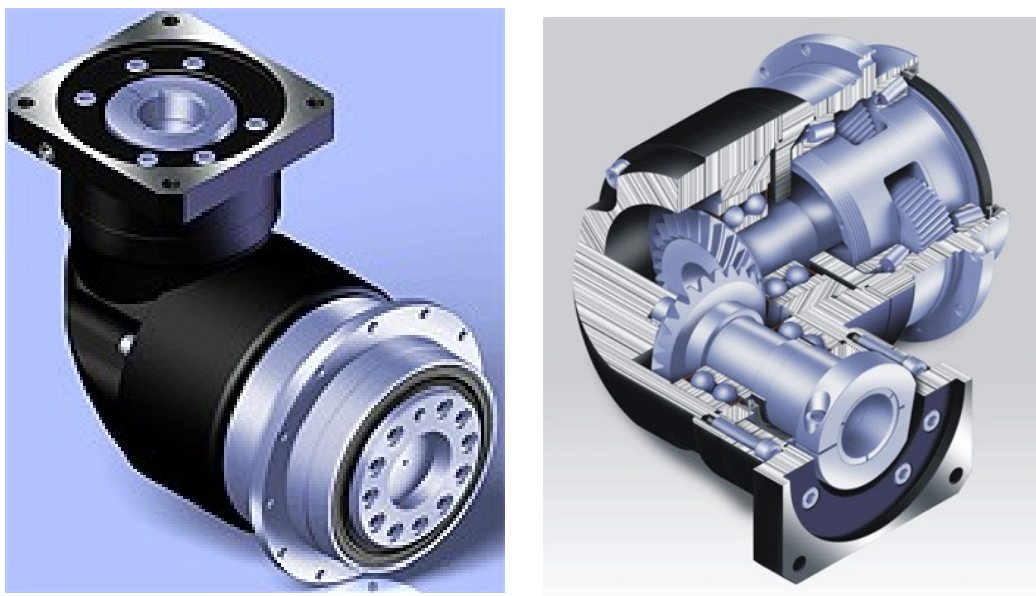
Tab. 7 Rozmezí pro azimut v jednotlivých měsících

5.2.1 Volba motoru pro ovládání azimutu

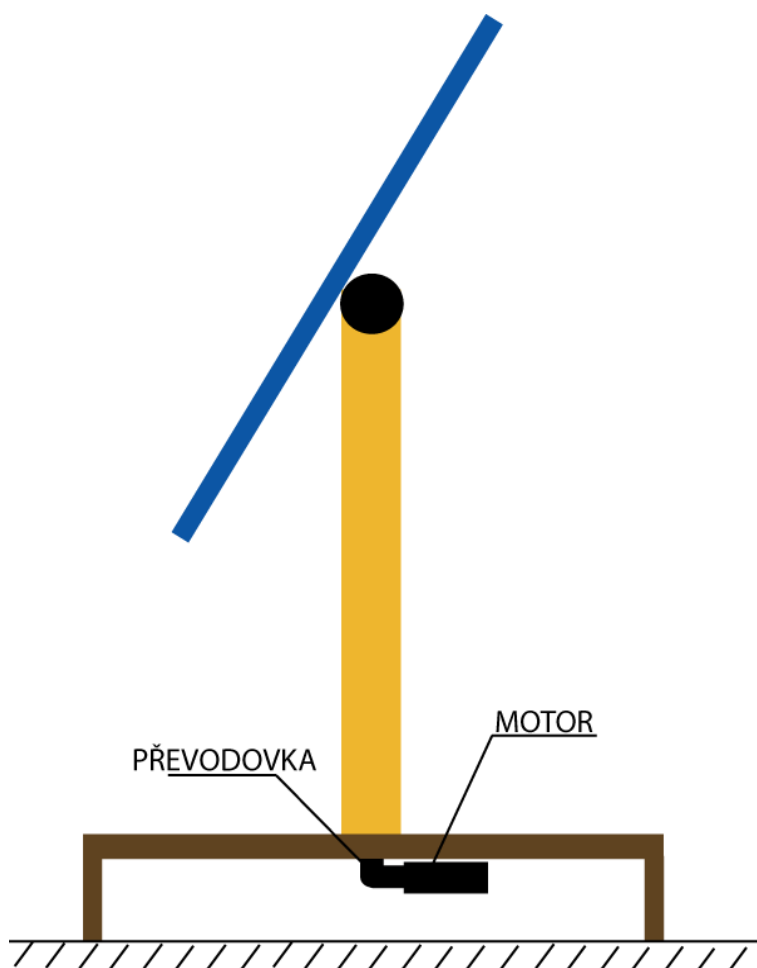
K nastavení azimutu zvolíme třífázový krokový motor NEMA 42 typ M1433021, který má přídržný moment 21 Nm. Úhel kroku pro tento motor je $1,8^\circ$. [24] K dosažení dostatečné síly k natočení celé soustavy, vybavíme motor planetovou převodovkou APEX. Jedná se o jednostupňovou úhlovou převodovku z řady ADR s výstupním momentem o velikosti 14 Nm – 2000Nm. Tato síla je dostačující pro tuto aplikaci. [25]



Obr. 20 Krokový motor [24]



Obr. 21 Úhlová planetová převodovka a její řez [25]



Obr. 22 Návrh umístění motoru pro nastavení azimutu

5.3 Snímač rychlosti větru

Konstrukce polohovacího systému by měla z bezpečnostních důvodů obsahovat snímač rychlosti větru. Ten nám zajistí, aby nedošlo k poškození navrhované konstrukce, nebo újmě na zdraví osob či zvířat, v případě nepříznivých povětrnostních podmínek. Dosáhne-li síla větru rychlosti větší než 9,6 m/s, řídicí mechanismus uvede fotovoltaické panely do horizontální polohy.

Snímač rychlosti větru W1 využívá rotační lopatkový Robinsonův kříž. Optoelektronicky snímané otáčky kříže jsou předány k dalšímu zpracování v digitální formě. [26]



Obr. 23 Snímač rychlosti větru WI [26]

6 KONCEPCE AUTOMATICKÉHO ŘÍZENÍ PANELU

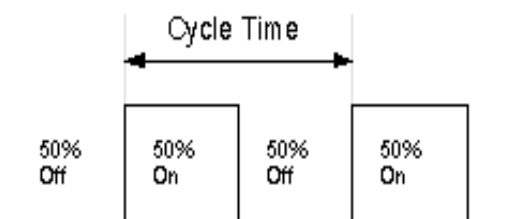
Program pro ovládání krokového motoru k řízení polohy fotovoltaických panelů je realizován ve vývojovém prostředí STEP7 – Micro/WIN V4.0. K naprogramování krokového motoru potřebujeme řídicí jednotku Simatic S7-224XP a výkonový budič FM STEPDRIVE pro ovládání třífázového motoru.

6.1 Řídicí program ovládání krokového motoru

Prvním krokem programu se provede inicializace proměnných. Aktivujeme mód pro zadání referenčního bodu a na vstupech řídicí jednotky zadáme referenční bod v binárním kódu. Ke změně referenčního bodu může dojít pouze v případě, že motor není v pohybu. Pokud máme nastaven referenční bod a není aktivováno žádné přerušení, můžeme přejít k zadávání úhlu. Na vstupech řídicí jednotky zadáme hodnotu úhlu, o který chceme, aby se motor otočil. Než se provede vlastní otočení, uloží se hodnota úhlu v binární podobě do paměti. Poté jsou data z paměti převedena na reálný datový typ a použita k získání počtu pulsů potřebných k otočení motoru o zadaný úhel.

6.1.1 Hlavní program main

Program v prvním cyklu specifikuje parametry pro výstupní pulzy (PTO), rychlost a počet pulzů (kroků). PTO poskytuje čtvercový průběh výstupních vln pro specifický počet pulsů a dobu cyklu viz. Obr. 24. Počet kroků u vybraného krokového motoru zvolíme 200 za otáčku.



Obr. 24 Výstupní pulsy (PTO) [2]

Network 2 Určení šířky impulsu a doby cyklu

```

LD      Prvni_spusteni:SM0.1          // Načtení SM0.1.
R       M0.0, 128                     // Resetuje MD0 – MD12.
S       Umožni_Stepdrive:Q0.2, 1     // Povolení FM STEPDRIVE.
ATCH   Reset:INT0, 19                 // Připojení přerušení události 19 k INT0.
ENI     // Umožnění přerušení.
MOVW   +20000, PLS0_Cycle:SMW68      // Specifikace času cyklu 20000 microsec.
// pro výstupní pulzy.
MOVW   +0, PWM0_PW:SMW70             // Specifikace šířky pulzu pro 0.
MOVD   +429496700, PTO_PC:SMD72      // Přechtení 429496700 pulzů.
MOVR   200.0, Pulsy_motoru:VD40      // Přesun pulzů za otáčku do VD40.

```

Název	Adresa	Komentář
PLS0_Cycle	SMW68	Hodnota doby cyklu pulsů nebo pulzní šířkové modulace výstup 0. SMB68 ...
Prvni_spusteni	SM0.1	Pouze při prvním spuštění.
PTO_PC	SMD72	Počet hodnot pulsů na výstupu 0. SMB72 nejvýznamější byte.
Pulsy_motoru	VD40	Konstanta - pulsy/otáčka (Hw/ specifikace).
PWM0_PW	SMW70	Hodnota šířky impulsu pulzní šířkové modulace výstup 0. SMB70 je MSB.
Reset	INT0	
Umožni_Stepdrive	Q0.2	Umožňuje FM STEPDRIVE.

Obr. 25 Určení doby cyklu a šířky impulsu

Vstup I1.3 určuje směr otáčení motoru. Pokud je na tento vstup přivedena logická 1, motor se otáčí v protisměru hodinových ručiček. Když má hodnotu 0, otáčí se po směru.

Network 3 Nastavení směru otáčení

```
LDN   Pohon_ON:M0.1           // M0.1 jako normálně uzavřený kontakt.
LPS
A      Směr_otáčení:I1.3       // Není-li M0.1 nastaven
S      Signalizace_smeru:Q0.1, 1 // a výstup I1.3 je,
                                     // nastaví se výstup Q0.1

LPP
AN     Směr_otáčení:I1.3
R      Signalizace_smeru:Q0.1, 1
```

Název	Adresa	Komentář
Pohon_ON	M0.1	M0.1 je nastaven, motor je zapnut.
Signalizace_smeru	Q0.1	Signalizace rotace. 0=protisměru, 1=posměru hod. ručiček.
Směr_otáčení	I1.3	I1.5 = 1 --> rotace protisměru hod. I1.5 = 0 --> rotace posměru hod.

Obr. 26 Směr otáčení

Program je vybaven tlačítkem pro vypnutí motoru v případě potřeby. Je-li stisknuto tlačítko pro zastavení, dochází k blokování motoru nastavením paměťového bitu M0.2.

Network 4 Stopka

Stiskem tlačítka I1.1 (STOP) zastavíme okamžitě motor.
Paměť M0.2 je nastavena a blokuje pohyb motoru.

```
LD     Motor_STOP:I1.1         // Načte vstup I1.1.
S      Zastavit:M0.2, 1        // Pokud je nastaven, nastaví bit M0.2
```

Název	Adresa	Komentář
Motor_STOP	I1.1	Tlačítko STOP stisknuto.
Zastavit	M0.2	Po stisku STOP je M0.2 nastaven a zastaví motor.

Obr. 27 Zablkování motoru

Aby mohlo dojít k znovu spuštění motoru, musí být provedeno resetování tlačítka stop.

Network 5 Restart STOP

Po uvolnění tlačítka STOP se resetuje Stopka.

```
LDN   Motor_STOP:I1.1         // Načte vstu I1.1, normálně sepnuty kontakt.
R      Zastavit:M0.2, 1        // Pokud vstup I1.1 není nastaven
                                     // avstup I1.0 také není,
                                     // resetuje bit M0.2.
```

Název	Adresa	Komentář
Motor_STOP	I1.1	Tlačítko STOP stisknuto.
Zastavit	M0.2	Po stisku STOP je M0.2 nastaven a zastaví motor.

Obr. 28 Resetování tlačítka stop

Pokud je referenční bod nastaven a motor se neotáčí, program zavolá SBR2 pro získání počtu korek. Nejprve přesune hodnotu ze vstupu IB0 do paměťového byte MB11, který převede na integer. Potom dochází k zavolání SBR2, kde je proveden výpočet.

Network 8 Výpočet počtu kroků

```

LD      Reference:M0.3           // Načte M0.3.
AN      Pohon_ON:M0.1           // Je-li nastaven
MOV     IB0, MB11                // a M0.1 není,
                                   // přesune hodnotu ref. uhlu vstupu IB0
                                   // do paměťového bytu MB11.
BTI     MB11, Ref_uhel:VW20      // Převed byte na integer.
CALL    Vypocet:SBR2, Ref_uhel:VW20, Pulsy_motoru:VD40, PTO0_PC:SMD72 // Volání SBR2

```

Název	Adresa	Komentář
Pohon_ON	M0.1	M0.1 je nastaven, motor je zapnut.
PTO0_PC	SMD72	Počet hodnot pulsů na výstupu 0. SMB72 nejvýznamější byte.
Pulsy_motoru	VD40	Konstanta - pulsy/otacka (HW specifikace).
Ref_uhel	VW20	Referenční úhel v binárním formátu převeden na word
Reference	M0.3	Bit je nastaven, když je nastaven referenční bod.
Vypocet	SBR2	

Obr. 29 Volání funkce pro výpočet kroků

V tomto networku probíhá inicializace výstupních pulsů speciální paměti SMB67. Načtením vstupu I1.0 se kontroluje, jestli je motor spuštěn. Reaguje na pozitivní hranu vstupu a pokud se motor neotáčí a hodnota pulsů výstupního pulsu 0 je větší nebo rovno jedné přesune hexadecimální hodnotu 85 (určuje hodnotu kroku v mikrosekundách) do paměti SMB67.

Network 7 Nastavení PwM/PTO kontrola výstupu Q0.0 a spuštění motoru

```

LD      Motor_START:I1.0        // Načte vstup I1.0.
EU      // Reaguje na pozitivní hranu na I1.0
AN      Zastavit:M0.2           // M0.2 nenastaven,
AN      Pohon_ON:M0.1           // M0.1 nenastaven,
AD>=    PTO0_PC:SMD72, +1       // počet kroků >= 1,
MOV     16#85, PLS0_Ctrl:SMB67 // načte kontrolní bity pro pulzní výstup.
PLS     0                       // Povolí impuls na výstupu.
S       Pohon_ON:M0.1, 1        // Nastaví M0.1.

```

Název	Adresa	Komentář
Motor_START	I1.0	START tlačítko zapnuto.
PLS0_Ctrl	SMB67	Kontrola výstupních pulsů pulsní šířkové modulace pro Q0.0.
Pohon_ON	M0.1	M0.1 je nastaven, motor je zapnut.
PTO0_PC	SMD72	Počet hodnot pulsů na výstupu 0. SMB72 nejvýznamější byte.
Zastavit	M0.2	Po stisku STOP je M0.2 nastaven a zastaví motor.

Obr. 30 Spuštění motoru a nastavení kontroly výstupu

Hlavní program obsahuje funkci pro okamžité zastavení motoru, aby v případě poruchy nedošlo ke zranění osob nebo nebyla způsobena škoda na majetku. Na Chyba: zdroj odkazu nenalezen je ukázka možnosti zastavení otáčení motoru. Pokud přivedena pozitivní hrana na vstup I1.1 a motor se otáčí, zavolá se SBR0, zastavení otáčení.

Network 9 Zastavení pohonu a volání SBR0

```

LD      Motor_STOP:I1.1         // Načte vstup I1.1
EU      // Reaguje na pozitivní vstupní hranu na vstupu I1.1
A       Pohon_ON:M0.1           // a pokud je nastaven M0.1,
CALL    Stop_pohon:SBR0         // zavolá SBR0.

```

Název	Adresa	Komentář
Motor_STOP	I1.1	Tlačítko STOP stisknuto.
Pohon_ON	M0.1	M0.1 je nastaven, motor je zapnut.
Stop_pohon	SBR0	

Obr. 31 Zastavení otáčení

6.1.2 Zastavení otáčení (SBR0)

Network v SBR0 umožňuje zastavit motor a nastavit pulzní šířkovou modulaci nebo výstupní pulsy. Změna se provede přivedením hexadecimální hodnoty D3 (nastavení kroku v mikrosekundách) do speciální paměti SMB67. Umožní nám aktualizaci času cyklu a šířku impulsu.

Network 2 Zastaví otáčení a nastaví PWM/PTO kontrolu výstupu Q0.0

```
LD      Vzdy_zapnut:SM0.0          // Načte SM0.0.
MOVB    16#D3, PLS0_Ctrl:SMB67    // Načte kontrolní bit PWM na vystup Q0.0
PLS      0                          // Povolí pulsy na Q0.0.
R        Pohon_ON:M0.1, 1          // Resetuje bit M0.1.
```

Název	Adresa	Komentář
PLS0_Ctrl	SMB67	Kontrola výstupních pulsů pulsní šířkové modulace pro Q0.0.
Pohon_ON	M0.1	M0.1 je nastaven, motor je zapnut.
Vzdy_zapnut	SM0.0	Tento bit je stále ON

Obr. 32 Zastavení otáčení motoru

6.1.2 Nastavení referenčního bodu (SBR1)

Než se provede nastavení referenčního bodu, zavolá se SBR0 pro zastavení motoru. Hledání nového referenčního bodu se provede, že se zjistí, jestli v paměti není uložen starý. Pokud ano, dojde k jeho vymazání a nastaví konstantu do speciální paměti SMD72. Poté se vrátí do hlavního programu.

Network 2 Hledání reference

```
LD      Reference:M0.3              // Načte bit M0.3.
R        Reference:M0.3, 1          // Pokud je bit M0.3 nastaven, zresetuje ho.
MOVD     +2147483647, PTO0_PC:SMD72 // vložení konstanty 4294967295 do SMD 72
CRET                                         // Návrat do hlavního programu
```

Název	Adresa	Komentář
PTO0_PC	SMD72	Počet hodnot pulsů na výstupu 0. SMB72 nejvýznamější byte.
Reference	M0.3	Bit je nastaven, když je nastaven referenční bod.

Obr. 33 Hledání reference

Nastavení referenčního bodu se provede načtením bitu M0.3, který je v normálním stavu uzavřený kontakt. Pokud není nastaven, pak se nastaví.

Network 3 Nastaví ref. bod

```
LDN     Reference:M0.3              // Načte bit M0.3
S        Reference:M0.3, 1          // Pokud není nastaven, nastaví ho
```

Název	Adresa	Komentář
Reference	M0.3	Bit je nastaven, když je nastaven referenční bod.

Obr. 34 Nastavení referenčního bodu

6.1.3 Přepoččet úhlu na pulsy (SBR2)

V této části je proveden výpočet pulsů potřebných k otočení motoru o zadaný úhel. Počet pulsů získáme vynásobením zadaného úhlu a počtem kroků za otáčku, který je 200. Tento součin podělíme 360. Výsledkem je počet pulsů za jednu otáčku krokového motoru. Počet pulsů nakonec zaokrouhlíme.

Network 2 Řízení polohování (otevřená smyčka)

```
LD      Vzdy_zapnut:SM0.0          // Načtení SM0.0.
ITD     Ref_uhel:VW20, #Ref_double:LD10 // Převode integer na double integer.
DTR     #Ref_double:LD10, #Ref_real:LD14 // Převod double integer na real.
*R      #Pulsy_motoru:LD2, #Ref_real:LD14 // Nasobí vstupní úhel pulsy/ot.
/R      360.0, #Ref_real:LD14        // Dělení (stupně * pulsy/ot.) 360 stupni/ot.
ROUND   #Ref_real:LD14, #PT00_PC:LD6 // Zaokrouhlení počtu pulsů pro výstup.
```

Název	Adresa	Komentář
Ref_uhel	VW20	Referenční úhel v binárním formátu převeden na word
Vzdy_zapnut	SM0.0	Tento bit je stále ON

Obr. 35 Výpočet řídicích pulsů

6.1.4 Přerušování (INT0)

Po dokončení pulsního řetězce je vykonáno přerušování INT0 a vynulován paměťový bit M0.1 a motor je připraven ke znovu spuštění.

Network 2 Reset

```
LD      Vzdy_zapnut:SM0.0
R       Pohon_ON:M0.1, 1
```

Název	Adresa	Komentář
Pohon_ON	M0.1	M0.1 je nastaven, motor je zapnut.
Vzdy_zapnut	SM0.0	Tento bit je stále ON

Obr. 36 Přerušování INT0

7 POROVNÁNÍ POLOHOVACÍHO A KONVENČNÍHO ŘEŠENÍ

7.1 Teoretické porovnání

Orientačním výpočtem získáme poměr vyrobené energie pomocí natáčecího fotovoltaického systému za Sluncem oproti pevné konstrukci. Množství vyrobené energie W získáme ze vztahu (5)

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P dt = \int_{t_1}^{t_2} I S dt \quad (5)$$

kde P je výkon dopadajícího záření (W),

I intenzita slunečního záření (W/m^2),

S plocha fotovoltaického panelu (m^2).

U výpočtů budeme vycházet z těchto předpokladů:

- průměrná intenzita slunečního záření je $1100 W/m^2$
- přibližná délka dne je $12h = 43\,200s$
- plocha fotovoltaického panelu $1m^2$ kolmá ke Slunci v pravé poledne pro konvenční koncepci. [27]

7.1.1 Konvenční koncepce

U pevné konstrukce, kdy je plocha panelu nakloněna kolmo ke Slunci v pravé poledne se úhel dopadu slunečních paprsků mění v intervalu φ (6).

$$\varphi \in \left\langle -\frac{\pi}{2}; +\frac{\pi}{2} \right\rangle \quad (6)$$

Pro úhlovou rychlost pohybu Slunce po obloze platí (7)

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = \frac{2 \cdot \pi}{T} = \frac{2 \cdot \pi}{24 \cdot 3600} = 7,27 \cdot 10^{-5} s^{-1} \quad (7)$$

Nebudeme-li uvažovat znečištění atmosféry, vypočteme dopadající energii W_P na plochu o velikosti jeden metr čtvereční za jeden den (8)

$$W_P = \int_{-21600}^{+21600} I \cdot S \cdot \cos(\omega t) dt = I \cdot S \cdot \left[\frac{\sin(\omega t)}{\omega} \right]_{-21600}^{+21600} = \frac{2 \cdot I \cdot S}{\omega} = 3,03 \cdot 10^7 W \cdot s = 8,41 kWh \quad (8)$$

Po převodu na kilowatthodiny získáme výsledný zisk energie (10)

$$3,03 \cdot 10^7 Ws \Rightarrow \frac{3,03 \cdot 10^7}{1000 \cdot 60 \cdot 60} = 8,41 kWh \quad (10)$$

Solární panel pevné konstrukce o velikosti plochy jednoho metru čtverečního tedy vyrobí za jeden den 8,41 kWh.

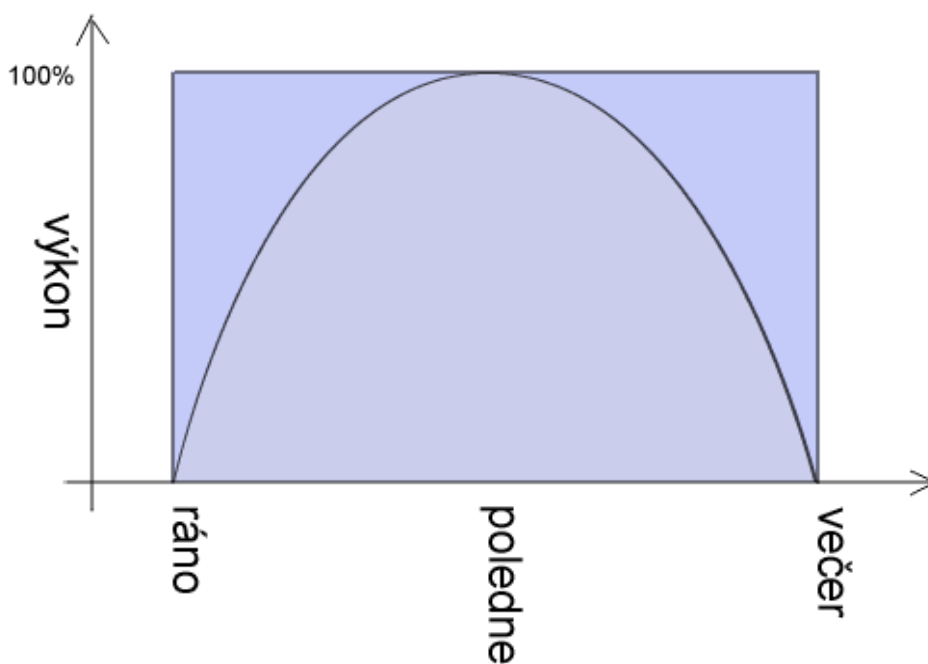


Obr. 37 Výkon konvenční konstrukce [7]

7.1.2 Kolektor pohybující se za Sluncem

Nastavitelný fotovoltaický systém ve dvou osách zajistí, aby byla plocha panelu v průběhu celého dne kolmá ve Slunci. Dopadající energii W_N na tento panel vypočítáme podle vztahu (9), nebudeme-li uvažovat atmosférické vlivy.

$$W_N = P \cdot t = S \cdot I \cdot t = 1100 \cdot 1 \cdot 43200 = 4,75 \cdot 10^7 \text{ Ws} = 13,19 \text{ kWh} \quad (9)$$



Obr. 38 Výkon polohovací konstrukce [7]

7.1.3 Srovnání teoretických zisků energie

Porovnáním výsledků (10) zjistíme, když nebudeme uvažovat vliv atmosféry, že pomocí natáčecího fotovoltaického systému získáme o 57% více energie oproti pevné konstrukci.

$$\frac{W_N}{W_P} = \frac{13,19 \text{ kWh}}{8,41 \text{ kWh}} = 1,57 \quad (10)$$

Ve skutečnosti musíme do výsledku zahrnout i další faktory, které efektivitu natáčecího systému snižují. Například při východu a před západem Slunce je intenzita slunečního záření dopadajícího na plochu panelu mnohem nižší, protože Slunce svítí přes silnější vrstvu atmosféry než v poledne. Dále musíme zahrnout složky difuzního záření. Navýšení energie tedy může být maximálně 40%, v České republice dovoluují podmínky navýšení maximálně o 30%.

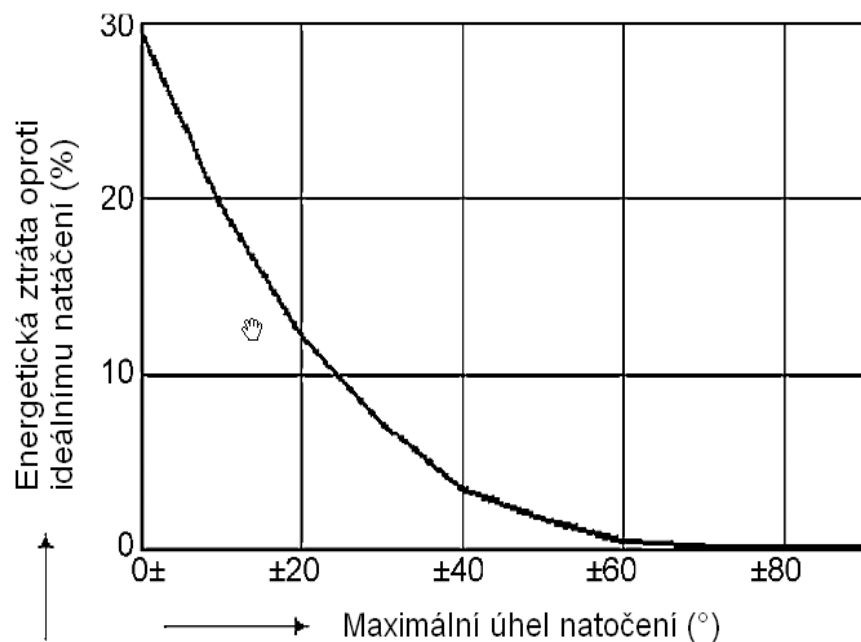
7.2 Reálný výpočet

Při výpočtu reálného zisku energie budeme vycházet z Tab. 8, ve které jsou uvedeny skutečné doby slunečního svitu pro vybraná města v ČR. Další důležitý faktor vyplývá z Obr. 39, kde je vidět, že maximální úhel natočení není potřeba dodržovat striktně v rozmezí $\pm 90^\circ$, ale pohybuje se v rozmezí mezi $\pm 60^\circ$. Důvodem je, že při východu Slunce a před západem svítí Slunce přes silnou vrstvu atmosféry, a proto se množství vyrobené energie prakticky neprojeví. U výpočtů budeme vycházet z těchto předpokladů:

- průměrná intenzita slunečního záření je 1100 W/m^2
- doba skutečného slunečního svitu (viz. Tab. 8)
- plocha fotovoltaického panelu 1 m^2 kolmá ke Slunci v pravé poledne pro konvenční koncepci.

měsíc	Skutečná doba slunečního svitu t_{skut} [h]			
	Praha	České Budějovice	Hradec Králové	Brno
leden	53	46	47	46
únor	90	82	77	88
březen	157	136	149	142
duben	187	164	185	163
květen	247	207	241	232
červen	266	226	249	258
červenec	266	238	252	270
srpen	238	219	233	230
září	190	174	188	179
říjen	117	108	115	116
listopad	53	55	48	56
prosinec	35	36	42	30
Celkem	1 899	1 691	1 826	1 810

Tab. 8 Skutečná doba slunečního svitu [9]



Obr. 39 Ztráta vyrobené energie oproti optimálnímu natočení $\pm 90^\circ$ [27]

7.2.1 Konvenční koncepce

Pro výpočet reálného množství energie vyrobené ze Slunce budeme uvažovat skutečnou dobu slunečního svitu pro město Brno (Tabulka 5). Výpočet provedeme podle vzorce pro výpočet množství vyrobené energie (5). Při výpočtu neuvažujeme vliv atmosféry. Vypočtená energie je pro plochu o velikosti 1m^2 .

Vzorový výpočet (11) je proveden pro měsíc červen. Vyrobená energie je průměrná hodnota za jeden den v daném měsíci. Průměrná doba svitu Slunce pro červenový den je 8 hodin 36 minut (= 30960 sekund).

$$W_p = \int_{-15480}^{+15480} I \cdot S \cdot \cos(\omega t) dt = I \cdot S \cdot \left[\frac{\sin(\omega t)}{\omega} \right]_{-15480}^{+15480} = \frac{1,8 \cdot I \cdot S}{\omega} = 2,72 \cdot 10^7 \text{ W} \cdot \text{s} \quad (11)$$

Po převodu na kilowatthodiny získáme výsledný zisk energie (12)

$$2,72 \cdot 10^7 \text{ Ws} \Rightarrow \frac{2,72 \cdot 10^7}{1000 \cdot 60 \cdot 60} = 7,56 \text{ kWh} \quad (12)$$

Měsíc	Doba slunečního svitu [h]	Vyrobená energie W [kWh]
Leden	46	50,28
Únor	88	94,10
Březen	142	147,01
Duben	163	164,57
Květen	232	216,32
Červen	258	227,58
Červenec	270	236,75
Srpen	230	215,09
Září	179	177,49
Říjen	116	122,57
Listopad	56	60,99
Prosinec	30	32,91
Celkem	1810	1745,66

Tab. 9 Vyrobená energie v daném měsíci pevnou konstrukcí

Konvenční koncepce je schopna za rok vyrobit 1745,66 kWh, při ploše fotovoltaického panelu o velikosti jednoho metru čtverečního.

7.2.2 Kolektor pohybující se za Sluncem

K výpočtu reálného množství vyrobené energie Sluncem použijeme vzorec (9), kde za čas t dosadíme hodnotu skutečného slunečního svitu pro příslušný měsíc z Tab. 8 pro město Brno. Vypočtená hodnota platí pro plochu o velikosti jednoho metru čtverečního. Při výpočtu neuvažujeme vliv atmosféry.

Vzorový výpočet (13) pro měsíc červen:

$$W_N = P \cdot t = S \cdot I \cdot t = 1100 \cdot 1 \cdot 928800 = 102 \cdot 10^7 Ws \quad (13)$$

Po převodu na kilowatthodiny získáme výsledný zisk energie (14)

$$102 \cdot 10^7 Ws \Rightarrow \frac{102 \cdot 10^7}{1000 \cdot 60 \cdot 60} = 283,80 kWh \quad (14)$$

Měsíc	Doba slunečního svitu [h]	Vyrobená energie W [kWh]
Leden	46	50,60
Únor	88	96,80
Březen	142	156,20
Duben	163	179,30
Květen	232	255,20
Červen	258	283,80
Červenec	270	297,00
Srpen	230	253,00
Září	179	196,90
Říjen	116	127,60
Listopad	56	61,60
Prosinec	30	33,00
Celkem	1810	1991,00

Tab. 10 Vyrobená energie v daném měsíci polohovacím systémem

7.2.3. Srovnání reálných zisků energie

Porovnáním hodnot vyrobené energie v každém měsíci pro skutečnou dobu svitu mezi konvenční koncepcí a polohovacím systémem získáme celkový přehled o množství vyrobené energie jednotlivou konstrukcí. Z Tab. 12 je vidět, že největší přínos má natáčecí systém v letních měsících, kdy je nárůst vyrobené energie až o 20 procent vyšší, než u klasické koncepce. Naproti tomu v zimních měsících je vyrobená energie téměř bez rozdílu.

Porovnáním celkového množství vyrobené energie pevnou konstrukcí, viz Tab. 9 a polohovacím systémem, viz Tab. 10 vyplývá, že natáčecí fotovoltaický systém o velikosti jednoty čtverečního metru **vyrobí za rok průměrně o 12,32 % více** energie než pevná konstrukce.

Měsíc	Konvenční koncepce [kWh]	Polohovací systém [kWh]	Porovnání [%]
Leden	50,28	50,60	0,63
Únor	94,10	96,80	2,79
Březen	147,01	156,20	5,88
Duben	164,57	179,30	8,21
Květen	216,32	255,20	15,23
Červen	227,58	283,80	19,81
Červenec	236,75	297,00	20,29
Srpen	215,09	253,00	14,99
Září	177,49	196,90	9,86
Říjen	122,57	127,60	3,95
Listopad	60,99	61,60	0,99
Prosinec	32,91	33,00	0,27

Tab. 12 Srovnání měsíčně vyrobené energie polohovací a konvenční koncepce

8 ZÁVĚR

Využívání sluneční (solární) energie dosahuje v posledních letech velkého rozmachu díky neustálému zlepšování kvality a efektivity zařízení, které se snaží s co nejmenšími ztrátami tuto energii využít. Objevem fotovoltaického jevu a řadou let jeho zkoumání odstartoval pomyslný maraton, pokusit se o dosažení energetické nezávislosti na neobnovitelných zdrojích.

Cílem diplomové práce bylo navrhnout servo mechanické řízení pohybu fotovoltaických panelů, který má zajistit maximálního využití solární energie tak, že bude v průběhu celého dne udržovat plochu panelů kolmo ke Slunci.

V úvodu práce jsem se musel seznámit s problematikou výroby elektřiny pomocí solárních článků. Navzdory mnohaletému vývoji v této oblasti je dodnes nepoužívanější tzv. první generace solárních článků i přes jejich nemalé výrobní náklady způsobené vysokou cenou krystalického křemíku. Spojením těchto solárních článků získáme fotovoltaický panel. Fotovoltaické panely rozdělujeme na monokrystalické a polykrystalické. Pro naše účely je vhodný monokrystalický panel, který má vyšší účinnost při kolmo dopadajícím slunečním záření.

Před samotným návrhem servomechanismu pro řízení polohy fotovoltaických panelů, bylo nutné seznámit se s pohybem Slunce po obloze. K výpočtům hodnot úhlu elevace a azimutu stačí uvažovat pouze dva hlavní pohyby Země, rotaci kolem vlastní osy a obíhání kolem Slunce. Uspořádáním hodnot do tabulek získáme přehled o pohybu Slunce po obloze v průběhu dne pro jednotlivé měsíce.

Návrh konstrukce spočíval ve volbě vhodných motorových jednotek a jejich umístění, které zajistí bezproblémový chod mechanismu při každodenním nasazení. Nejčastější silou působící na plochu panelů je vítr. Motorové jednotky byly voleny tak, aby odolaly silnému větru. Aby nedošlo k poškození konstrukce, je vybavena snímačem rychlosti větrů.

Řízení krokového motoru, který byl zvolen pro nastavení úhlu elevace nebo azimutu provádí řídicí jednotka Simatic S7-224XP a výkonový budič FM STEPDRIVE. Řídicímu programu je nejdříve zadán referenční bod, od kterého probíhá polohování. Program řídicí jednotky zpracovává zadané úhly na vstupech, které přepočítá na potřebný počet kroků, o které otočí pohon. Výsledkem je otočení o požadovaný úhel.

Vzájemným srovnáním konvenční (pevné) instalace fotovoltaických panelů a navrhovaným natáčecím systémem fotovoltaických panelů ve dvou osách (nastavení úhlu elevace a azimutu) zjistíme, že polohováním panelů jsme schopni teoreticky dosáhnout padesáti sedmi procentního energetického zisku. Takového navýšení jsme schopni dosáhnout budeme-li uvažovat průměrnou délku dne dvanáct hodin, přičemž nebudeme uvažovat vliv atmosféry. Reálně lze takového zisku dosáhnout pouze v laboratorních podmínkách. Skutečný zisk energie ze Slunce, kterého jsme schopni v našich zeměpisných podmínkách dosáhnout, je několikanásobně nižší. Vyjdeme-li z hodnot pro skutečnou dobu slunečního svitu pro město Brno, je nárůst oproti pevné konstrukci o více než dvanáct procent vyšší.

Ekonomická otázka rentabilnosti natáčecího fotovoltaického systému závisí na mnoha faktorech. Cenu ovlivňujeme prakticky hned od začátku volbou dodavatele fotovoltaických panelů, cenami použitých mechanických součástí a dalších komponentů důležitých pro správnou funkci instalace. Avšak jedním z rozhodujících faktorů je výkupní cena elektrické energie vyrobené natáčecími fotovoltaickými panely. V roce 2010 se výkupní ceny pohybovaly kolem 12,- Kč/kWh pro instalace s instalovaným výkonem do 30kW. Pro rok 2011, tzn. datum uvedení do provozu od 1.1.2011 do 31.12.2011, jsou ceny 7,50,- Kč/kWh pro zdroj s instalovaným výkonem do 30kW. V porovnání těchto dvou let došlo o snížení téměř o čtyřicet procent. Při takto nízkých výkupních cenách, se prodlužuje doba návratnosti vynaložených investic. Jedinou jistotou v tomto ohledu je, že ceny energií v budoucnu nebudou klesat. Roční nárůst cen se pohybuje mezi dvěma až čtyřmi procenty. Stejně tak se pohybuje nárůst výkupních cen. Díky celosvětové poptávce po energii je fotovoltaika perspektivní způsob pro získávání elektrické energie.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Literatura o alternativních zdrojích energie.
- [2] Firemní dokumentace fy Siemens o programovatelných automatech.
- [3] Švarc, I.; Šeda, M.; Vítečková, M. Automatické řízení. Brno: CERM, 2007. 324 s. ISBN 978-80-214-3491-2.
- [4] Topinfo s.r.o.: Stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1948-slunce-a-jeho-energie>
- [5] Vaněček M., Fyzikální ústav AV ČR [online]. 2010, citace [23.4.2011]. Dostupné z: <http://www.fzu.cz/popularizace/premena-slunecni-energie-v-energii-elektrickou>
- [6] SolarCo s.r.o.: Zajímavosti [online]. 1999, citace [20.5.2011]. Dostupné z: <http://www.solar-co.cz/fotovoltaika-zajimavosti/>
- [7] Czech RE Agency: Česká agentura pro obnovitelné zdroje [online]. 2009, citace [28.4.2011]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika#hist>
- [8] Czech RE Agency: Česká agentura pro obnovitelné zdroje [online]. 2009, citace [28.4.2011]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/biomasa>
- [9] Solární a tepelná technika, J. Cihelka, 208 stran, nakladatelství T. Malina, 1994
- [10] RNDr. Randa Miroslav, Ph.D.: Astronomia [online]. 2011, 15. leden 2010, citace [30.4.2011]. Dostupné z: <http://astronomia.zcu.cz/planety/zeme/1940-stridani-rocnich-obdobi>
- [11] Programovatelný automat S7-200, Systémový manuál, červen 2004, 534 s.
- [12] FCC Public s.r.o.: AUTOMA, časopis pro automatizační techniku [online]. 2010, 2004, citace [30.4.2011]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=32620
- [13] Phono Technologies Switzerland AG: Phono Solar [online]. 2011, citace [26.4.2011]. Dostupné z: <http://www.phonosolar.cz/>
- [14] Lintech: Lintech Solar [online]. 2009, citace [26.4.2011]. Dostupné z: <http://www.lintech-solar.cz/>
- [15] IBC Solar [online]. 2011, citace [26.4.2011]. Dostupné z: <http://www.ibc-solar.cz/>
- [16] Aleš Uher: Ekektrika.cz [online]. 2011, citace [24.5.2011]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/srvp010619>
- [17] Český hydrometeorologický ústav [online]. 2008, citace [20.5.2011]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_4_Uzemni_teploty&nc=1&portal_lang=cs#PP_Uzemni_teploty
- [18] Jiří Bureš: conVERTER [online]. 2009, citace [20.5.2011]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/vzduch.htm#hustota-vzduchu>
- [19] doc. RNDr. Zdeňka Lososová, Ph.D.: Katedra biologie, Pedagogická fakulta, Masarykova univerzita [online]. 2010, citace [20.5.2011]. Dostupné z: <http://is.muni.cz/do/ped/kat/biologie/pokusy/pages/kluzac.html>
- [20] ANTEE s.r.o.: Regulační pohony a jejich komponenty [online]. 2011 citace [23.5.2011]. Dostupné z: <http://www.regulacni-pohony.cz/index.html>
- [21] digDesign.cz: CNC a automatizace [online]. 2010, citace [23.5.2011]. Dostupné z: <http://www.cncshop.cz/863s68-krokovy-3-fazovy-motor-6-8nm>
- [22] Mica: Gravos CNC technologie a obráběcí stroje [online]. 2008, citace [23.5.2011]. Dostupné z: <http://www.gravos.cz/3f-110mm-series.htm>
- [23] Jan Šuster: Elektromotory – převodovky [online]. 2007, citace [24.5.2011]. Dostupné z: <http://www.elektromotory-prevodovky.cz/Elektromagneticke-brzdy-spojky/Elektromagneticke-brzdy-UFB/>
- [24] Raveo: Komponenty pro pohonnou techniku [online]. Citace [24.5.2011]. Dostupné z: <http://www.raveo.cz/krokovy-motory>
- [25] Raveo: Komponenty pro pohonnou techniku [online]. Citace [24.5.2011]. Dostupné z: <http://raveo.cz/apex-ADR>
- [26] C.T.M. Praha: Registrační a měřicí přístroje [online]. 2011, citace [24.5.2011]. Dostupné z: <http://ctmp Praha.cz/rychlost-a-směr-vetru.html>
- [27] Poulek V., Libra M.: New bifacial solar trackers and tracking concentrators; 2007.