



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

MODEL MAJÁKU S FOTOVOLTAICKÝM NAPÁJENÍM

MODEL OF A LIGHTHOUSE WITH PHOTOVOLTAIC POWER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Adam Dvořák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kristýna Jandová, Ph.D.

BRNO 2016



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**

Ústav elektrotechnologie

Student: Adam Dvořák

ID: 158125

Ročník: 3

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Model majáku s fotovoltaickým napájením

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou fotovoltaických modulů a článků. Navrhněte model majáku s funkčním rotačním osvětlením napájeným fotovoltaickým modulem. Vytvořte řídicí jednotku pro požadované funkce zařízení. Navržený model realizujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 21.8.2016

Vedoucí práce: Ing. Kristýna Jandová, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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

Cílem této práce je seznámit se s principem fotovoltaického jevu a fotovoltaických panelů a následně na tyto témata provést teoretický rozbor. V druhé části projektu je úkolem provést teoretický návrh modelu majáku a s použitím informací o fotovoltice získaných v první části. A na závěr navržený model fyzicky zrealizovat. Umístění fotovoltaických panelů vyžaduje správné naplánování orientace a sklonu položení s přihlédnutím k měnícímu se úhlu dopadajícího světla tak aby bylo ve výsledku po celou dobu roku co nejefektivnější.

KLÍČOVÁ SLOVA

Fotovoltaika, solární, obnovitelné zdroje energie, maják, model

ABSTRACT

The aim of this thesis is to acquire and present the knowledge about the principles of the photovoltaic effect and panels and then discuss a theoretical analysis about these two topics. Task of the second part in this project is to design a theoretical model of a lighthouse, using pieces of information about photovoltaics which were acquired from the first part. And in the end physically realize designed model. In order to reach the best possible level of effectivity over the whole year, correct planning of the orientation and angle of placement while taking into consideration the movement of the sun is required before positioning the photovoltaic panels.

KEYWORDS

Photovoltaics, solar, renewable energy sources, lighthouse, model

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DVOŘÁK, A. *Model majáku s fotovoltaickým napájením*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 18 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kristýna Jandová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma „Model majáku s fotovoltaickým napájením“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 17. prosince 2015

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí bakalářské práce Ing. Kristýně Jandové, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování projektu.

V Brně dne 17. prosince 2015

.....

podpis autora

Obsah

1	ÚVOD.....	1
2	TEORIE.....	2
	2.1 Fotovoltaické články.....	2
	2.1.1 Fotovoltaický jev.....	2
	2.1.2 Typy fotovoltaických článků.....	4
	2.1.3 Výroba fotovoltaických článků.....	7
	2.2 Bateriové články.....	12
	2.3 Mikrokontroler.....	15
3	NÁVRH.....	16
	3.1 Konstrukce modelu majáku.....	16
	3.2 Rotační část majáku.....	18
	3.3 Umístění fotovoltaických panelů na modelu majáku.....	18
	3.4 Řídicí jednotka majáku.....	19
4	REALIZACE.....	21
	4.1 Modelování.....	22
	4.1.1 „Hlava“ majáku.....	22
	4.1.2 „Tělo“ majáku.....	23
	4.1.3 Pájení.....	23
	4.1.4 Napájení mikrokontroleru.....	24
	4.1.5 Diody.....	25
	4.1.6 Mikrokontroler.....	26
	4.1.7 Fotosenzor.....	27
	4.1.8 Baterie.....	28
	4.1.9 Fotovoltaické panely.....	29
	4.2 Programování.....	30
	4.2.1 PWM.....	30
	4.2.2 Fotosenzor.....	32
5	ZÁVĚR.....	33
	LITERATURA.....	34
	SEZNAM POUŽITÉ ELEKTRONIKY.....	37
	SOUBORY NA CD.....	37

Seznam obrázků

Obrázek 1: Znázornění Fotovoltaického jevu na řezu Křemíkovým Fotovoltaickým článkem [4].....	2
Obrázek 2: Počet absorbovaných fotonů a relativní hodnota citlivosti křemíkového Fotovoltaického článku v závislosti na vlnové délce dopadajícího světla [3].....	3
Obrázek 3: Skládání fotovoltaických článků do fotovoltaických panelů a následně do modulů [6]..	4
Obrázek 4: Srovnání vzhledu monokrystalického a polykrystalického fotovoltaického článku [20]..	5
Obrázek 5: Ohebný tenkovrstvý fotovoltaický panel [8].....	5
Obrázek 6: Struktura třívrstvého fotovoltaického článku a absorbní oblasti jednotlivých vrstev při ozáření slunečním světlem [12].....	6
Obrázek 7: Graf zobrazující postupný vývoj ve snaze dosáhnout co nejvyšší efektivity různých fotovoltaických technologií [7].....	7
Obrázek 8: Průběh Czochralského metody růstu monokrystalu [14].....	8
Obrázek 9: Princip tvorby polykrystalických ingotů [14].....	9
Obrázek 10: Řezání waferů diamantovým drátem v praxi [15].....	10
Obrázek 11: Struktura křemíkového fotovoltaického článku navrženého pro vysokou efektivitu [17].....	11
Obrázek 12: Řez okrajem fotovoltaického panelu znázorňující zapouzdření fotovoltaických článků [20].....	12
Obrázek 13: Blokové schéma procesorového jádra ATmega1280 [32].....	13
Obrázek 14: Velikost a tvar Li-ion 18650 [33].....	14
Obrázek 15: Okótovaný návrh modelu majáku.....	17
Obrázek 16: Pohyb slunce po obloze v závislosti na ročním období; červená - léto, oranžová - jaro a podzim, žlutá – zima. [24].....	19
Obrázek 17: Blokové schéma návrhu.....	20
Obrázek 18: Horní část modelu s housingem pro diody.....	22
Obrázek 19: Střecha hlavy modelu majáku.....	23
Obrázek 20: Schematické zapojení měniče.....	24
Obrázek 21: Stejnoseměrný měnič 5A XL4015.....	24
Obrázek 22: Zapojení budiče s diodou.....	25
Obrázek 23: Schematické zapojení budiče.....	25
Obrázek 24: Mikrokontroler ATmega1280.....	26
Obrázek 25: Fotorezistorový snímač úrovně osvětlení.....	27
Obrázek 26: Schematické zapojení snímače.....	27
Obrázek 27: Napájecí článek sestavený z 8mi Li-ion 18650 článků.....	28
Obrázek 28: Nabíjecí ochranný obvod s připravenými kontakty.....	28
Obrázek 29: 3 Monokrystalické fotovoltaické panely použité pro napájení modelu.....	29
Obrázek 30: Definiční část programu pro PWM.....	30
Obrázek 31: PWM cyklus pro první tři diody.....	31
Obrázek 32: Spínací podmínka založená na výstupní hodnotě z fotosenzoru.....	32
Obrázek 33: Model majáku.....	33

1 ÚVOD

V dnešní době kdy se lidstvo snaží odprostit od fosilních zdrojů elektrické energie dochází k rozvoji ekologických obnovitelných zdrojů energie jako jsou větrné, vodní a solární elektrárny. Důležitou částí tohoto rozvoje je nejen vývoj nových, výhodnějších a efektivnějších technologií ale také jejich integrace do civilní infrastruktury a přizpůsobení jejich výrobního procesu sériové výrobě. I když to může znamenat přistoupení k určitým kompromisům mezi kvalitou a cenou při výrobě.

Dochází i k modernizaci zdrojů světla, jako například u světlometů použitých v automobilech nebo vlakových soupravách, nebo i v pouličním osvětlení a mnoha dalších. S postupem technologie jsou původní technologie jako vláknové žárovky nahrazeny pokročilejší technologií LED žárovek, které mají vyšší životnost a méně se zahřívají.

V této práci jde o spojení obou těchto skutečností. Jedná se totiž o návrh modelu majáku, který bude k osvětlování používat právě takové vysokosvítivé LED diody. Ale podstatnější část, na kterou je tato práce zaměřená je napájení pomocí fotovoltaičkových článků. Které jsou blíže rozebrány v teoretické části práce včetně principu funkce, možností provedení a výrobního procesu.

V závěru je detailně popsán celý teoretický návrh modelu obsahující jak konstrukční tak elektrickou část, která je doplněna teoretickým blokovým schématem, které bude použito při realizaci modelu.

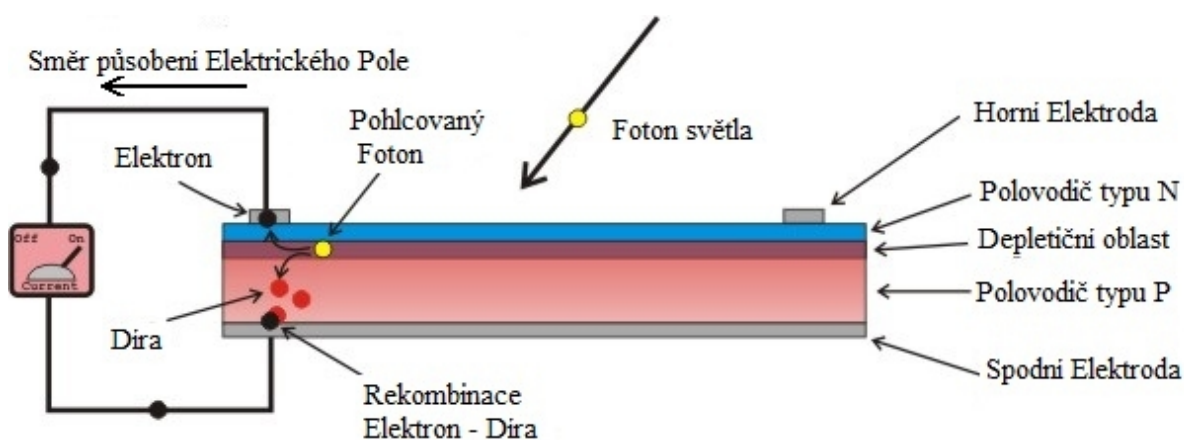
2 TEORIE

2.1 Fotovoltaické články

Následující kapitola vysvětluje princip fungování fotovoltaických článků, takzvaný Fotovoltaický jev. Dále jsou zde probrány různé druhy rozdělení článků a jejich příklady. Na konec je krok po kroku popsán postup výroby nejpoužívanějšího z nich, křemíkového, od základního materiálu až k fotovoltaickému panelu.

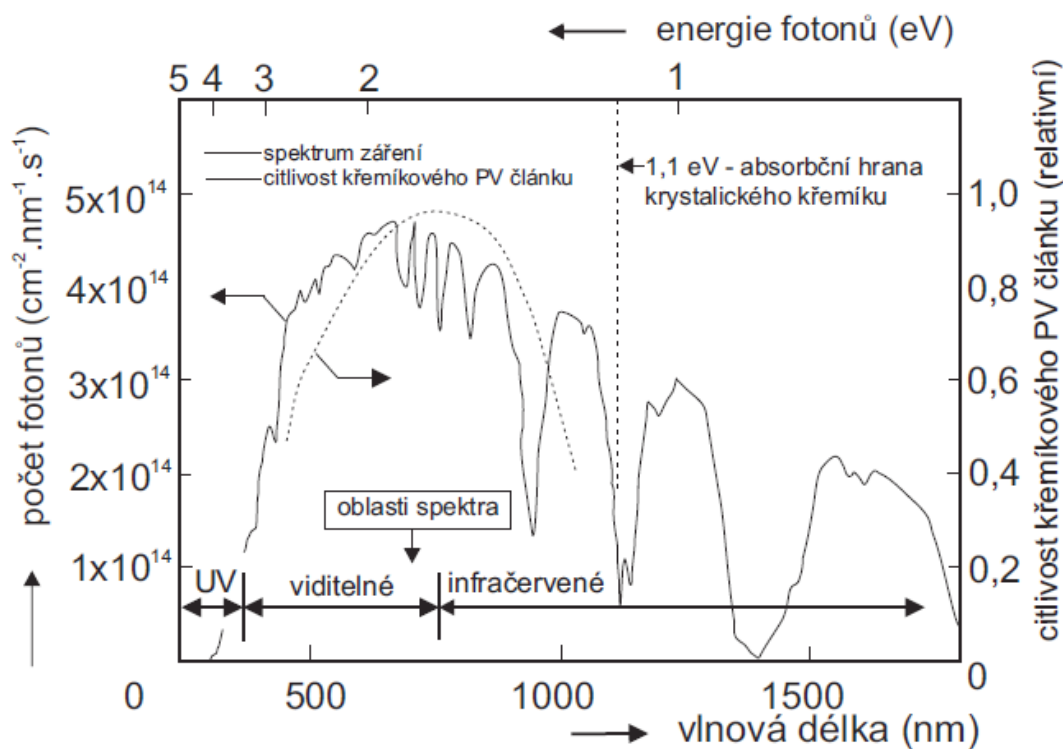
2.1.1 Fotovoltaický jev

Fotovoltaický jev je základní princip, který využívají fotovoltaické články k přeměně světelné energie na energii elektrickou. K tomu dochází uvnitř fotovoltaického článku, který je v podstatě polovodičovou součástkou s jedním PN přechodem. V níž vrstva N, vrstva polovodičového materiálu s příměsí prvku s pěti valenčními elektrony – donor, je velmi tenká a umístěna na horní straně článku na kterou dopadá světlo. A vrstva P, vrstva polovodičového materiálu s příměsí prvku s třemi valenčními elektrony – akceptor. Pokud na horní stranu takto vytvořeného PN přechodu dopadne foton nastane jedna ze tří možných událostí, a to že se foton odrazí, projde skrz článek nebo bude pohlcen[2]. Pokud dojde k pohlcení fotonu, jeho energie je předána atomu křemíku typu N a pokud je tato energie větší než energie odpovídající šířce valenčního pásu atomu dojde k uvolnění jednoho z elektronů a zároveň na jeho místě vzniká tzv. díra a díky vnitřnímu elektrickému poli jsou volné elektrony hromaděny v N vrstvě, a tak zde vzniká elektrický potenciál přibližně 0,5V, zatímco vzniklé díry v P vrstvě putují opačným směrem[4]. Pokud takovýto článek umístíme mezi dvě elektrody na nichž bude připojena jistá zátěž a jelikož jsou dříve vzniklé volné elektrony přitahovány kladným nábojem P vrstvy, začnou procházet tímto obvodem a vytvářet elektrický proud, po dosažení P vrstvy elektrony opět rekombinují s nahromaděnými děrami, které samy vytvořily při absorpci energie z fotonu. Celý tento proces můžeme vidět na obrázku č.1. [1][2][4]



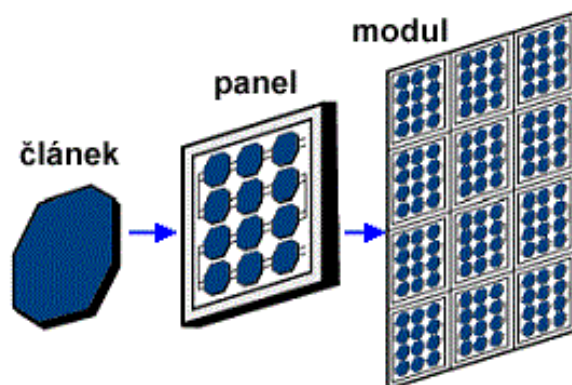
Obrázek 1: Znárodnění Fotovoltaického jevu na řezu Křemíkovým Fotovoltaickým článkem [4]

Takovéto články ovšem mohou generovat elektrický proud pokud na ně dopadají fotony s energií větší než je energie valenčního pásu. U křemíku je tato energie okolo 1,1 eV (elektronvolt) je nazývána „absorpční hranou“ [1]. Pokud je energie dopadajícího fotonu pod touto hranicí foton křemíkovou vrstvou jednoduše projde a jeho energie se přemění pouze na tepelnou energii. Na druhou stranu pokud má foton energii vyšší než 1,1 eV tak dodá fotovoltaickému PN článku dostatečnou energii k tomu aby se v depletiční oblasti uvolnil elektron a přebytečná energie je opět absorbována jako tepelná energie. Kolik energie fotony světla mají je určeno jejich vlnovou délkou. Energie fotonu a jeho vlnová délka jsou v nepřímé úměře. Jak můžeme vidět z obrázku č.2, na kterém je vyznačená absorpční hrana, tak maximální vlnová délka fotonu, který je možné použít k fotovoltaickému jevu v křemíkovém fotovoltaickém článku je přibližně 1100nm. Což znamená že je použitelné téměř celé viditelné spektrum světla a část infračerveného světla. [2][3]



Obrázek 2: Počet absorbovaných fotonů a relativní hodnota citlivosti křemíkového Fotovoltaického článku v závislosti na vlnové délce dopadajícího světla [3]

Pokud je tomuto světlu vystaven fotovoltaický článek tvořený křemíkem je jeho elektrickými vlastnostmi dáno, že výstupní napětí na krátko jednoho takového článku bude mezi 0,5 až 0,6V.[1][5][6] Toto napětí je dáno potenciálovou bariérou mezi vrstvou P a N a zvyšováním intenzity dopadajícího světla nedojde k znatelnému zvýšení tohoto napětí. Napětí 0,5V je však příliš nízké aby se dalo využívat pro reálné účely jako například nabíjení baterií. Proto se tyto fotovoltaické články sériově zapojují a skládají do takzvaných fotovoltaických panelů, jak je znázorněno na obrázku č.3. [4][1]



Obrázek 3: Skládání fotonvoltaických článků do fotonvoltaických panelů a následně do modulů [6]

A lze takto dosáhnout požadovaného napětí, většinou 12V či 24V. Jak vidíme na obrázku č.3 lze i takto vytvořené fotonvoltaické panely dále skládat do fotonvoltaických modulů a vytvořit tak systém, který bude vytvářet přesně takový výstup jaký bude požadovaný. [6]

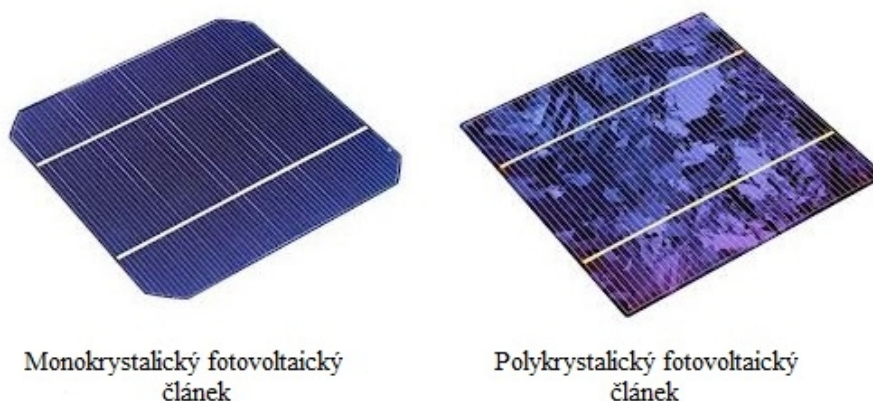
2.1.2 Typy fotonvoltaických článků

V dnešní době bylo vyvinuto již velké množství různých druhů fotonvoltaických článků založených na rozdílném zpracování materiálu, jako například u křemíkových článků, které jsou rozděleny podle krystalické struktury na monokrystalické, polykrystalické a amorfni. Dále se dělí i podle použitých polovodičových materiálů, naše příklady v tomto ohledu budou Kadmium-Telluridový (CdTe) fotonvoltaický článek a Gallium-Arsenidový (GaAs) fotonvoltaický článek. A poslední rozdělovací kritérium je způsob samotné konstrukce fotonvoltaického článku či panelu, kde byly vyvinuty za účelem vyšší efektivity takzvané koncentrátorové fotonvoltaické systémy a více přechodové fotonvoltaické články. Ale proběhly také inovace ve směru možnosti použití a flexibilnější aplikace, které dali vzniknout ohebným tenkovrstvým fotonvoltaickým článkům. [8]

Toto jsou typy článků, které budou dále probrány a navzájem porovnány podle jejich efektivity a různých kladů a záporů.

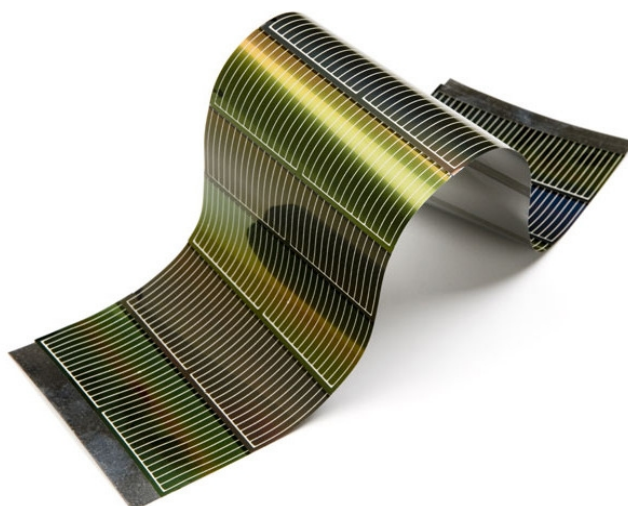
Monokrystalické fotonvoltaické články jsou jedny z nejpoužívanějších fotonvoltaických článků a v oblasti křemíkových článků se řadí mezi ty s nejvyšší efektivitou, která dosahuje hodnot okolo 16-18% , tato hodnota se však vztahuje na články vyráběné pro spotřební účely a použití v reálných podmínkách a velmi se liší od maximální dosažitelné efektivity ve specializovaných laboratořích, kde může dosáhnout efektivity až 25% [7]. Tyto články jsou však poměrně dražší protože jsou vytvářeny z monokrystalu křemíku velmi vysoké čistoty (99,9999%), který se vytváří takzvanou Czochralského metodou, která bude vysvětlena později, a je dále čištěn, zatímco polykrystalické fotonvoltaické články jejichž výroba je obdobná však místo jednoho celistvého monokrystalu se pro substrát používá více menších monokrystalů, které společně tvoří polykrystal. U monokrystalu i polykrystalu následně probíhá řezání vzniklého ingotu na wafery, které jsou následně použity v samotném článku, tloušťka tohoto waferu se pohybuje v rozsahu pár stovek mikrometrů, od 350μm až po wafery tenčí než 150μm. Díky jednodušší produkci jsou polykrystalické fotonvoltaické články levnější. Jejich efektivita však klesá na 15-17% ale je tak dosaženo řady výhod při jejich výrobě, která může probíhat na stejné výrobní lince jako

monokrystalické články a ve větším množství jelikož se polykrystalický ingot vyrábí snáze. Maximální dosažitelná efektivita polykrystalických článků v laboratorních podmínkách je 20,3% [7].



Obrázek 4: Srovnání vzhledu monokrystalického a polykrystalického fotovoltaického článku [20]

Poslední z probírané řady křemíkových fotovoltaických článků je z amorfního křemíku což znamená že jeho struktura není v žádné oblasti uspořádaná do krystalické struktury. Tyto solární články nemají tak velké využití na trhu jako články s krystalickou strukturou a používají se většinou v malém měřítku jako například záložní napájení kalkulaček. Běžná efektivita těchto článků se pohybuje okolo 6-9% a v laboratorních podmínkách se dá s touto technologií dosáhnout až efektivitu 13,6% [7]. Díky tomu že tyto články nevyžadují žádnou krystalickou strukturu křemíku mohou být vytvářeny napařováním velmi tenké, pouhý 1 μm , vrstvy směsi křemíku a vodíku, která se nazývá „Silan“ (SiH_4), tato vrstva může být napařena na flexibilní materiály, jako třeba skla, kovy, plasty a vzniká tak tenkovrstvý ohebný fotovoltaický článek čímž se otevírají nové možnosti použití. Tyto články jsou mnohem levnější než monokrystalické i polykrystalické a to hlavně z důvodu že potřebují jen zlomek křemíku, přibližně 1% křemíku co u krystalických článků. [9]

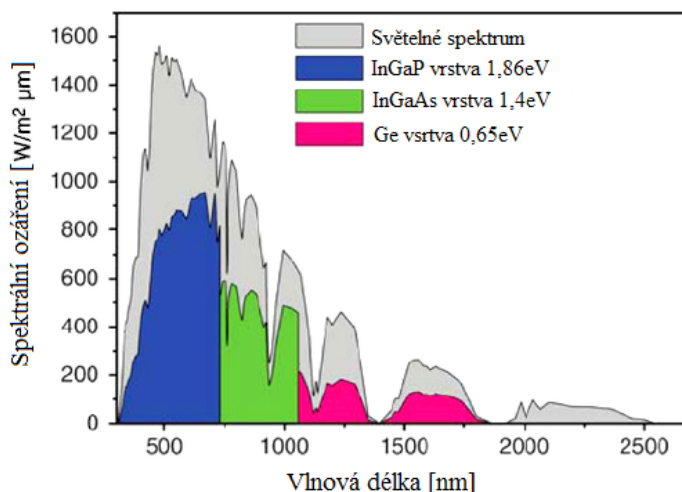


Obrázek 5: Ohebný tenkovrstvý fotovoltaický panel [8]

Dalším z kroků ve vývoji fotovoltaických článků je použití rozdílných materiálů ve snaze nahradit křemík a dosáhnout nových parametrů. Jako jeden z příkladů jsem si zvolil Kadmium-Telluridový[10] článek, který v poměru jeho ceny a efektivity dokáže překonat i monokrystalický křemíkový článek. Jedná se o tenkovrstvý fotovoltaický článek s běžnou efektivitou 15-17% a dosavadní maximální dosažitelnou efektivitou 21,5%[7]. Ovšem na rozdíl od krystalických křemíkových článků jsou mnohonásobně levnější a snazší na výrobu. Však tyto výhody s sebou přináší i několik nevýhod jako například použití Kadmia, jednoho z šesti nejvíce toxických těžkých kovů na zemi. Kadmium je nebezpečné při vdechnutí jeho prachových částic tak i při kontaktu s pokožkou a musí s ním být zacházeno pouze s použitím ochranných pomůcek jako jsou například ochranné rukavice. Další velkou nevýhodou je Tellur jehož zastoupení v zemském povrchu je velmi nízké a získává se většinou jako vedlejší produkt při zpracovávání mědi. [10]

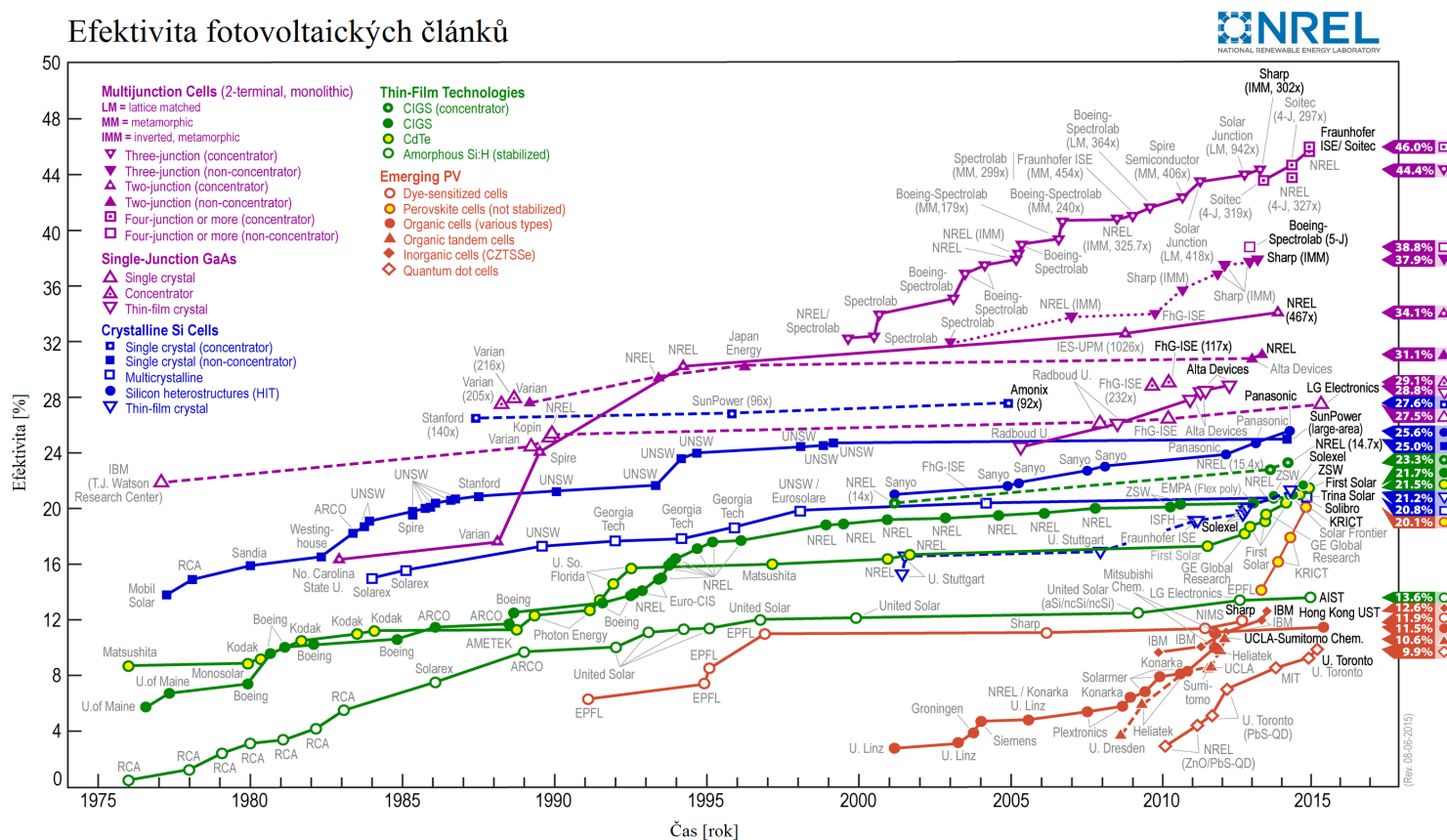
Druhý zvolený příklad využití různých materiálů je Gallium-Arsenidový[11] článek, který se rovněž vyrábí ve formě tenkovrstvého ohebného fotovoltaického článku a dosahuje takto efektivity 28,8% [7]. Tato efektivita však náleží GaAs článku s jedním přechodem. Fotovoltaické články lze totiž vytvářet i vícevrstvě neboli tandemově,[12] to znamená že je na sebe navrstveno několik fotovoltaických článků z různých materiálů s různou energetickou úrovní absorpční hrany seřazeny sestupně. Takže fotony s nejvyšší energií se absorbují v prvním článku, fotony s nižší energií projdou prvním článkem a jsou absorbovány druhým článkem a fotony s ještě nižší energií projdou prvním i druhým článkem a absorbují se až ve třetím článku. Jednotlivé vrstvy jsou potom spojeny tunelovými přechody, což jsou silně dopované PN přechody. Příkladem takového třívrstvého fotovoltaického článku je článek tvořený v první vrstvě Gallium-Indium-Fosfidem (InGaP, absorpční hrana 1,86eV) v druhé vrstvě Indium-Gallium-Arsenidem (InGaAs, absorpční hrana 1,4eV) a ve třetí vrstvě Germaniem (Ge, absorpční hrana 0,65eV). [11][12]

	GaAs	AR COATING	
n ⁺	AlInP	WINDOW	
n	InGaP	EMITTER	
p	InGaP	BASE	
p ⁺	AlGaInP	BSF	
	TUNNEL JUNCTION		
n ⁺	InGaP	WINDOW	
n	InGaAs	EMITTER	
p	InGaAs	BASE	
p ⁺	InGaP	BSF	
	TUNNEL JUNCTION		
n	InGaAs	BUFFER	
	InGaP	HETERO LAYER	
n	Ge	BASE	
p	Ge	BSF	



Obrázek 6: Struktura třívrstvého fotovoltaického článku a absorpční oblasti jednotlivých vrstev při ozáření slunečním světlem [12]

Díky této vícevrstvé technologii lze dosahovat mnohem větší efektivity než u normálních fotovoltaických článků, u tří vrstev to může být až 37,9% [7]. Existuje ovšem ještě další technologie pomocí které lze přesáhnout i hranici efektivity 40% a to pomocí takzvaných koncentrátorových systémů.[13] Tyto systémy využívají z principu méně fotovoltaických článků aby snížil náklady na výrobu a jsou doplněny o relativně levnou plastovou čočku nebo zakřivenou reflexní plochu, která soustřeďuje světlo dopadající na relativně velkou plochu na mnohem menší plochu samotného fotovoltaického článku. Při použití koncentrátorového systému s klasickým fotovoltaickým článkem lze dosáhnout efektivity pouhých 29,1% [7], ale pokud se technologie koncentrátoru spojí s technologií více vrstev fotovoltaického článku dostaneme tak zatím nejvyšší možnou efektivitu , kterou je možno dnes dosáhnout a to až 46%[2] využití energie z fotonů světla. Na následujícím grafu můžeme vidět jak postupoval vývoj různých typů fotovoltaických článků po dobu několika desítek let. [12][13]



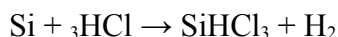
Obrázek 7: Graf zobrazující postupný vývoj ve snaze dosáhnout co nejvyšší efektivity různých fotovoltaických technologií [7]

2.1.3 Výroba fotovoltaických článků

V této kapitole bude probrán postup výroby monokrystalického a polykrystalického fotovoltaického křemíkového článku. Na úplném začátku výroby je písek bohatý na křemík. Ten se průběžně dostává do obloukové pece kde je smíchán koksem. Teplota v celé peci je rozdělena do úrovní, počínaje nejnižší částí kde má pec přibližně 2000°C a směrem nahoru teplota klesá tak aby

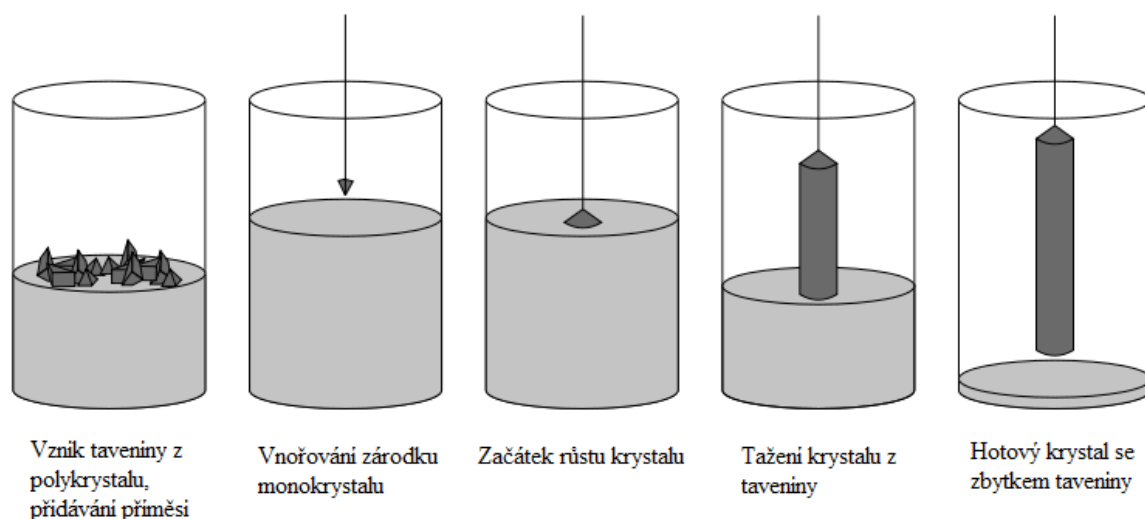
ve směsi mohly probíhat potřebné chemické reakce. Po tom co směs projde celou pecí a vznikne z ní roztavený křemík metalurgické kvality (čistota přibližně 98%) se ve spodní vrstvě pece pravidelně odlévá. Takovýto křemík však není dostatečně čistý na to aby mohl být použit v polovodičové technice a musí být dále čištěn. [14][16][19]

Dnes nejpoužívanější metodou čištění je takzvaná Siemensova metoda. Tato metoda čištění spočívá v tom že se křemík metalurgické kvality v práškové formě reagován ve fluidizační lázni kde jím prochází plynný chlorovodík při teplotě 300°C a podle chemické rovnice:



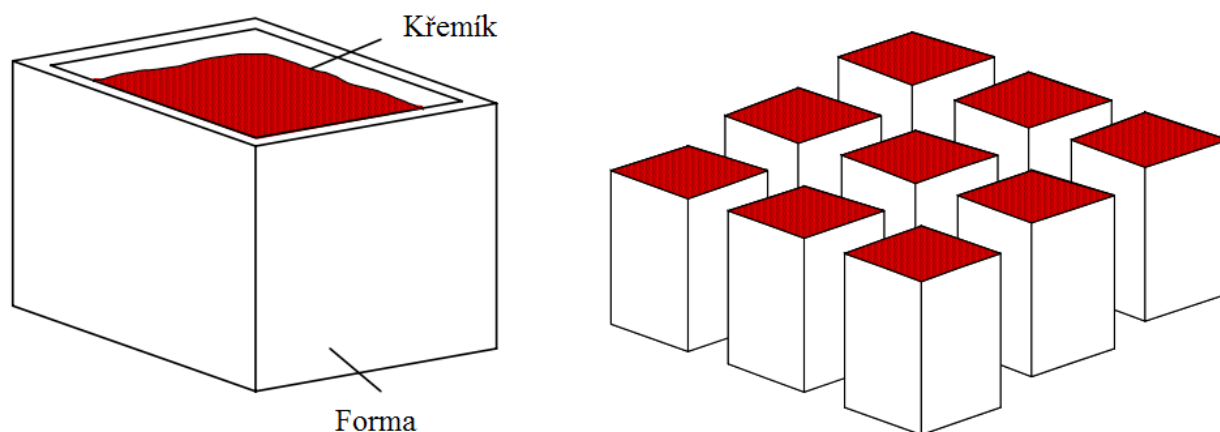
tak vzniká SiHCl_3 . Během tohoto procesu zreagují i nečistoty jako Železo, Hliník a Bór, které se v práškové směsi nachází, s tímto plynem do jejich formy halidu (FeCl_3 , AlCl_3 a BCl_3). Jelikož SiHCl_3 má velmi nízkou teplotu varu, pouhých 31,8°C, dá se nyní snadno zbavit nečistot vydestilováním. Konečně vyčištěný SiHCl_3 se nechá reagovat ve vodíku při teplotě 1100°C po dobu 200-300 hodin. Tato reakce probíhá ve velkých vakuových komorách a křemík je tam nanášen na tenkou polykrystalickou křemíkovou tyč a vzniká tak polykrystalická křemíková tyč poloměrem 150-200mm o velmi vysoké čistotě (99,999999%). Takto vyčištěný křemík je dále použit do taveniny při vytváření polykrystalického a monokrystalického křemíkového ingotu. [16][19]

Nyní se dostáváme do bodu, kterým je určen rozdíl mezi monokrystalickým a polykrystalickým křemíkovým fotovoltaickým článkem. Monokrystalický ingot křemíku je vytvářen takzvanou Czochralskiho metodou, která spočívá v tom že se vytvoří lázeň křemíkové taveniny s teplotou okolo 1425°C, do které je vnořen malý zárodek monokrystalu a za stálého otáčení je velmi pomalu tažen z taveniny čímž na něm začíná růst požadovaná tyč křemíkového monokrystalu. do taveniny je možné přidat malé množství příměsí jako například Bór chceme-li vytvořit dopovaný monokrystal. Křemíková tyč má po vytažení okolo 10-15 cm v poloměru, 1-2m na délku a 50-100kg. Tento krystal má však tvar válce a pro fotovoltaické články je třeba tento válec oříznout po stranách do tvaru kvádru, ořezané přebytky jsou opět použity do taveniny. [14]



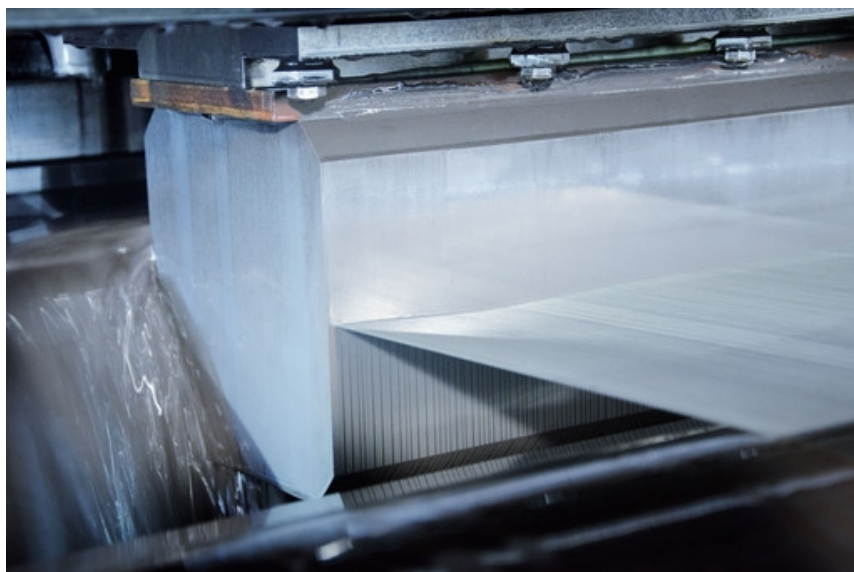
Obrázek 8: Průběh Czochralskiho metody růstu monokrystalu [14]

Tvorba polykrystalických ingotů je podstatně jednodušší a spočívá v kontrolovaném tuhnutí roztaveného křemíku. Opět se vytvoří ve vybrané formě lázeň z křemíkové taveniny. Ta se následně nechá chladnou, chlazení probíhá předem danou rychlostí tak aby vzniklo co nejméně co největších monokrystalů a aby nevznikaly v křemíku strukturální vady, které po elektrické stránce tvoří potenciálové bariéry pro elektrony. Chlazení bývá většinou řízeno indukčním ohřevem. Vzniklý kvádr je následně vyjmut z formy a nakrájen do menších použitelných ingotů a připraven na nařezání na wafery. [14]



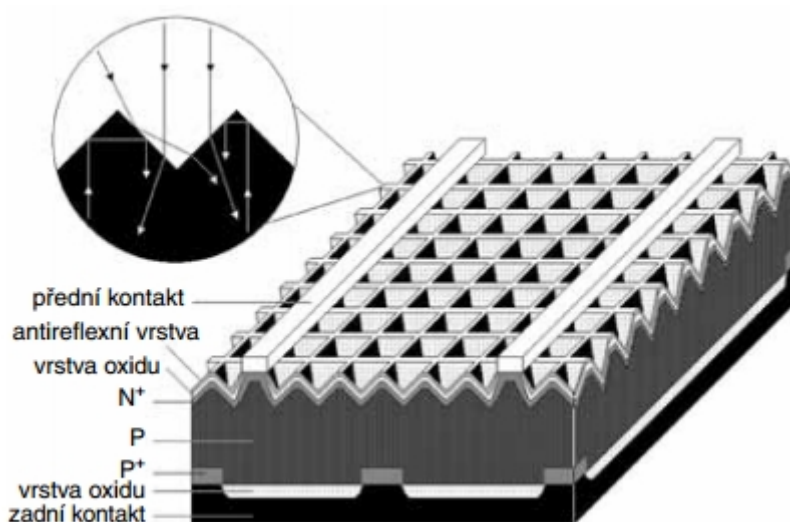
Obrázek 9: Princip tvorby polykrystalických ingotů [14]

Dalším krokem ve výrobě fotovoltaických článků je řezání křemíkových ingotů na wafery. Tradiční technikou řezání ingotů na wafery bylo v minulosti řezání prstencovým kotoučem s čepelí na vnitřní straně a dalo se touto metodou získat 10-15 waferů na centimetr ingotu. Lépe osvědčenou metodou se však stalo drátové řezání s kterou lze získat přes 20 waferů na centimetr. K řezání se používá 140-350 μ m tlustý drát, pokrytý niklovým opláštěním a miniaturními diamantovými zrny. Navíc lze touto metodou nakrájet celý ingot najednou na rozdíl od předchozí metody kdy se wafery řezaly po jednom, a při řezání drátem, který je tenčí než kotouč není třeba tak široká drážka a je ušetřeno více materiálu. [14][15]



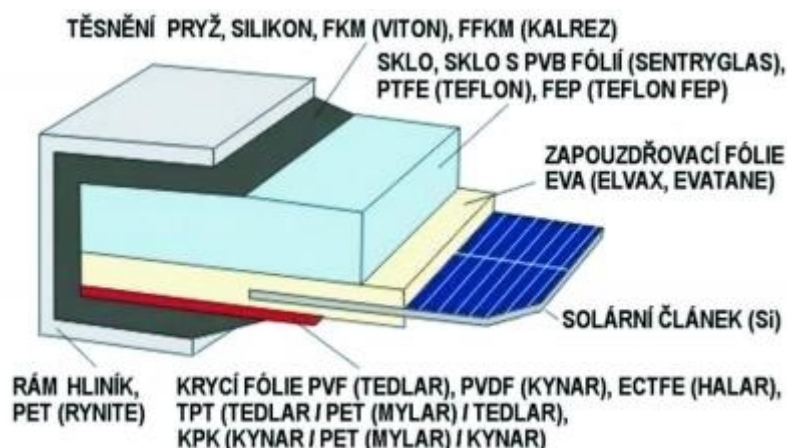
Obrázek 10: Řezání waferů diamantovým drátem v praxi [15]

Dále po nařezání waferů následuje broušení hran při vysoké rychlosti a následně leptání a čištění, prvním krokem je supersonické čištění a krátkodobé leptání, které odstraní organické i neorganické částice z povrchu waferu a druhým krokem je chemické leptání, které odstraní veškeré drážky vzniklé během řezání a broušení, tloušťka waferu se tak zmenší o 12 μm . [18] Takovéto články jsou následně přesunuty do difuzní komory kde je horní strana waferu vystavena plynnému fosforu vysoké teploty čímž se vytvoří na povrchu tenká N vrstva spolu s fosfor-silikátovým sklem, které je odstraněno a je nanášena další vrstva. Tentokrát se jedná o vrstvu antireflexní která, mimo to že povrch fotovoltaického článku vypadá tmavší, způsobí že se světlo nebude od článku tolik odrážet a bude snáze procházet dále do článku. [19] Tato vrstva je většinou tvořena oxidem titaničitým. Nyní přijde na řadu pokrytí panelu vodivými kontakty, na spodní straně standardně bývá pokovení celoplošné a na přední straně kam dopadá světlo je vytvořena z vodivých cest mřížka nebo tvar hřebene tak aby zakrýval co nejmenší plochu panelu. Tyto vodivé cesty bývají nanášeny buď sítotiskem nebo technicky náročnější technologií vyžadující vakuum jako například vakuové napařování. Pro speciální použití lze také realizovat tyto vodivé kontakty jako zapuštěné do materiálu článku aby se tak zvýšila plocha na kterou může dopadat světlo. [18][14]



Obrázek 11: Struktura křemíkového fotovoltaického článku navrženého pro vysokou efektivitu [17]

Fotovoltaické články se potom skládají do sério-paralelních kombinací aby vytvářely pořadovaný proud a napětí a následně jsou zapouzdřeny do fotovoltaických panelů. Přední stranu fotovoltaického panelu tvoří velmi pevné temperované sklo odolné proti nárazu na nič je aplikována EVA (ethylvinylacetát) fólie pro lepší přenos světla mezi různými prostředními a na ni jsou nakonec pokládány fotovoltaické články přes které je následně aplikována další vrstva EVA fólie a zadní strana panelu je poté překryta spodní laminátovou fólií. V posledních krocích je z celého panelu odčerpán vzduch a celý panel se zahřeje nad teplotu tání EVA fólie, která se tak uvnitř panelu rozteče a zaplní mezery mezi jednotlivými články i mezi články a sklem. Nakonec jsou panely opatřeny hliníkovým rámem aby se zvýšila celková odolnost článku, například proti poškození teplotní roztažností jednotlivých součástí. A samozřejmě boxem s výstupními kontakty. Hliníkové rámy jsou ještě utěsněny vodotěsným silikonovým tmelem, vytváří tak ochranu proti vniku vlhkosti i ostatním nečistotám. [19][20]



Obrázek 12: Řez okrajem fotovoltaického panelu znázorňující zapouzdření fotovoltaických článků [20]

2.2 Bateriové články

V této kapitole je probrána teoretická stránka Lithium-Iontových bateriových článků, které jsou použité v navrhovaném modelu.

Řadí se mezi články s možností opětovného nabíjení, tato vlastnost je pro naše použití velmi důležitá. Díky možnosti opětovného nabíjení je tudíž možné tyto články možné použít průměrně 400x až 1200x než se opotřebují do takového stavu že jsou dále nepoužitelné. Této vlastnosti je dosaženo použitím interkalační sloučeniny [35] lithia a iontů. Což znamená že do klasické mřížky lithia jsou vsazeny ionty přičemž zůstává mřížka lithia beze změny. Tato sloučenina potom tvoří kladnou elektrodu článku, záporná elektroda je vytvořená z grafitu nebo jiného uhličitého materiálu. Tyto elektrody jsou od sebe odděleny elektrolytickým roztokem. Tento roztok dovoluje iontům lithia přesouvat se ze záporné elektrody na kladnou během vybíjení a obráceně při nabíjení článku. Což je hlavní rozdíl oproti čistě lithiovým článkům.

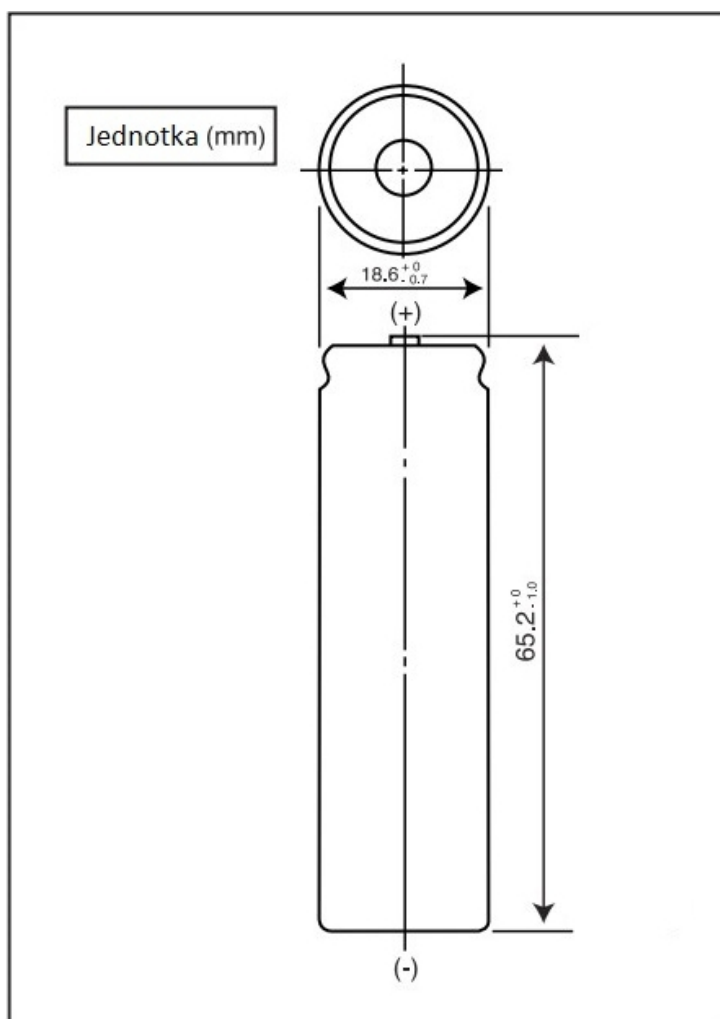
Tyto články jsou běžně používány v přenosné elektronice, jako jsou například notebooky nebo mobilní telefony. Je to jeden z nejpobulárnějších typů baterie díky jeho kompaktnosti a výborným vlastnostem jako například vysoká kapacita, velmi malý paměťový efekt (memory effect - „lazy battery effect“) a malá úroveň samovybíjení [26].

Paměťový efekt je vlastnost, která se projevuje u nabíjecích článků a způsobuje postupně se snižující kapacitu baterie při opakovaném nabíjení. A to bez ohledu na kvalitu nabíjení (přebíjení, podvybití). K dalšímu snížení kapacity může dojít právě nešetrným nabíjením, vysokou teplotou, teplotou pod bodem mrazu. U těchto případů se jedná však o dočasné efekty, které se dají eventuálně napravit. Existují však případy poruch, které jsou na těchto článcích nevratné a končí jejich zničením. Jednou z nich je přílišné vybití, především u baterií složených z několika článků kdy úroveň nabití každého článku není stejná, a u některých může hodnota kapacity klesnou na nulu. Jelikož pokud se úroveň nabití u těchto článků dostane pod určitou úroveň, tak dochází ke ztrátě celkové kapacity v řádech desítek procent. Druhý případ trvalého poškození je konec životnosti článku způsobený dosažením maximálního počtu opětovných nabití a chemickými reakcemi v článku, které probíhají nehlédě na to jak často je používán [28].

Dalšímu efektu se říká samovybíjení. Nezpůsobuje jen samovolné vybíjení baterie ale i zkracování životnosti a to i v případě že na elektrodách není nic připojené. Vůči tomu efektu jsou právě lithiu-iontové baterie odolné ze všech nejvíce a ztrácí pouhých 2-3% nabitě energie za měsíc. Jedná se o chemickou reakci, která probíhá rychleji při vyšších teplotách. To znamená že se dá teoreticky zpomalit pokud budou články skladované při nízkých teplotách [27].

Tyto články se dále rozdělují podle použitých materiálů, výkonu, ceny a charakteristik. Příklady používaných materiálů jsou Lithium-Kobalt oxid (LiCoO_2), který nabízí vysokou kapacitu ale také přináší nebezpečí pokud je článek poškozen, Lithium-Železo-Fosfát (LiFePO_4), Lithium-ion-Mangan oxid (LiMnO) a materiály použité v článcích našeho modelu je Lithium-Nikl-Mangan-Kobalt oxid (LiNiMnCoO_2) [26], který má sice menší kapacitu ale mnohem delší životnost a jsou relativně bezpečné. Přesněji se jedná o články Li-ion 18650 [34].

Články Li-ion 18650 nesou svoje specifické označení podle použití Litium-iontové sloučeniny. A číselné označení kvůli rozměrům výsledných článků, které jsou z pravidla okolo 18mm široké a 65mm vysoké, jak můžeme vidět na obrázku č.13 z datasheetu. Dále elektrické parametry tohoto článku jsou především kapacita 2450mAh a nominální výstupní napětí 3,6V [33].



Obrázek 13: Velikost a tvar Li-ion 18650 [33]

2.3 Mikrokontroler

Mikrokontrolery jsou velmi malé počítače s jedním výpočetním jádrem a minimálním příslušenstvím (paměťové prvky a programovatelné vstupy/výstupy) v jednom integrovaném obvodu. Rozdělují se například podle:

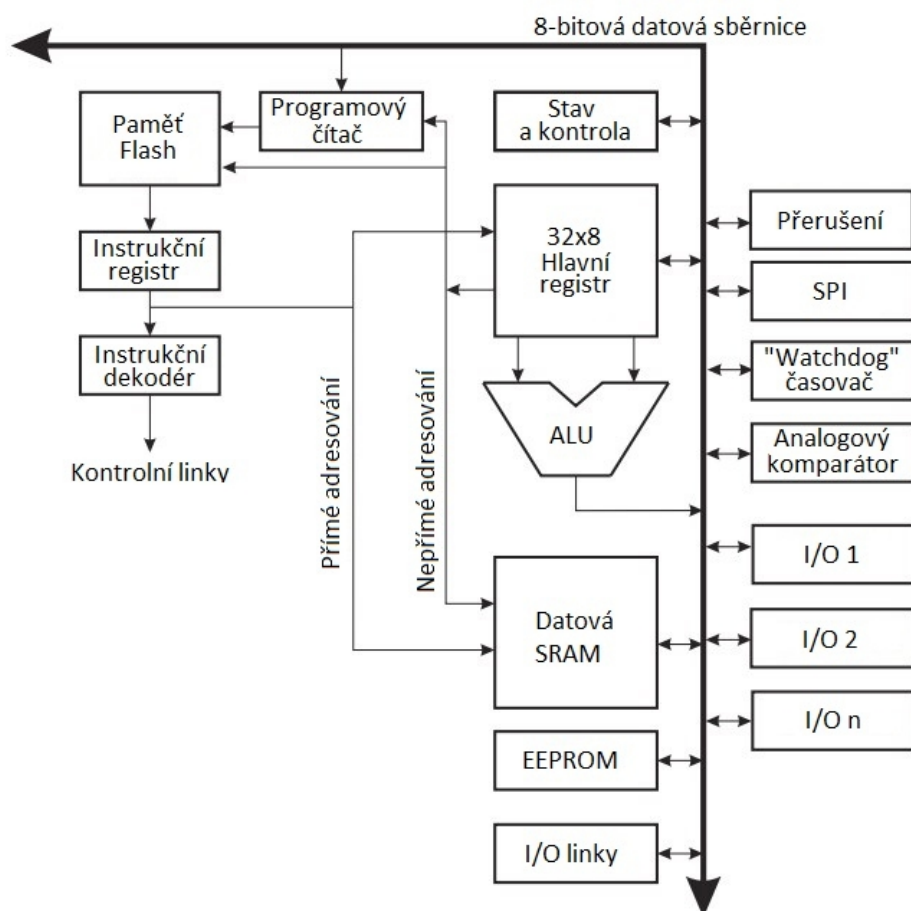
Velikosti programovatelné paměti – 64,182,256...atd kB

Počtu vstupě/výstupních pinů – od desítek až po stovky pinů

Architektury – Von Neumannova architektura, Harvardská architektura

Šířky datové sběrnice – 8-bit, 32-bit

Existuje velké množství mikrokontrolerových obvodů s různými parametry od různých výrobců [29]. Pro řízení našeho modelu majáku jsem vybral mikrokontroler od firmy Atmel „Mega AVR ATmega1280-16AU,, na vývojové desce kompatibilní pro Arduino. Tento mikrokontroler jsem zvolil především kvůli potřebnému počtu pinů, velikosti programovatelné paměti a jednoduchému programovacímu jazyku. Paměť se rozděluje na tři typy. Paměť typu EEPROM, která slouží pro dlouhodobé ukládání dat z programu, typu SRAM pro manipulaci proměnných během chodu programu a Flash paměť do, které se nahrává požadovaný program v definovaném programovacím jazyku, část této paměti je také použita pro takzvaný „Bootloader“ který slouží k nahrávání programů do paměti a jejich spouštění, pokud nepoužíváme programátor.



Obrázek 14: Blokové schéma procesorového jádra ATmega1280 [32]

Parametry mikrokontroleru ATmega1280 jsou následující. Paměť EEPROM má 4kB, SRAM 8kB a paměť typu Flash 128kB. Dále je opatřen 86ti vstupně výstupními piny z nichž 12 může být použito pro aplikaci PWM modulace, což je pro nás velmi důležité jelikož budeme potřebovat takovýto výstup pro každou jednu použitou diodu. Analogově digitálním převodníkem, který využijeme u čtení dat z fotosenzoru. A zkrácenou instrukční sadou příkazů, což je pro naše použití i tak dostatečné [32].

Programovací jazyk této vývojové desky je založený na jazyku C, obsahuje tudíž klasické operátory if, if-else, for, while, atd. a druhy proměnných pro operace int, word, char, atd. A dále je tento programovací jazyk rozšířen o příkazy pro ovládání ostatních funkcí desky jako například analogRead, která slouží k přečtení analogové hodnoty signálu na určitém pinu a analogWrite, která je pro náš model velmi důležitá protože nám dovoluje nastavit na výstupním pinu přesnou hodnotu napětí. A tento příkaz se používá k realizování PWM modulace [31].

3 NÁVRH

Nyní se dostáváme k vlastnímu návrhu modelu majáku, jeho napájení a řídicí části. Možné návrhy provedení těchto jednotlivých částí budou probrány v následujících kapitolách. A nakonec z nich budou vybrány ty, které se pro tento model a jeho použití hodí nejvíce.

3.1 Konstrukce modelu majáku

Tato kapitola obsahuje podrobné informace o tom jak samotný maják bude vypadat. Jeho tvar, rozměry a provedení. Celá konstrukce modelu by dle zadání měla mít na výšku okolo 50cm. Ostatní proporce a tvar zadány nebyly a tak jsou omezeny pouze tím, aby byly vhodné pro funkci majáku. V návrhu jsem jako základní tvar zvolil šestistranný komolý jehlan s těmito parametry:

Šířka spodní roviny : $u_1 = 30\text{cm}$

Šířka horní roviny : $u_2 = 14\text{cm}$

Výška : $V = 50\text{cm}$

Ten je následován částí pro samotné naváděcí světelné medium tvořené válcem případně hranolem s počtem stěn rovným počtu použitých diod. Tato část bude dále opatřena dírou pro každou jednu diodu ve které bude umístěna. Tato část má následující rozměry:

Průměr : $\varnothing = 10\text{cm}$

Výška : $V = 5\text{cm}$

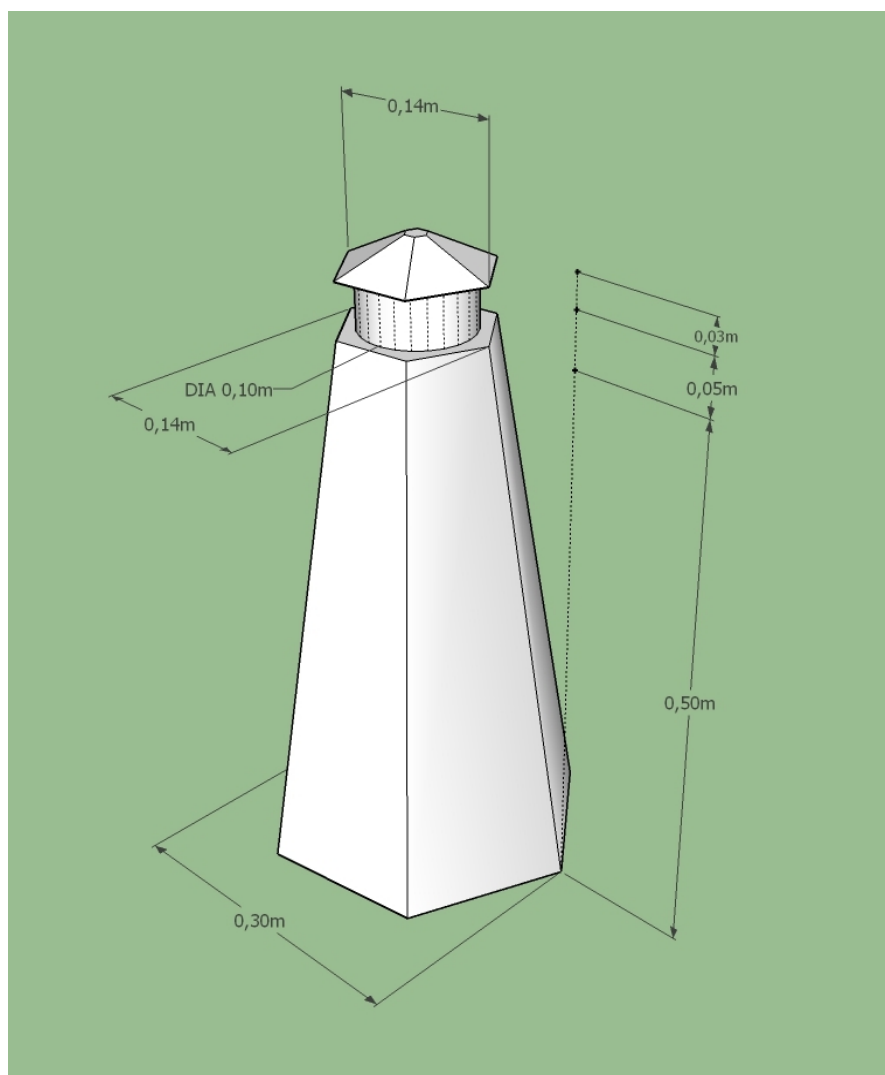
Poslední část umístěna na samotném vrcholu majáku, a ta má za účel jak estetickou funkci, tak chránit obvodovou část uvnitř konstrukce před deštěm. V podstatě jde o střešku majáku a je vytvořena pomocí šestistranného jehlanu nebo komolého jehlanu, podle toho jestli v technologii použité při výrobě bude možné vytvořit přesnou ostrou hranu. Střešní část navrženého majáku by měla mít takovéto parametry:

Šířka základny : $u = 14\text{cm}$

Výška : $V = 3\text{cm}$

Nakonec povede uvnitř prvních dvou částí válcovitý otvor, kterým budou vedeny vodiče napájení jednotlivých diod, a možná zde bude ukryta i část řídicí jednotky. Celý model by měl být podle plánu dále detailněji sestrojen v programu Solid Works a následně vytvořen, pravděpodobně s použitím 3D tiskárny. Celý model bude nutno rozdělit do menších částí které se potom spojí, protože celý 50cm dlouhý model je moc velký pro produkci 3D tiskárnou. Tato skutečnost bude blíže prozkoumána později při realizaci.

Předběžný návrh modelu jak je popsáný výše, jsem provedl v jednoduchém programu SketchUp a výsledný vzhled můžeme vidět na obrázku č.15.



Obrázek 15: Okótovaný návrh modelu majáku

3.2 Rotační část majáku

Nejdůležitější částí celého majáku je rotační část, jež zprostředkovává jeho základní funkci, navigaci lodí v nebezpečných pobřežních oblastech a upozorňuje na blížící se pevninu v noci nebo za snížené viditelnosti. Je to část, na které se nachází zdroj světla, který se otáčí.

U klasických majáků je rotační část realizována statickým zdrojem světla, kolem kterého se otáčí Fresnelova čočka [21] nebo modernější samostatně se otáčející zdroj světla. Použití takového systému je jednou z možností zpracování rotační části a vyžadovalo by použití stejnosměrného elektromotoru pro otáčení zdroje světla a způsob, jak přenést elektrickou energii do rotační části. To by se dalo zajistit složitým komutátorovým systémem, který by zabíral velmi velkou plochu nebo rotačním kontaktem. Takovéto řešení by bylo pro malý model poněkud těžkopádné a už samotné použití elektromotoru přináší řadu nevýhod, např. hluk, nežádoucí elektromagnetické pole nebo příliš vysokou energetickou náročnost, odběr proudu pro tuto velikost se pohybuje okolo 1A. [21] [22]

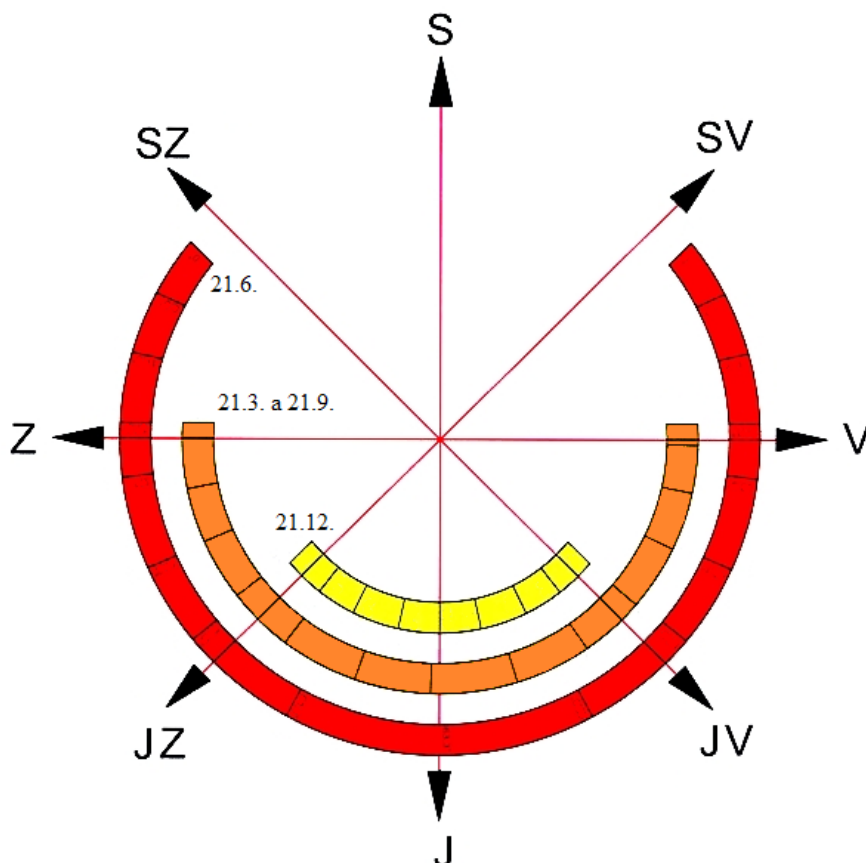
Druhá možnost realizace rotační části je s použitím více zdrojů světla. V tomto případě diody, které budou uspořádány v kruhu. Takto uspořádané diody se budou postupně rozsvěcovat jedna po druhé a simulovat tak otáčení zdroje světla. Toto řešení sice obsahuje více zdrojů světla ale jeho výsledná energetická spotřeba bude nižší. Rozsvěcení diod bude probíhat za pomoci řídicí jednotky. Aby bylo dosaženo efektu pozvolného otáčení světelného zdroje, a ne jen jednotlivého rozsvěcení a zhasínání, bude použita takzvaná Pulzně Šírková modulace.[23] Pulzně Šírková modulace zajistí, že každá další dioda v pořadí bude rozsvěcena pozvolně a předchozí dioda bude zase pozvolně zhasena. [23]

3.3 Umístění fotovoltaických panelů na modelu majáku

Nyní se dostáváme ke kapitole, ve které je probrána problematika různých možností umístění fotovoltaických panelů na modelu. První možností je umístění panelů přímo na model po celém obvodu. Tato možnost se zdá výhodná kvůli úspoře místa a z estetických důvodů ale je z mého pohledu spíše nevhodná. A to z důvodu, že úhel, který by takto osazené panely svíraly s zemským povrchem, byl moc velký. Takže v odpoledních hodinách by rapidně klesala efektivita, hlavně v zimním období, kdy je slunce umístěno výše na obloze než v létě. Navíc v zimním období klesá intenzita slunečního záření vlivem oblačnosti, a mohlo by dojít k nedostatku energie . [24] Mimo to, pokud by fotovoltaické panely byly osazené po celém obvodu majáku, byla by zhruba polovina všech panelů konstantně zakryta svým vlastním stínem. Některé panely by nebyly kvůli danému pohybu slunce po obloze od východu k západu nakonec využity vůbec.

Proto jsem se rozhodl fotovoltaické panely umístit mimo konstrukci majáku. Přesné umístění záleží na přesném geografickém umístění majáku, aby nedošlo k zastínění panelů majákem při

pohybu slunce po obloze. Dále je nutné promyslet úhel natočení panelů ke slunci tak aby bylo dosaženo nejvyšší efektivity ve všech ročních obdobích. Jelikož slunce v létě urazí po obloze delší trasu je úhel dopadu ostřejší než v zimě kdy světlo dopadá naopak pod tupějším úhlem. Vezmeme-li v potaz obě tyto skutečnosti, dá se snadno určit optimální úhel sklonu fotovoltaických panelů na 45°. [24]



Obrázek 16: Pohyb slunce po obloze v závislosti na ročním období; červená - léto, oranžová - jaro a podzim, žlutá – zima. [24]

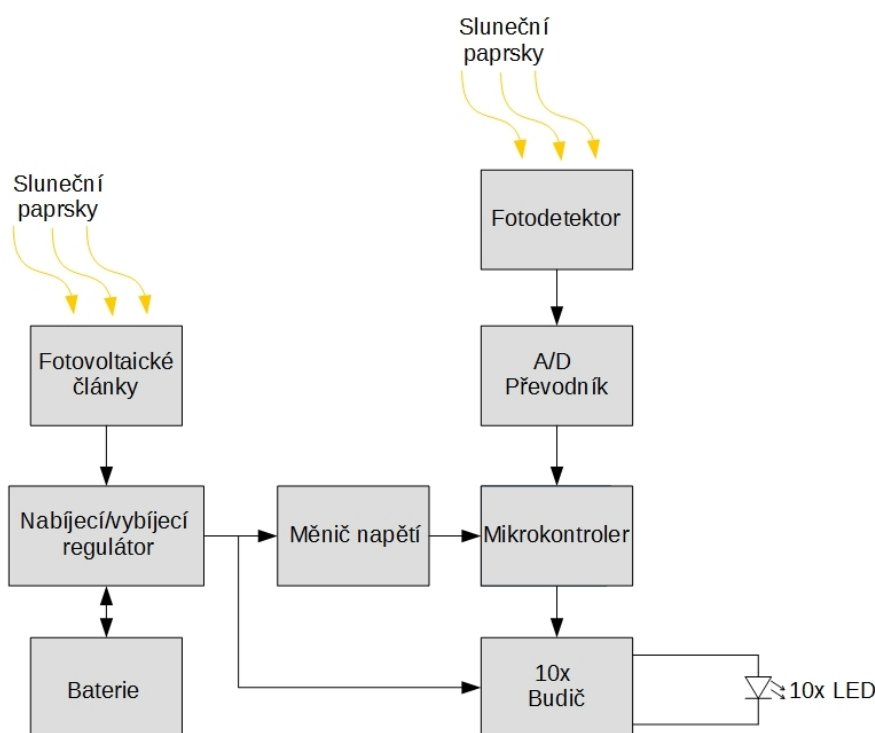
3.4 Řídicí jednotka majáku

Poslední část návrhu je zaměřená na řídicí jednotku a návrh elektrického obvodu. To zahrnuje napájení, baterii, fotodetektor, diody a samotný mikrokontrolerový řídicí obvod.

Napájení bude tvořeno třemi fotovoltaickými panely, které budou prostřednictvím nabíjecího regulátoru napájet lithiovou baterii, která bude tvořit celkovou zásobu energie pro celý model. Později při výběru konkrétních součástek bude potřeba brát ohled na kapacitu baterie a výkon fotovoltaických panelů, aby články zvládly nabít baterii během slunné části dne v jakémkoli ročním období, a aby baterie byla schopna napájet maják tak dlouho jak bude potřeba. Není možné prakticky zajistit po celou dobu dokonalé podmínky pro dostatečný výkon článků, především v zimních a bouřkových obdobích, a tak by bylo v provedení pro reálné použití vhodné zajistit i náhradní zdroj energie.

Zatímco nabíjení baterie bude probíhat za jasného i za sníženého slunečního svitu, tak světlo majáku za jasného dne potřeba nebude a jeho provoz by byl zbytečný. Proto je model opatřen fotodetektozem, který bude snímat míru venkovního osvětlení. Pokud intenzita venkovního osvětlení klesne pod přednastavenou úroveň dojde ke spuštění majáku.

Hlavní částí celé řídicí jednotky je mikrokontroler. Pro toto použití jsem zvolil mikrokontroler z řady Atmel ATmega1280-16AU [32]. Konkrétní řídicí program bude navržen až při realizaci modelu. Program bude obsahovat algoritmus pro řízení jednotlivých diod s použitím výše zmíněné Pulzně šířkové modulace, který se bude spouštět na základě obdržených dat z fotodetektoru, a tak bude probíhat celé řízení mého návrhu majáku. Výstupní signály ze samotného mikrokontroleru jsou však příliš slabé aby samy o sobě dokázaly rozsvěcet vysokosvitivé diody, které budou použity a tak musí být tento signál dále zesílen použitím výstupu z baterie pomocí budiče. Celé zapojení můžeme vidět na blokovém schématu na obrázku č. 17.



Obrázek 17: Blokové schéma návrhu

4 REALIZACE

Realizace je posledním krokem této práce a tato kapitola popisuje postup výroby zadaného modelu tak jak je popsán v návrhu.

Jedná se o výrobu hotového a funkčního modelu majáku s fotovoltaickým napájením. Výsledný model byl vytvořen s pomocí 3D tiskárny.

Dále model obsahuje vnitřní obvodovou část, která je umístěna částečně v těle modelu, až na použitý zdroj energie, fotovoltaické články. Tato obvodová část zprostředkovává veškeré funkce jako například rotační osvětlení.

Osvětlení je tvořené vysokosvitivými diodami, které jsou zasazené do speciálních čoček z důvodu usměrnění světelného toku, jelikož diody samotné svítí v úhlovém rozsahu přibližně 160° . Čočky pak sníží tento úhel na pouhých 30° a zároveň prodlouží aktivní dosvit. Samotné diody vyžadují relativně velký vstupní proud takže nejsou připojené přímo na mikrokontroler ale jsou zapojené přes budič, který získává potřebný proud přímo z baterie a signál z mikrokontroleru slouží jako řízení.

Dále obvodová část obsahuje napájení složené z fotovoltaických panelů dostatečného výkonu pro provoz výše zmíněných diod a bateriového článku, který se skládá ze sério-paralelní kombinace 8mi Li-ion 18650 článků, tak je dosaženo dostatečného výstupního napětí a kapacity aby diody vydržely svítit co nejdéle, uspořádání bude dále probráno v podkapitole pájení.

Nejdůležitější částí obvodové části je řídicí mikrokontroler, který je napájený přes měnič napětí a řídicí článek z baterií. Dále se k němu připojuje senzor napětí a proudu baterie pro další výpočty a také fotosenzor, který funguje jako podmínka pro sepnutí diod pokud osvětlení klesne pod danou hodnotu, která je nastavená potenciometrem na senzoru. Fotosenzor je umístěný na vrcholku modelu a je pro něj vymodelovaný speciální otvor ve střešní části.

Realizace je zakončena tvorbou programu pro řízení použitých obvodových prvků. Největší částí programu je kód pulzně šířková modulace (PWM) pro deset diody. Dále kód obsahuje řídicí podmínku založenou na údajích z fotosenzoru.

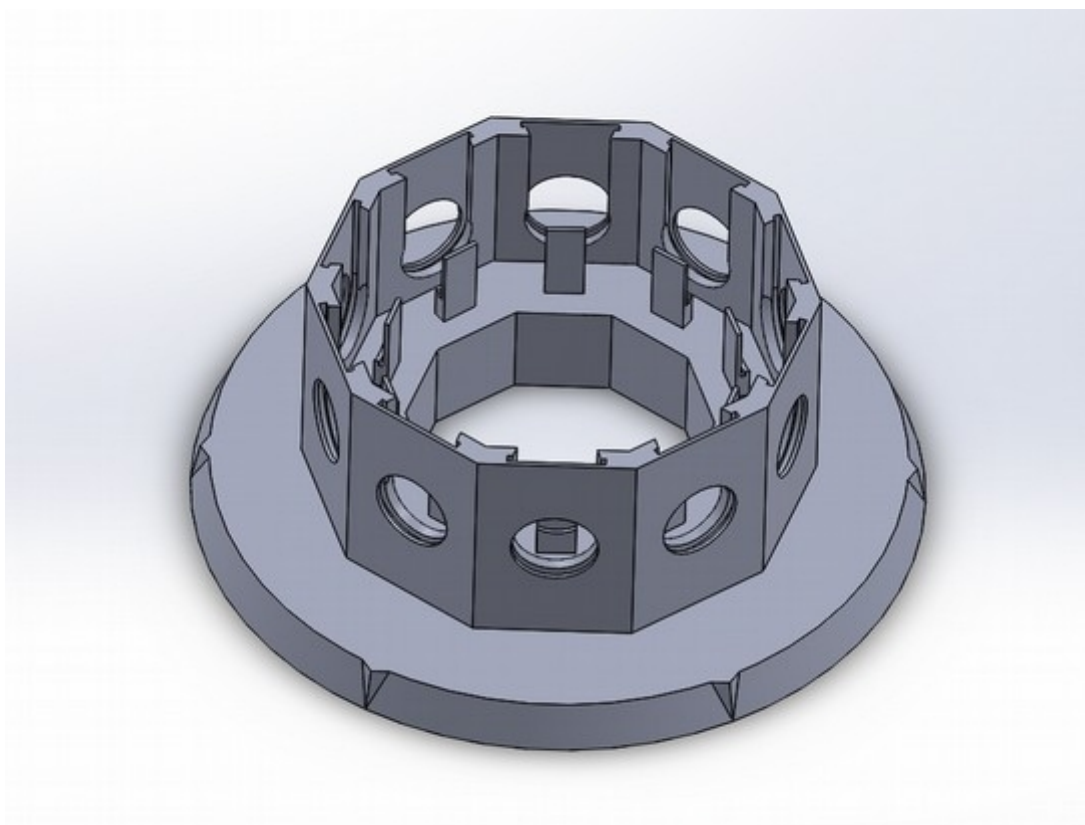
4.1 Modelování

V této kapitole je popsán průběh modelování jednotlivých částí těla modelu majáku podle předlohy předběžného návrhu.

Tento model se od předběžného návrhu liší tím že už obsahuje všechny potřebné detaily jako například otvory pro diody. Tento model byl vytvořený v programu SolidWorks.

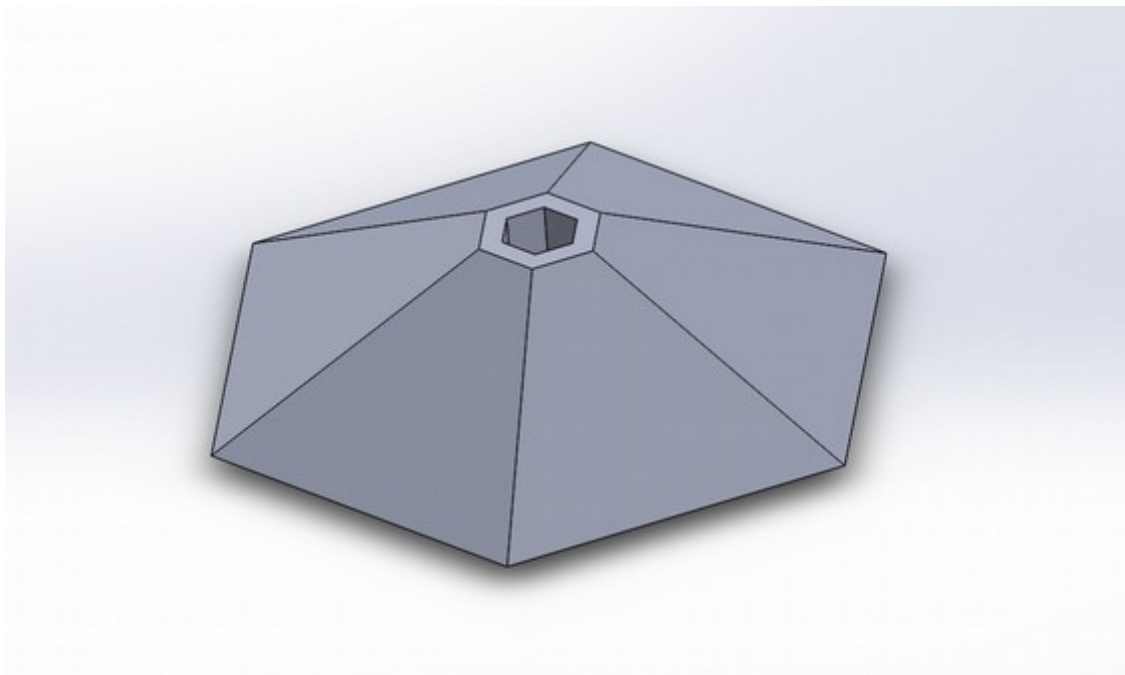
4.1.1 „Hlava“ majáku

Tato část je relativně složitě vykonstruovaná. Je to z důvodu že musí obsahovat dvojitou sadu drážek pro usazení jak případné čočky tak i diody aby k sobě doléhaly bez jakéhokoliv mechanického spojení. Protože takové spojení, jako například přilepení čočky k diodě, by se mohlo poškodit vlivem zahřívání diody. Která by se mohla následně uvolnit. Záběr na tuto část můžeme vidět na obrázku č. 18.



Obrázek 18: Horní část modelu s housingem pro diody

Tato část je následně z vrchu uzavřena stříškou s otvorem pro fotosenzor. Stříšku můžeme vidět na obrázku č. 19.



Obrázek 19: Střecha hlavy modelu majáku

4.1.2 „Tělo“ majáku

Tělo majáku určuje výslednou výšku celé konstrukce, podle zadání přibližně 50 cm. Je tvořena plastovou trubicí. V tomto těle se ukrývají baterie, kabely, mikrokontroler a ostatní elektronika a vše je tak chráněno před vnějšími vlivy.

4.1.3 Pájení

Tato kapitola obsahuje postup pájení obvodové části modelu krok po kroku. Postup je rozdělený na jednotlivé součástky, jak byly zapojeny, způsob jejich připojení do obvodu a jejich funkce v obvodu.

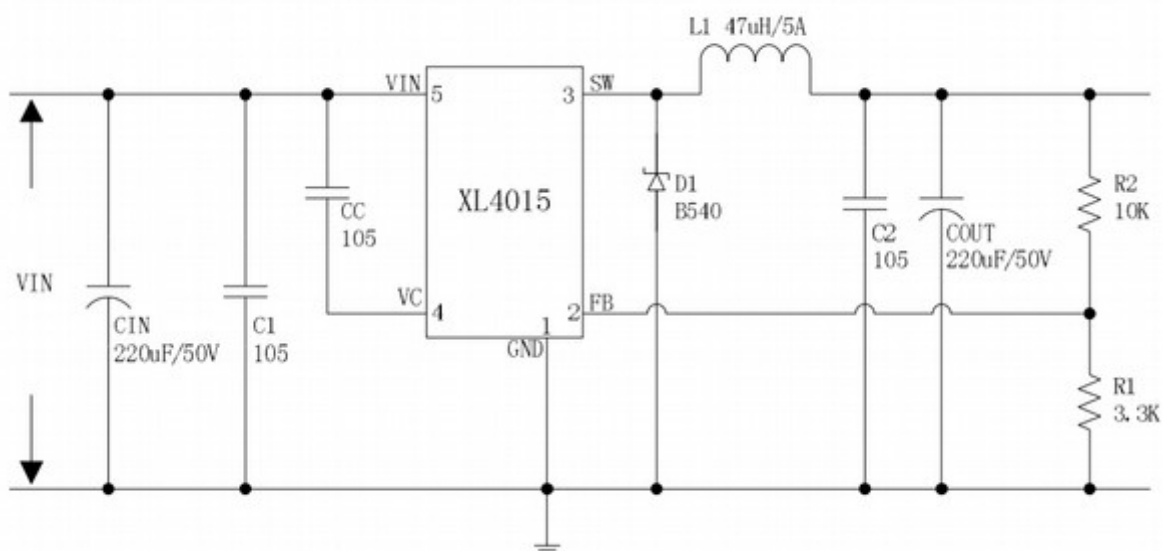
Začátečním nultým krokem byla příprava potřebných kabelů a propojek a opatření konců kabelů KONPC konektory dle potřeby.

4.1.4 Napájení mikrokontroleru

První malý ale důležitý krok bylo připravení měniče napětí pro napájení mikrokontroleru. Jelikož mikrokontroler vyžaduje vstupní napětí 5 voltů tak bylo nutné měnič na tuto hodnotu nastavit. To jsem provedl tak že jsem, ze zdroje, který v tomto případě simuloval fotovoltaické články, připojil napětí okolo 12V na vstupní svorky a voltmetr na výstupní svorky. Dále jsem otáčel potenciometrem na obvodu dokud jsem na výstupu nedosáhl hodnoty 4,95V. Tak byl měnič připraven. Jedná se o měnič napětí 5A XL4015 jehož výstupní napětí je nezávislé na vstupním, ale dokáže převádět pouze vyšší napětí na nižší. Dokáže převádět vstupní napětí v rozsahu 8V až 36V na nastavitelný výstup o hodnotě 1,25V až 36V s efektivitou 96% a dokáže pracovat při proudu až 5A [30]. Obvod můžeme vidět na obrázku č. 21.



Obrázek 21: Stejnosměrný měnič 5A XL4015



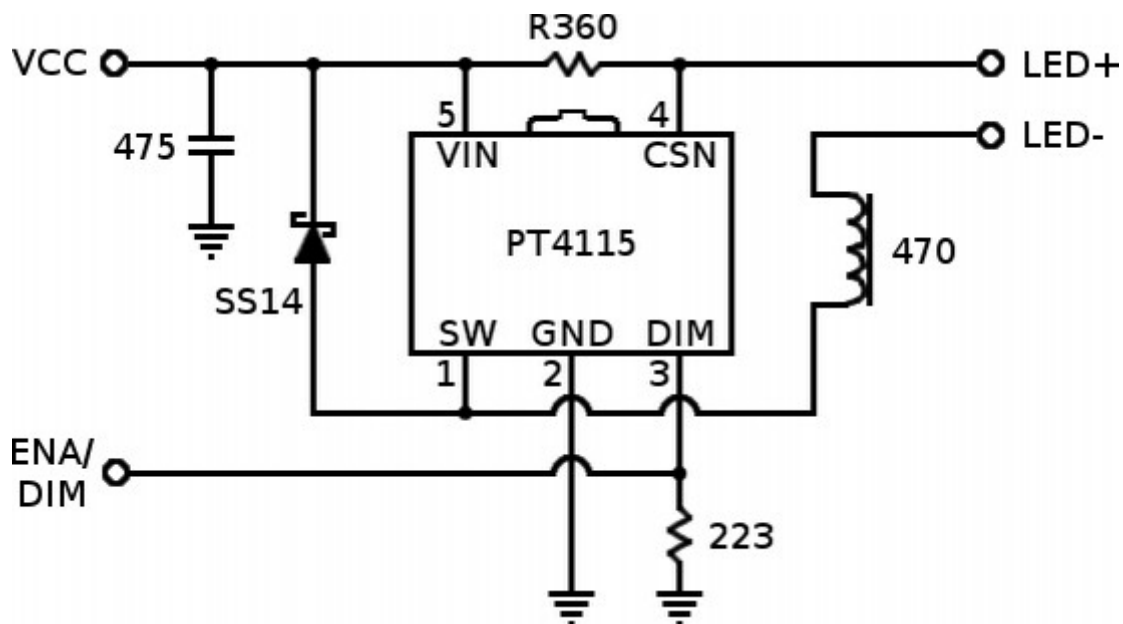
Obrázek 20: Schematické zapojení měniče

4.1.5 Diody

Druhý krok spočíval v přípravě diod, to obnáší připájení kabelů s KONCIP konektory a připojení k budiči. Budiče budou následně připojeny k mikrokonrolleru, který jim bude poskytovat řídicí signál obsahující informaci o úrovni PWM modulace a navíc budou ještě propojeny paralelně mezi sebou a zdrojem napájení. V našem případě to jsou baterie. Tento obvod dokáže pracovat s napájením 7V až 30V a výstupní proud může být až 700mA. Zapojení diody můžeme vidět na obrázku č. 22.



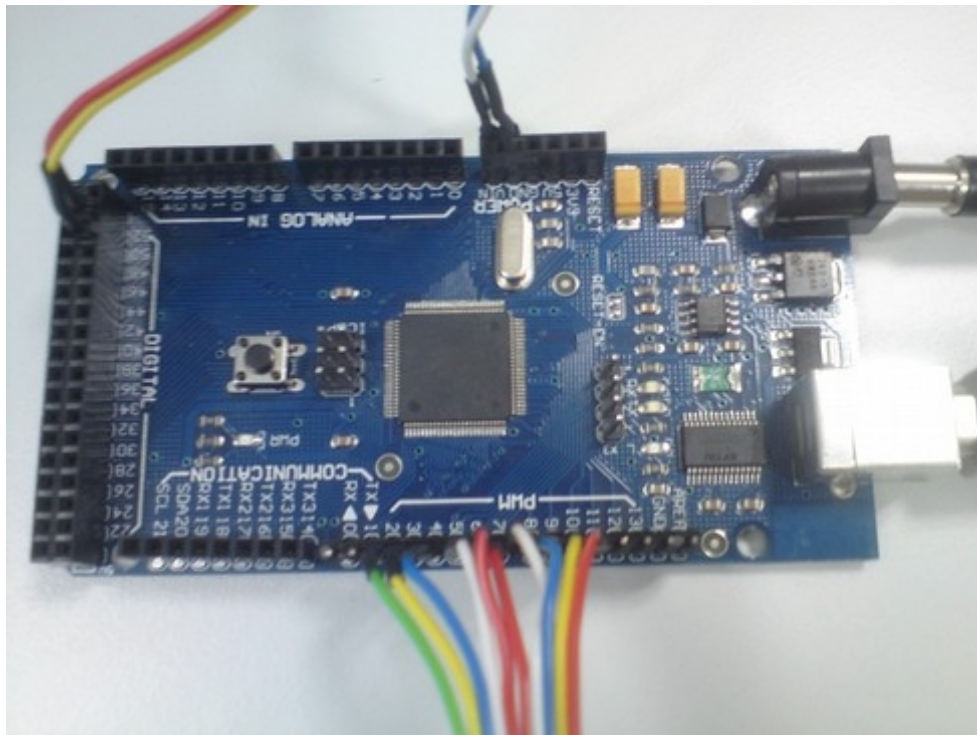
Obrázek 22: Zapojení budiče s diodou



Obrázek 23: Schematické zapojení budiče

4.1.6 Mikrokontroler

Dále jsem pokračoval nahráním programu do mikrokontroleru a následným připojením měniče pro napájení a obvodu s diodou pro otestování hlavní funkce programu spolu s dosavadním obvodem. Napájení je připojeno do předem určitého konektoru na straně a obvod s diodou se připojuje do jednoho z PWM výstupů. Zároveň bylo nutné připojit budič z obvodu s diodou k externímu zdroji, který simuloval baterii aby bylo možné provést test. mikrokontroler slouží jako hlavní řídicí člen v tomto obvodu, můžete ho vidět na obrázku č.24.



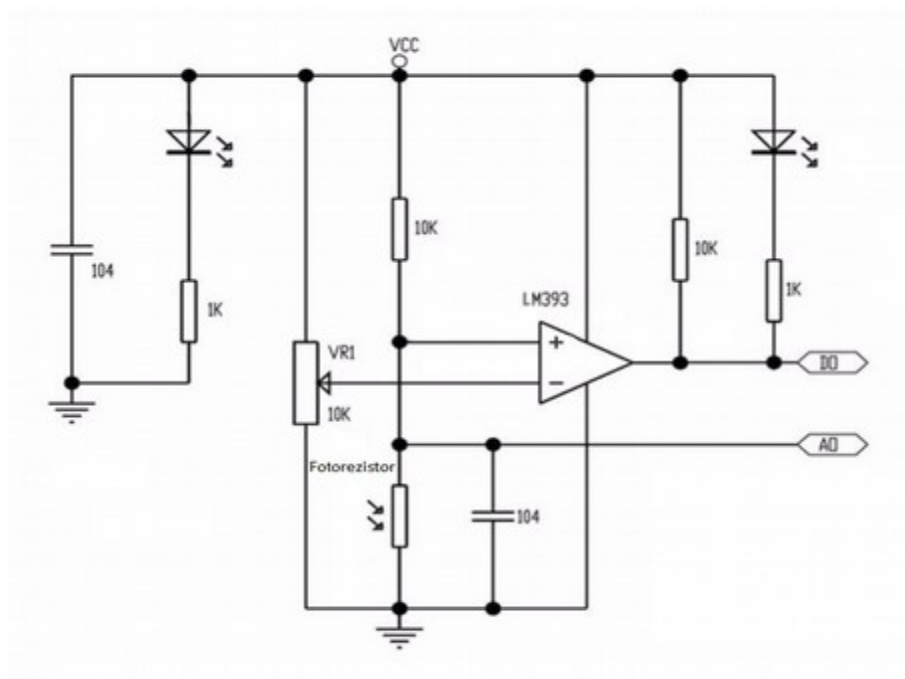
Obrázek 24: Mikrokontroler ATmega1280

4.1.7 Fotosenzor

Když byla diodová část funkční bylo potřeba zavést automatické řízení spínání diod pomocí fotosenzoru. Jedná se vlastně o senzorický fotorezistor doplněný o obvod s potenciometrem, který určuje úroveň osvětlení při které se obvod sepne. Připojil jsem součástku k napájení a využil zabudovanou led diodu indikující sepnutí senzoru k nastavení optimální úrovně zastínění potřebné k sepnutí. Následně jsem výstup připojil k mikrokontroleru a přidal do řídicího programu část s podmínkou podle signálu přicházejícího z senzoru. Následně jsem odzkoušel jeho funkčnost zastíněním senzoru a pozorováním rozsvícení diody. Pracovní napětí tohoto obvodu je 3,3V až 5V takže se dá napájet přímo z mikrokontroleru. Má dva výstupy, jeden analogový a druhý digitální. Můžeme ho vidět na obrázku č. 25.



Obrázek 25: Fotorezistorový snímač úrovně osvětlení



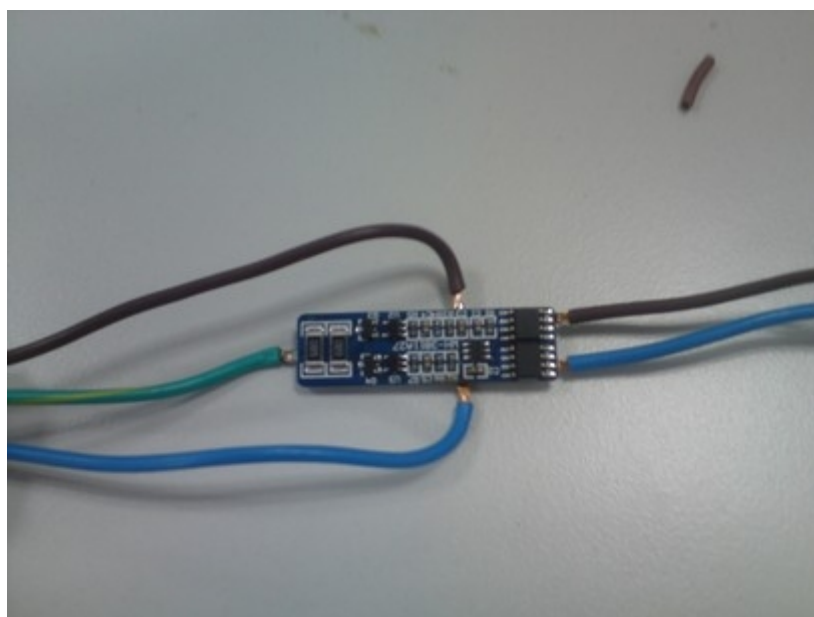
Obrázek 26: Schematické zapojení snímače

4.1.8 Baterie

Tímto byla část, která zprostředkovává funkci majáku hotová. Nyní byla na řadě napájecí část. Prvním krokem bylo spojení baterií do sério-paralelní kombinace díky, které je dosaženo dvojnásobného výstupního napětí jednoho článku, které je 3,6V. Protože 3,6V by nebylo dostačující pro napájení mikrokontroleru. Ještě předtím jsem zkontroloval úroveň napětí v každém článku, jestli jsou všechny články funkční. Následně jsem připojil tyto baterie k nabíjecímu obvodu. Kladnou elektrodu ke kladné, zápornou k záporné a dodatečný vývod mezi každým párem ke speciálnímu kontaktu tohoto obvodu, který tak zároveň vytváří i ochranu proti přebíjení a podvybití článku. Pro nabíjení už stačí jen připojit fotovoltaické panely na určené kontakty nabíjecího obvodu. Výsledný vytvořený článek můžeme vidět na obrázku č.27. A nabíjecí obvod na obrázku č.28.



Obrázek 27: Napájecí článek sestavený z 8mi Li-ion 18650 článků



Obrázek 28: Nabíjecí ochranný obvod s připravenými kontakty

4.1.9 Fotovoltaické panely

Následuje paralelní spojení fotovoltaických panelů. Je to z důvodu dosažení dostatečného nabíjecího proudu. Ještě předtím sem provedl předběžné testování každého z panelů. Pod běžným osvětlením místnosti zářivkou (bez slunečního světla) byl výstupní proud okolo 0,26mA, při nepřímém slunečním osvětlení (venku ale ve stínu) byl výstupní proud přibližně 210mA a na přímém slunečním osvětlením dosahoval proud až 340mA. Výstupní proud spojení všech tří panelů se bude tedy pohybovat okolo 1A což je dostatečný proud pro dostačující nabití baterií aby vydržely napájet celý obvod několik hodin přes noc. Spojené fotovoltaické panely můžeme vidět na obrázku č. 29.



Obrázek 29: 3 Monokrystalické fotovoltaické panely použité pro napájení modelu

Posledním krokem už je jen připojení fotovoltaických panelů na vstupní kontakty nabíjecího článku, které zároveň slouží i jako vybíjecí kontakty a zároveň se připojí napěťovému měnič, který napájí mikrokontroler. Celá obvodová část se tak uvede do chodu pod napájením z fotovoltaických panelů.

4.2 Programování

V této části bude popsán řídicí program, který celý maják řídí a je uložený v paměti mikrokontroleru. Jak je již výše zmíněno, program se rozděljuje na dvě části a to část řídicí pozvolné zhášení jednotlivých diod a vytváření iluze otáčejícího se zdroje světla. A část, která zpracovává data z fotosenzoru a vytváří logickou podmínku pro rozsvěcení diod.

4.2.1 PWM

Ze začátku jsou definovány proměnné „LedS“ typu integer pro každou diodu, které udávají na kterém pinu bude výstup pro každou diodu. Následně je definovány „LedXVal“, ty určují intenzitu osvětlení každé diody. Dále je definována také proměnná pro čítač „i“ pro následující cyklus a všechny proměnné „LedX“ jsou nastavené jako výstup na pinu. Tuto část programu můžeme vidět na obrázku č. 30.

```
// Output
int Led1 = 2; // LED1, connected to digital pin 2
int Led2 = 3; // LED2, connected to digital pin 3
int Led3 = 4; // LED3, connected to digital pin 4
int Led4 = 5; // LED4, connected to digital pin 5
int Led5 = 6; // LED5, connected to digital pin 6
int Led6 = 7; // LED6, connected to digital pin 7
int Led7 = 8; // LED7, connected to digital pin 8
int Led8 = 9; // LED8, connected to digital pin 9
int Led9 = 10; // LED9, connected to digital pin 10
int Led10 = 11; // LED10, connected to digital pin 11
// Program variables
int Led1Val = 255; // variables to store the values to send to the pins
int Led2Val = 1; // Initial values are full, and off
int Led3Val = 1;
int Led4Val = 1;
int Led5Val = 1;
int Led6Val = 1;
int Led7Val = 1;
int Led8Val = 1;
int Led9Val = 1;
int Led10Val = 1;
const int lightPin = 52;
int lightState = 0;

int i = 0; // Loop counter
int wait = 2; // 20ms (.02 second) delay; shorten for faster fades
int DEBUG = 0; // DEBUG counter; if set to 1, will write values back via serial

#line 22 "C:\\Users\\kovam\\Documents\\Arduino\\sketch_apr20a\\sketch_apr20a.ino"
void setup();
#line 33 "C:\\Users\\kovam\\Documents\\Arduino\\sketch_apr20a\\sketch_apr20a.ino"
void loop();
#line 22
void setup()
{
    pinMode(Led1, OUTPUT); // sets the pins as output
    pinMode(Led2, OUTPUT);
    pinMode(Led3, OUTPUT);
    pinMode(Led4, OUTPUT);
    pinMode(Led5, OUTPUT);
    pinMode(Led6, OUTPUT);
    pinMode(Led7, OUTPUT);
    pinMode(Led8, OUTPUT);
    pinMode(Led9, OUTPUT);
    pinMode(Led10, OUTPUT);
```

Obrázek 30: Definiční část programu pro PWM

Dále následuje už už jen samotný čítač, který přechází postupně přes oblasti jednotlivých diod a plynule zvyšuje nebo snižuje jejich intenzitu, jak můžeme vidět na obrázku č. 31.

```
// Main program
void loop()
{
    i += 1; // Increment counter
    if (i < 255) // First phase of fades
    {
        Led1val -= 1; // down
        Led2val += 1; // up
        Led3val = 1; // low
        Led4val = 1; // low
        Led5val = 1; // low
        Led6val = 1; // low
        Led7val = 1; // low
        Led8val = 1; // low
        Led9val = 1; // low
        Led10val = 1; // low
    }
    else if (i < 509) // Second phase of fades
    {
        Led1val = 1; // low
        Led2val -= 1; // down
        Led3val += 1; // up
        Led4val = 1; // low
        Led5val = 1; // low
        Led6val = 1; // low
        Led7val = 1; // low
        Led8val = 1; // low
        Led9val = 1; // low
        Led10val = 1; // low
    }
    else if (i < 763) // Third phase of fades
    {
        Led1val = 1; // low
        Led2val = 1; // low
        Led3val -= 1; // down
        Led4val += 1; // up
        Led5val = 1; // low
        Led6val = 1; // low
        Led7val = 1; // low
        Led8val = 1; // low
        Led9val = 1; // low
        Led10val = 1; // low
    }
}
```

Obrázek 31: PWM cyklus pro první tři diody

Až čítač dosáhne maximální hodnoty tak se resetuje a cyklus běží odznovu.

4.2.2 FOTOSENZOR

Na začátku je definovaná konstanta „LightPin“, která je nastavena jako vstupní pin pro digitální vstup na čísle 52. A proměnná „lightstate“ do které se bude zapisovat hodnota z „LightPin“. Dále program obsahuje podmínku if, která udává že pokud bude mít výstup z fotosenzoru hodnotu logické 1. Tak dojde k přenesení hodnot z „LedXVal“, které jsou použité v čítači na předem definované piny „LedXVal“. Pokud je na pinu „LightPin“ logická 0 je místo toho na pinech „LedX“ nastavena nejnižší hodnota (vypnuto). Tuto část programu můžete vidět na obrázku č. 32.

```
lightstate = digitalRead(lightPin);
//analogwrite(Pin, val); // write current values to LED pins
// analogwrite(Pin, val);
// analogwrite(Pin, val);
if (lightState == HIGH) {
  analogwrite(Led1, Led1val);
  analogwrite(Led2, Led2val);
  analogwrite(Led3, Led3val);
  analogwrite(Led4, Led4val);
  analogwrite(Led5, Led5val);
  analogwrite(Led6, Led6val);
  analogwrite(Led7, Led7val);
  analogwrite(Led8, Led8val);
  analogwrite(Led9, Led9val);
  analogwrite(Led10, Led10val);
} else {
  analogwrite(Led1, 1);
  analogwrite(Led2, 1);
  analogwrite(Led3, 1);
  analogwrite(Led4, 1);
  analogwrite(Led5, 1);
  analogwrite(Led6, 1);
  analogwrite(Led7, 1);
  analogwrite(Led8, 1);
  analogwrite(Led9, 1);
  analogwrite(Led10, 1);
}
```

Obrázek 32: Spínací podmínka založená na výstupní hodnotě z fotosenzoru

5 ZÁVĚR

Tato práce byla rozdělena na tři body.

První bod byl zaměřen na probrání problematiky fotovoltaiky z teoretického hlediska. Byl popsán a vysvětlen fotovoltaický jev. Dále byly probrány různé možnosti rozdělení panelů. Jednotlivé příklady byly porovnány z hlediska efektivity a předloženy jejich určité výhody, nevýhody a příklad výroby současně nejpoužívanějšího fotovoltaického panelu. Monokrystalického, který byl nakonec i vybrán pro použití v této práci.

V druhém bodě práce proběhl návrh modelu majáku využívajícího fotovoltaické panely jako zdroj elektrické energie. Byly uvedeny možnosti realizace jednotlivých částí a po zvážení jejich výhod a nevýhod byly vybrány nejlépe vyhovující řešení. Jejich kombinací dostaneme celkový návrh majáku.

Třetím bodem byla realizace modelu majáku podle výše zmíněného návrhu, která je detailně popsána ve vlastní kapitole. Model je tvořen fotovoltaickými panely s celkovým proudovým výstupem 1Ah. Přestože spotřeba celého obvodu je pouze okolo 400mAh, zvolil jsem schválně více než dvojnásobný výkon panelů. A to z důvodu možnosti nepříznivých venkovních podmínek, které můžou značně snížit výkon panelů. Druhým důvodem je rozdílná délka noci v různých ročních obdobích, což ve výsledku znamená, že v zimě bude potřeba mnohem většího výkonu než v létě. Ale s touto výkonovou rezervou by měly být použité fotovoltaické panely schopny celý obvod udržet v chodu i při polovičním výkonu. Další součástí modelu je mikrokontrolerový řídicí obvod, který je detailně popsán výše. Dále model obsahuje vysokosvítivé LED diody, a to z důvodu že klasické LED diody nemají dostatečnou svítivost pro realistickou reprezentaci modelu majáku. Výsledný model je vidět na obrázku č. 33 .



Obrázek 33: Model majáku

LITERATURA

- [1] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. *Solární energie: fotovoltaika - perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti*. 2., dopl. vyd. V Praze: ČZU, 2006, 149 s. ISBN 8021314885.
- [2] Solar Energy Guide: The Photovoltaic Effect. *Viridan Solar* [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: http://www.viridiansolar.co.uk/Solar_Energy_Guide_5_2.htm
- [3] Fotovoltaiika pro každého. *Czech RE Agency* [online]. 2015, 12/7/2015 [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhyoze/fotovoltaiika>
- [4] Photovoltaic Cells – Generating electricity. *Images: Scientific Instruments* [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.imagesco.com/articles/photovoltaic/photovoltaic-pg4.html>
- [5] Photovoltaic technology: The photovoltaic cell. *Enerpoint* [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: http://www.enerpoint.de/photovoltaic_technology_2.php
- [6] Fotovoltaiika: Solární (fotovoltaiické) články. *CEZ: Education program* [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [7] SAGA, Tatsuo. Advances in crystalline silicon solar cell technology for industrial mass production. *NPG Asia Materials* [online]. 2010: 96-102 [cit. 2015-12-12]. DOI: 10.1038/asiamat.2010.82. ISSN 18844049. Dostupné z: <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/asiamat.2010.82>
- [8] The Different Types of Solar Panels. *The Renewable Energy Hub* [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <https://www.renewableenergyhub.co.uk/different-types-of-solar-panels.html>
- [9] Amorphous Silicon Solar Panels. *ENERGY INFORMATIVE: THE HOMEOWNER'S GUIDE TO SOLAR PANELS* [online]. 26.6.2013 [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://energyinformative.org/amorphous-silicon-solar-panels/>
- [10] Cadmium Telluride – The Good and the Bad. *Solar facts and advice* [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.solar-facts-and-advice.com/cadmium-telluride.html>
- [11] High-Efficiency GaAs Thin-Film Solar Cell Reliability. *Alta Devices, Inc.* [online]. 2013, 27.2.2013 [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: http://energy.gov/sites/prod/files/2014/01/f7/pvmrw13_ps2_alta_li.pdf
- [12] *High-efficiency multi-junction solar cells: Current status and future potential* [online]. Centre for Research in Photonics. University of Ottawa, 2007 [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://sunlab.eecs.uottawa.ca/wp-content/uploads/2014/pdf/HiEfficMjSc-CurrStatusFuturePotential.pdf>

- [13] *Concentrator Photovoltaic System Basics* [online]. 2013, 20.8.2013 [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://energy.gov/eere/energybasics/articles/concentrator-photovoltaic-system-basics>
- [14] *Crystalline Silicon Solar Cells* [online]. Photovoltaics Special Research Centre. University of New South Wales, 2001 [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: http://www.univie.ac.at/photovoltaik/vorlesung/ss2013/unit9/silicon_solar_cells.PDF
- [15] *Solar2ru* [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://solar2ru.com/blogs/14-rena/posts?locale=en>
- [16] Manufacturing Si Cells: Refining Silicon. *PVEducation* [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.pveducation.org/pvcdrom/manufacturing/refining-silicon>
- [17] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. *Elektro* [online]. 2010(3) [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40646.pdf>
- [18] Mechanical Wafering. *Freiberger: Compound materials* [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.freiberger.com/en/technology/mechanical-wafering.html>
- [19] Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. *Elektro: Časopis pro elektroniku* [online]. 2010 [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/konstrukce-a-vyroba-fotovoltaickych-clanku-a-panelu--10310>
- [20] Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny. *CNE* [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [21] WOODFORD, Chris. Fresnel Lenses. *Explain That Stuff!* [online]. 2014. Dostupné také z: <http://www.explainthatstuff.com/fresnel-lenses.html>
- [22] DC Motors. *National University of Singapore* [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: http://vlab.ee.nus.edu.sg/~bmchen/courses/EG1108_DCmotors.pdf
- [23] Pulse Width Modulation. *All About Circuits: Semiconductors* [online]. (3) [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-11/pulse-width-modulation/>
- [24] Solar Electricity Basics: photovoltaics, solar cells, irradiation, orientation, tilt angle, and watt peak. *Comel: New Energy Technology* [online]. 2010 [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: http://www.comel.gr/en/solar_basics.html
- [25] Průvodce fotovoltaikou. *Kudera* [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <http://www.kudera.cz/poptavka.html>
- [26] Lithium-ion battery. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-06-02]. Dostupné z:

https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery

- [27] Self-discharge. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-06-02]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Self-discharge>
- [28] Memory effect. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-06-02]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Memory_effect
- [29] Microcontroller. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-06-02]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller>
- [30] 5A 180KHz 36V Buck DC to DC Converter. *XLSEMI* [online]. 4015, , 10 [cit. 2016-06-02]. Dostupné z: <http://i-makers.info/resource/XL4015%20datasheet.pdf>
- [31] Language Reference. In: *Arduino* [online]. 2016 [cit. 2016-06-02]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Reference/HomePage>
- [32] Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V: DATASHEET. *Atmel* [online]. 2014, , 435 [cit. 2016-06-02]. Dostupné z: http://www.atmel.com/images/atmel-2549-8-bit-avr-microcontroller-atmega640-1280-1281-2560-2561_datasheet.pdf
- [33] LITHIUM ION BATTERIES: INDIVIDUAL DATASHEET: CGR18650DA. *Panasonic* [online]. 2007 [cit. 2016-06-02]. Dostupné z: http://web.archive.org/web/20130603055918/http://www.panasonic.com/industrial/includes/pdf/Panasonic_LiIon_CGR18650DA.pdf
- [34] Material Safety Data Sheet: 18650 Lithium-Ion Battery. *Armament Systems and Procedures* [online]. 2013 [cit. 2016-06-02]. Dostupné z: https://www.asp-usa.com/images/MSDS_-_18650_Lithium-Ion_Battery.pdf
- [35] Interkalační sloučeniny. *Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická* [online]. 2013 [cit. 2016-06-02]. Dostupné z: <http://www.upce.cz/fcht/slchpl/vyzkum/interkalacni.html>

SEZNAM POUŽITÉ ELEKTRONIKY

	Počet kusů
Vysokosvítivá dioda Cree XM-L2	10
Vstupní budič pro diodu	10
Měnič napětí 5A XL4015	1
Ochranný/nabíjecí článek pro baterie 2S4AW005	1
Fotosenzorový obvod	1
Mikrokontroler ATmega1280-16AU	1
Baterie Li-ion 18650	8
Fotovoltaické panely 12V/5W/0,29A (NETC-M5) 5Wp	3

SOUBORY NA CD

Program - Control.ino (řídící program v původním formátu)
- Control.txt (textový formát)

Model - Sestava1.SLDASM (sestava obou částí)
- Střecha.sldprt
- Tělo.sldprt