

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra fyziky



**Ostrovní solární fotovoltaické systémy
určení k osvětlování**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Martin Libra, CSc.

Autor práce: Jaromír Holec

PRAHA 2012

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra fyziky
Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Holec Jaromír

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Ostrovní solární fotovoltaické systémy určené k osvětlování

Anglický název

Off-grid photovoltaic solar systems for illumination

Cíle práce

Vytvoření rešerše zdané problematiky a její hlubší zvládnutí na úrovni bakalářského stupně kvalifikace. Formulování vlastních závěrů.

Metodika

Rešerše různých druhů zdrojů světla určených pro ostrovní fotovoltaické systémy s akumulátory elektrické energie. Rešerše samotných fotovoltaických systémů a vlastní úvaha o jejich přednostech a nedostacích.

Osnova práce

1. Úvod
2. Stav problematiky
3. Diskuse
4. Závěry

Rozsah textové části

25 stran

Klíčová slova

solární energie, fotovoltaika, světelný zdroj

Doporučené zdroje informací

Hallyday, D. a kol., Fyzika. VUTIUM, Brno, 2003, ISBN 80-214-1868-0

M. Libra, V. Poulek, Fotovoltaika. Nakladatelství ILSA, Praha, 2010. ISBN 978-80-904311-5-7.

S. Miškařík, Moderní zdroje světla. SNTL, Praha, 1979

Libra, M., Poulek, V., Bican, P., Vysoce... Jemná mechanika a optika, 49,2, 2004, s.42-43.

Vedoucí práce

Libra Martin, prof. Ing., CSc.

Termín zadání

listopad 2010

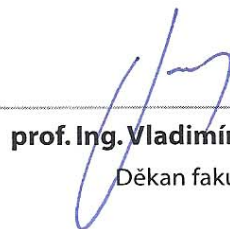
Termín odevzdání

duben 2012



prof. RNDr. Ing. Jiří Blahovec, DrSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 7.2.2011

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: „Ostrovní solární fotovoltaické systémy určené k osvětlování“ vypracoval samostatně a použil jsem jen citovaných literárních pramenů.

V Praze dne 8.4.2012

Holec Jaromír

Poděkování

Děkuji Prof. Ing. Martinu Librovi, CSc. za odborné vedení a pomoc při zpracování bakalářské práce na katedře fyziky Technické fakulty České zemědělské univerzity v Praze.

Abstrakt

Tato bakalářská práce popisuje dnešní možnosti osvětlování ostrovních solárních fotovoltaických systémů s akumulátory elektrické energie.

V úvodní části jsou uvedeny základní principy fotovoltaické přeměny solární energie, včetně Slunce jakožto zdroje veškeré energie na Zemi. Dále jsou v práci rozděleny samotné fotovoltaické systémy na jednotlivé druhy a vysvětleny rozdíly různých fotovoltaických článků. Stručně jsou také popsány možnosti akumulace elektrické energie, které lze v ostrovních systémech použít. Nosná část celé práce je založena na literární rešerši různých zdrojů světla, které by bylo možné v dnešní době použít v noci k jejich osvětlování.

V závěrečné části a v diskusi jsou shrnuty klady a zápory jednotlivých fotovoltaických systémů a vyhodnocení, který z mnoha druhů světelných zdrojů by měl být pro osvětlování těchto systémů nejvhodnější.

Klíčová slova

Světlo, fotovoltaický jev, fotovoltaické systémy, solární energie, světelný zdroj

Abstract

These teisis describes the possibilities of today off-grid photovoltaic solar systems for illumination with battery power.

The first part describes the basic principles of photovoltaic conversion of solar energy, including the Sun, as a source of all energy on Earth, divides itself photovoltaic systems on individual species and explains the differences of various photovoltaic cells and briefly describes the accumulation of electrical energy that can be used in off-grid systems. Supporting part of the whole work is based on literature search of different types of light sources, which could be nowadays be used at night to their lighting.

In the final section there is discussion, which summarizes positives and negatives of each photovoltaic systems and evaluate which of the many types of light sources would be most ideal for illumination of photovoltaic systems.

Key words

Light, photovoltaic effect, photovoltaic systems, solar energy, light source

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Slunce	2
3	Světlo	3
3.1	Fyzikální podstata světla	4
3.2	Viditelné světlo.....	5
3.3	Foton.....	6
4	Fyzikální podstata fotovoltaické přeměny energie.....	6
4.1	Polovodiče	6
4.1.1	Polovodič typu N	8
4.1.2	Polovodič typu P.....	8
4.1.3	Přechod N-P.....	8
4.2	Princip fotovoltaické přeměny energie.....	9
4.3	Spektrální citlivost fotovoltaického článku	9
5	Fotovoltaické systémy	10
5.1	Systémy pro drobné aplikace.....	10
5.2	Systémy připojené na síť	10
5.3	Ostrovní systémy	11
5.3.1	Ostrovní systémy s přímým napájením	12
5.3.2	Ostrovní systémy s akumulátory elektrické energie.....	12
5.3.3	Hybridní ostrovní systémy.....	13
5.4	Fotovoltaické systémy s koncentrátory slunečního záření	14
5.5	Orientace fotovoltaických systémů	14
6	Druhy fotovoltaických článků.....	15
6.1	Křemíkové monokrystalické články	15
6.2	Fotovoltaické články z polykrystalického křemíku.....	15
6.3	Fotovoltaické články z amorfního křemíku.....	16
6.4	Fotovoltaické články na bázi tenkých vrstev.....	17
6.5	Fotovoltaické články na bázi Galium Arsenidu (GaAs).....	17
7	Akumulace elektrické energie.....	17
7.1	Elektrochemické akumulátory	18
7.2	Další možnosti akumulace energie	19
7.2.1	Superkapacity	19
7.2.2	Přečerpávací elektrárny.....	19
7.2.3	Akumulace energie do vodíku	20
7.2.4	Akumulace do magnetického pole cívky.....	20
7.3	Regulátory pro ostrovní systémy	21

8	Zdroje světla	21
8.1	Žárovky.....	22
8.1.1	Obyčejné žárovky	22
8.1.2	Halogenové žárovky	23
8.2	Výbojky	25
8.2.1	Nízkotlaké výbojky.....	25
8.2.1.1	Sodíkové výbojky.....	25
8.2.1.2	Zářivky	26
8.2.1.3	Kompaktní zářivky	26
8.2.1.4	Indukční výbojky.....	27
8.2.2	Vysokotlaké výbojky	28
8.2.2.1	Rtuťové výbojky.....	28
8.2.2.2	Halogenidové.....	29
8.2.2.3	Sodíkové.....	30
8.3	Světlo emitující diody.....	30
9	Diskuse	32
10	Závěr	34
11	Literatura.....	36
12	Seznamy použitých zkratk, obrázků, tabulek, symbolů.....	38
12.1	Seznam použitých obrázků	38
12.2	Seznam tabulek.....	38

1 Úvod

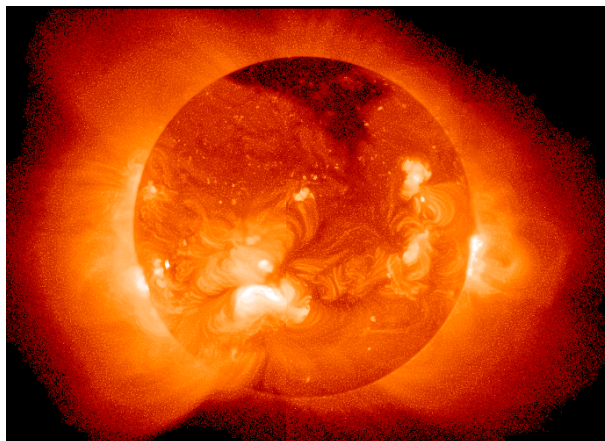
V dnešní době je problematika obnovitelných zdrojů energie předmětem diskusí nejen na spoustě světových konferencích. Musíme uvážit, že při současné potřebě energie, která v roce 2000 překročila hodnotu $E = 10^{14} \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$ a která nadále exponenciálně vzrůstá by dle prognóz za necelých 100 let překročila hodnotu $E = 10^{17} \text{ kWh} \cdot \text{rok}^{-1}$. S tímto množstvím již není naše planeta schopna ze svých zásob, především z fosilních paliv, vystačit. Z fosilních paliv se jedná o uhlí, ropu, zemní plyn a další. Z ekologického hlediska jsou fosilní paliva značně nevyhovující. Spalováním fosilních paliv je do atmosféry vypouštěn CO_2 , nemluvě o dalších škodlivých plynech a popílku, které mají za příčinu ztenčování ozónové vrstvy a vznik ozónové díry a s tím související skleníkové plyny, které částečně pohlcují infračervené záření vyzářené z povrchu planety a částečně jej odrážejí zpět. To vše způsobuje oteplování zemského povrchu a tání ledovců. Využívání fosilních paliv by mělo zvýšit výstavbu elektráren, schopných vyrábět energii z obnovitelných zdrojů, kterými jsou slunce, voda, vítr, bioplyn a další. [1]

Tato práce se bude zabývat konkrétně energií, kterou lze získat přímou přeměnou dopadajícího slunečního záření na energii elektrickou. Většina elektráren na zemi totiž funguje na principu ohřevu vody, která se při bodu varu začne odpařovat a vzniklá pára roztáčí parní turbínu, která je přes hřídel připojena na generátor, který vytváří trojfázový proud. Konkrétně budou probány ostrovní fotovoltaické systémy s akumulátory elektrické energie určené k osvětlování. Pozornost bude věnována také fyzikální podstatě světla a druhům solárních fotovoltaických článků, které jsou v dnešní době známé. Zároveň bude probán fotovoltaický jev – jev, při kterém dochází k přeměně slunečního záření. Dále pohovořím o možnostech akumulace energie u ostrovních fotovoltaických systémů a různých zdrojích světla, které je možné využít v noci k jejich osvětlování z přebytečné energie, kterou systémy naakumulovaly během dne.

2 Slunce

Slunce je centrem naší planetární soustavy, do níž patří také planeta Země. Je nám hvězdou ze všech hvězd nejbližší a zároveň je pro nás nejdůležitější. Je zdrojem veškeré energie pro nás i naši planetu. [2]

Primárním zdrojem energie ve Slunci je jaderná fúze, která spočívá ve spojování jader vodíku za vzniku helia a posléze dalších těžších prvků. Ve Slunci dochází každou sekundu k přeměně přibližně 600 milionů tun vodíku na helium. Hmotnost vzniklého tělesa je o něco menší, než hmotnost do reakce vstupujícího vodíku. Rozdíl hmotnosti lze podle známého Einsteinova vztahu $E = mc^2$ přepočítat na energii. Z toho vyplývá, že každou sekundu ubude 4,26 milionů tun hmoty, což představuje uvolnění $3,8 \times 10^{26}$ J energie. Slunce ve svém stabilním stádiu vývoje setrvá tak ještě dalších přibližně 5 miliard let. Proto jej tedy lze považovat z hlediska lidského života i z hlediska délky lidské civilizace o energetický zdroj opravdu „udržitelný“, ačkoliv ne věčný. [3]



Obrázek 1 – Slunce v rentgenové oblasti spektra

Teplota slunečního povrchu je přibližně 5900 K. Ze slunce dopadá energie na Zemi ve formě elektromagnetického záření a po průchodu slunečního záření atmosférou je jeho spektrum pozměněno a ochuzeno o některá pásma, protože dochází k absorpci a rozptylu na molekulách plynů tvořících atmosféru a na částicích prachu nebo aerosolů v atmosféře přítomných. [3]

Sluneční záření, které projde atmosférou, se dělí z hlediska směrovosti na tři složky a to konkrétně na přímé záření, které je směřováno v úzkém úhlu ze slunečního kotouče a tvoří tak podstatnou část energie. Další část energie připadá na tzv. difúzní cirkumsolární záření, které vlivem rozptylu v atmosféře nesměruje pouze ze slunečního kotouče (určitý směr však zachová, ale je směřováno v mnohem větším úhlu než přímé záření). Nejmenší část energie připadá na difúzní izotropní záření, které je atmosférou rozptýleno natolik, že je ze všech směrů stejně intenzivní (převládá i při zcela zatažené obloze). [4]

Většina sluneční energie, která dopadá na povrch atmosféry a proniká k zemskému povrchu, je odražen zpět do vesmíru jednak ve formě krátkovlnného záření (cca 30 %), jednak ve formě dlouhovlnného záření, tedy tepla (47 %). Podstatná část sluneční energie je tedy přeměněna na teplo a je uplatňována v koloběhu vody vypařováním. Fotosyntéza a na ni navazující toky energií v potravních řetězcích jsou řádově nižší, než jejich přímá přeměna na teplo. [3]

3 Světlo

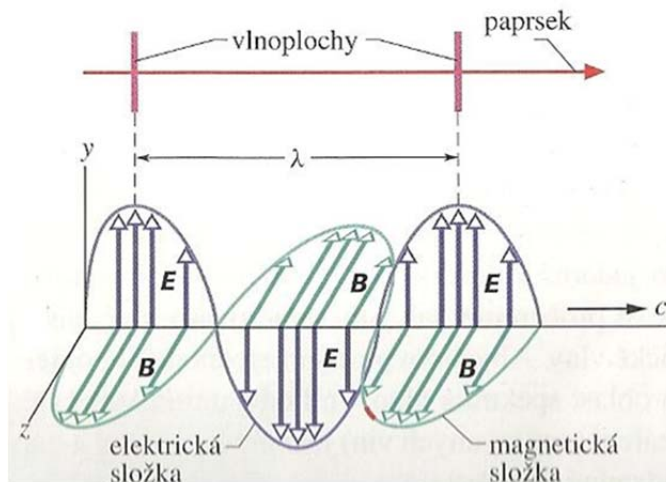
Umělé světlo je dnes stejně neoddelitelnou součástí životního prostředí, jako vzduch a voda. Je to proto, že oprošťuje lidstvo od závislosti na přírodním světle a též ovlivňuje způsob jeho života. Proto jednou z velkých převratných změn, které se v životě lidstva odehrály a odehrávají, byl okamžik, ve kterém člověk začal mít možnost zažehnat tmou pouhým otočením vypínače. [5]

Světlo, pro jeho dostupnost a levnost, vnímáme jako naprostou samozřejmost a nad jeho fyzikální podstatou často ani nepřemýšlíme. Přesto však je tato problematika velmi zajímavá, hluboká a složitá. I když už ve starověku se učenci zabývali problematikou optického zobrazování, vážnější úvahy o podstatě světla spadají až do 17. století. V roce 1678 předložil Christian Huygens pařížské Akademii pojednání o povaze světla jako podélného vlnění. Isaac Newton však považoval světlo za tok částic a jeho autorita způsobila, že až do konce 18. století převládala korpuskulární představa světla. Teprve v 19. století začal velký rozvoj vlnové teorie podpořený experimenty s interferencí, s ohybem a vědeckými objevy v oboru elektřiny a magnetizmu. [1]

Přírodní jev, který nazýváme „světlo“, ovlivňuje ve velké míře náš život i naše jednání. Většinu informací, které potřebujeme při práci, získáváme pomocí vidění. Bez dostatečného množství světla jsme zbaveni základního informačního zdroje. Přesné vidění je však možné pouze tehdy, je-li zajištěno dostatečné množství světla. Již na samém počátku civilizace se člověk snažil prodloužit hodiny své činnosti tím, že si vytvořil umělé zdroje světla. Aby mohl světlo vyrábět a používat, musel poznat a vysvětlit jeho podstatu. [5]

3.1 Fyzikální podstata světla

Issac Newton vytvořil korpuskulární teorii, která považuje světlo za proud částic (z latinského corpusculum, tj. částička). Světelný paprsek představuje dráhu pohybu světelné částice. Ve stejnorodém prostředí se částice pohybuje přímočaře a paprsek má tvar přímky. Ve stejné době Christian Huygens považuje světlo za určitý druh postupného vlnění, jehož čelo – vlnoplocha – má v kritické vzdálenosti od zdroje světla tvar rovin. Kolmice k vlnoploše – paprsek – vyznačuje směr, který světlo postupuje. Podle obou teorií lze vysvětlit některé zákony optiky (např. zákon odrazu, který říká, že odražený paprsek leží v rovině dopadu a úhel odrazu se rovná úhlu dopadu). [5];[6]



Obrázek 2 - Elektromagnetická vlna [6]

K rozporu dochází při výkladu zákona lomu. Obě teorie se zásadně rozcházejí v názoru na rychlost světla v prostředích různé optické hustoty. Podle korpuskulární teorie se světlo šíří v prostředí opticky hustším rychleji, podle teorie vlnové se šíří pomaleji. Spor byl vyjasněn v roce 1862, kdy Jean B. Foucault změřil rychlost světla ve vodě (prostředím opticky hustším) a dokázal, že je menší než ve vzduchu. [5]

Tím byla připravena půda pro Jamese Clerka Maxwella, který ve svých čtyřech rovnicích shrnul vše, co bylo do té doby známo z elektřiny a magnetizmu a vytvořil tak jednotnou teorii elektromagnetického pole. Z nich vyplývá, že časová změna elektrického pole E budí pole magnetické B a naopak časová změna magnetického pole budí pole elektrické. Rovněž z ní plyne, že rozruch obou polí se šíří formou vln rychlostí světla c , která je konečná. Maxwell tedy doplnil vlnovou teorii objevem, že světlo je elektromagnetické vlnění. [1]

V elektromagnetickém spektru patří světlo do oblasti optického záření, která zahrnuje záření viditelné a s ním na jedné straně sousedící záření ultrafialové (UV), na straně druhé záření infračervené (IR). Světlo je tedy periodicky opakovaný stav kmitání. Doba kmitu (T)

je nejkratší doba, po které se opakuje stejný stav kmitu a délka vlny (λ) je dráha vlnění za dobu kmitu. Pro světlo tedy platí vztahy

$$\lambda = c \cdot T; \nu = \frac{1}{T}; \nu = \frac{c}{\lambda}$$

kde c je rychlost světla ve vakuu ($3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$),

λ vlnová délka [m],

T doba kmitu [s],

ν kmitočet [s^{-1}].

Zdroj: [5]

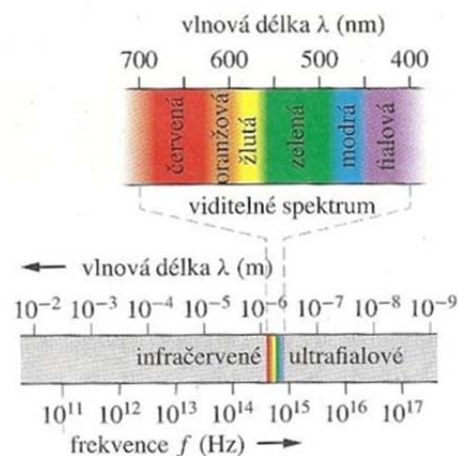
3.2 Viditelné světlo

Spektrální rozsah slunečního světla je 30 až 3000 nm a většina sluneční energie přichází v oblasti viditelného záření, jehož energetické maximum je okolo 500 nm. Vlnové délky nižší než 300 nm připadají pro UV záření, které lidské oko neregistruje. [3]

Meze spektrálního rozsahu viditelného záření nelze přesně definovat, neboť se velmi liší v závislosti na pozorovateli a lidském oku. Za spodní mez se obvykle považuje vlnová délka $\lambda = 380 \text{ nm}$ ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), za horní mez $\lambda = 780 \text{ nm}$, což odpovídá kmitočtům od $\nu = 7,89 \times 10^{14} \text{ Hz}$ do $\nu = 3,84 \times 10^{14} \text{ Hz}$. [5]

Každá vlnová délka odpovídá určité barvě. Se vzrůstající vlnovou délkou v tomto intervalu přecházejí barvy postupně od fialové přes modrou, zelenou a žlutou až k červené. Sluneční světlo vnímáme jako bílé, protože je složeno ze spojitého spektra všech barev. Jeho spektrum každý zná, stejně jako každý viděl na obloze duhu. [1]

Vlnové délky nad 780 nm se již počítají k infračervenému záření, jinak známému jako záření tepelné. [3]



Obrázek 3 - Spektrum viditelného světla [6]

3.3 Foton

Ukázalo se, že některé účinky a podmínky vzniku světla (emise, absorpce) nelze ani pomocí elektromagnetické teorie vysvětlit. Max Planck při studiu zákona pro spektrální zářivost vyslovil v roce 1900 domněnku, že zahřáté těleso vyzařuje energii jen v určitých dávkách (kvantech) úměrných kmitočtu vysílaného záření $E = h\nu$ a platnost jeho hypotézy potvrdil v roce 1905 Albert Einstein při studiu uvolňování elektronů v některých látkách působením světla (fotoelektrický jev). Prokázal, že Planckova úvaha platí nejen při vyzařování světla umělým zdrojem, ale také když se světlo šíří volně prostorem. Množství světla určité vlnové délky, jehož energie je rovna součinu $h \cdot \nu$ si Einstein představoval jako proud stejných kvant energie, které nazval fotony. [5]

Energie fotonu E je přímo úměrná vlnové délce záření:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

kde h je Planckova konstanta ($6,6 \times 10^{-34}$ Js),

c je rychlost světla ve vakuu (3×10^8 ms⁻¹),

λ je vlnová délka záření.

Energie fotonu E se udává v elektronvoltech ($1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19}$ J). [7]

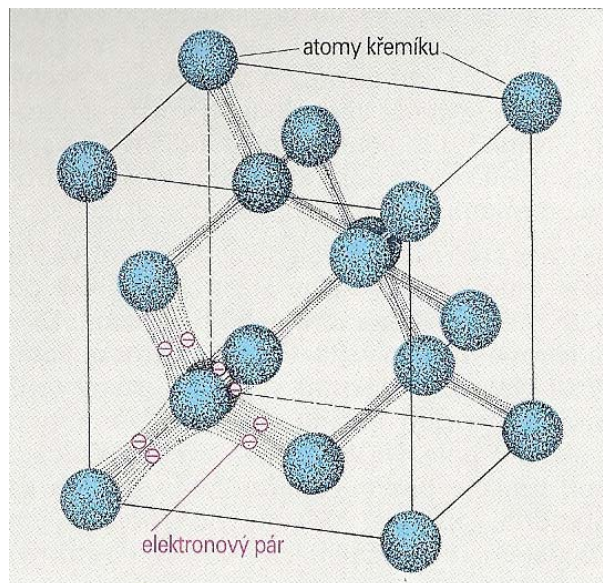
4 Fyzikální podstata fotovoltaické přeměny energie

V této kapitole bude rozebráno, na jakém principu funguje fotovoltaická přeměna energie a další podkapitoly, které se samotnou přeměnou souvisí.

4.1 Polovodiče

Materiály nazýváme polovodiče, protože jejich měrný odpor (měrná vodivost) je mezi odporem (vodivostí) vodičů (kovů) a nevodičů (izolantů). Vodivost polovodičů lze velmi ovlivnit příměsí (ve složení materiálu) nebo jinými vlivy, například světlem, elektrickým polem nebo magnetickým polem. Jako polovodičové materiály jsou téměř výhradně používány buď prvky (křemík nebo germanium) a chemické sloučeniny galiumarsenid nebo indiumantimonit. [8]

V pevné látce, jejíž atomy jsou pravidelně uspořádány a mají krystalickou strukturu (mřížku), jsou vztahy mezi nimi podstatně odlišnější. Vzájemné vazby atomů a valenčních elektronů v krystalu pozměňují energetické hladiny v obálce atomu. Hladiny nejsou ostře definovány, naopak se rozšiřují (uvolňují) do tzv. energetických pásem. [5]



Obrázek 4 - Krystalická mřížka křemíku [8]

V polovodičích hrají důležitou roli valenční pás, který je za velmi nízkých teplot poslední obsazený, poslední zakázaný pás a vodivostní pás, který je za velmi nízkých teplot poslední neobsazený. Valenční pás je tvořen energetickými stavy valenčních elektronů, kterých je stejný počet, jako valenčních elektronů v celém krystalu. Po tomto pásu následuje pás zakázaných energií, označován jako ΔE , jehož energii nemůže mít žádný elektron. Vodivostní pás je pak za velmi nízkých teplot poslední obsazený. [9]

Šířka zakázaného pásu	
Prvek	ΔE [eV]
Ge	0,66
Si	1,12
GaSb	0,8
GaAs	1,4

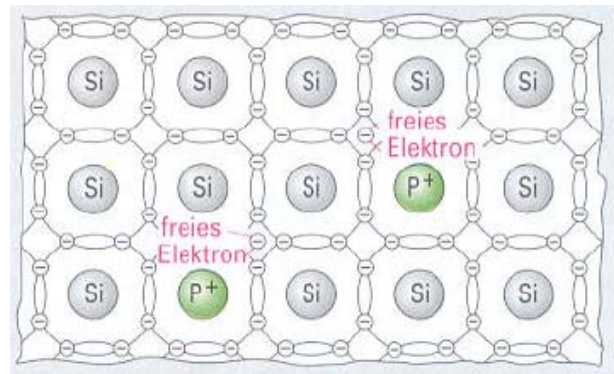
Tabulka 1 – Šířky zakázaných pásmů [10]

Při teplotě 0 K nejsou v polovodiči žádné volné elektrony, které by mohly vést proud a vlivem působení energie tepelné (fonon) nebo světelné (foton) která musí odpovídat nejméně šířce zakázaného pásu ΔE , přechází polovodič do vodivostního pásu, ale pokud na polovodič nebude působit elektrické pole, pohybuje se elektron ve vodivostním pásu libovolným směrem. [10]

Po přechodu elektronu do vodivostního pásu vzniká ve valenčním pásu tzv. „díra“. Toto prázdné místo se tedy chová jako částice s kladným nábojem a větší hmotností, než je hmotnost volného elektronu. Ve vlastním polovodiči, způsobí uvolnění jednoho elektronu vznik jedné díry, proto je počet volných elektronů a děr stejný. U nevlastních polovodičů lze volné elektrony dostat do polovodiče také pomocí příměsí, které i ve velmi malém množství, které je v řádu tisícín procenta, může vést k dostatečně velkému vzrůstu vodivosti. [9];[10]

4.1.1 Polovodič typu N

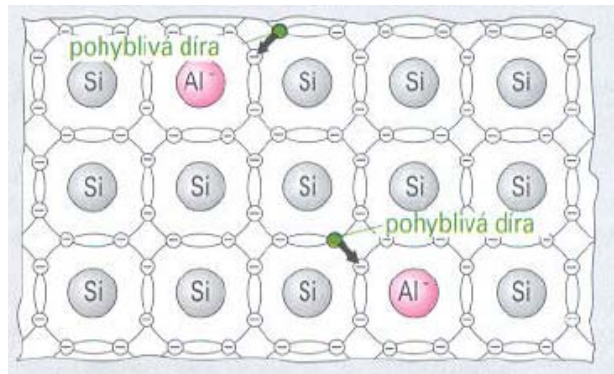
Je-li v krystalické mřížce atom čtvrté skupiny, např. Si, Ge, nahrazen atomem páté skupiny, např. P, As, Sb, pak čtyři z jeho valenčních elektronů se účastní kovalentní vazby se sousedními atomy a pátý, který je nadbytečný, bude ke svému mateřskému atomu vázán jen velmi slabě a po přijetí pouze velmi malé aktivační energie se může podílet na vedení elektrického proudu. [10]



Obrázek 5 - Polovodič typu N (křemík dotovaný fosforem) [8]

4.1.2 Polovodič typu P

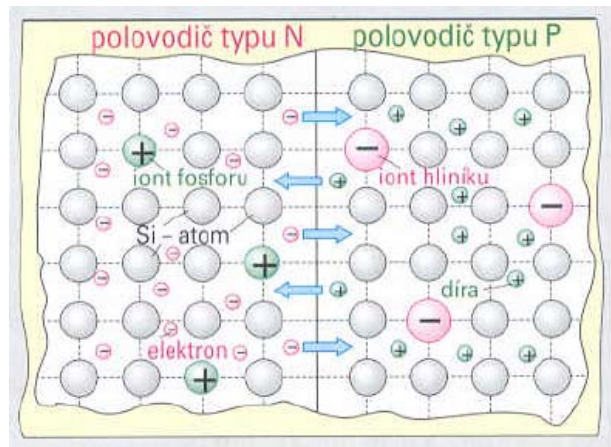
Je-li nahrazen v krystalické mřížce atom čtyřvazného prvku atomem trojvazného prvku, např. B, Al, Ga, In, účastní se všechny tři jeho valenční elektrony se sousedními atomy a čtvrtá vazba zůstane neúplná. Tento neobsazený stav se chová jako „díra“ a jen velmi malá energie stačí k tomu, aby se některý elektron z horního valenčního pásu neúplnou vazbu trojvazného prvku zaplnil. Díra, která vznikla ve valenčním pásu, se může pohybovat libovolným směrem a vnější elektrické pole umožňuje vedení elektrického proudu. [10]



Obrázek 6 - Polovodič typu P (křemík dotovaný hliníkem) [8]

4.1.3 Přechod N-P

Spojíme-li krystal N a P polovodiče, volně se pohybující elektrony, o kterých se někdy mluví jako o elektronovém plynu, mají tendenci vyrovnat svou koncentraci v celém spojeném krystalu. Přecházejí proto z části N do části P a v důsledku toho v části N přebývají kladné náboje a v části P záporné náboje. Elektrické pole vzniklé v důsledku



Obrázek 7 - Děje vniklé na N-P přechodu [8]

tohoto rozložení náboje ovšem zase přitahuje elektrony nazpět, a tak se mezi těmito dvěma protichůdnými silami ustanoví rovnováha a na rozhraní vznikne gradient koncentrace elektronů. Toto rozhraní se nazývá přechod N-P a jeho velmi důležitá vlastnost je, že umožňuje pohyb elektronů jen v jednom směru, konkrétně z části N do části P. [3]

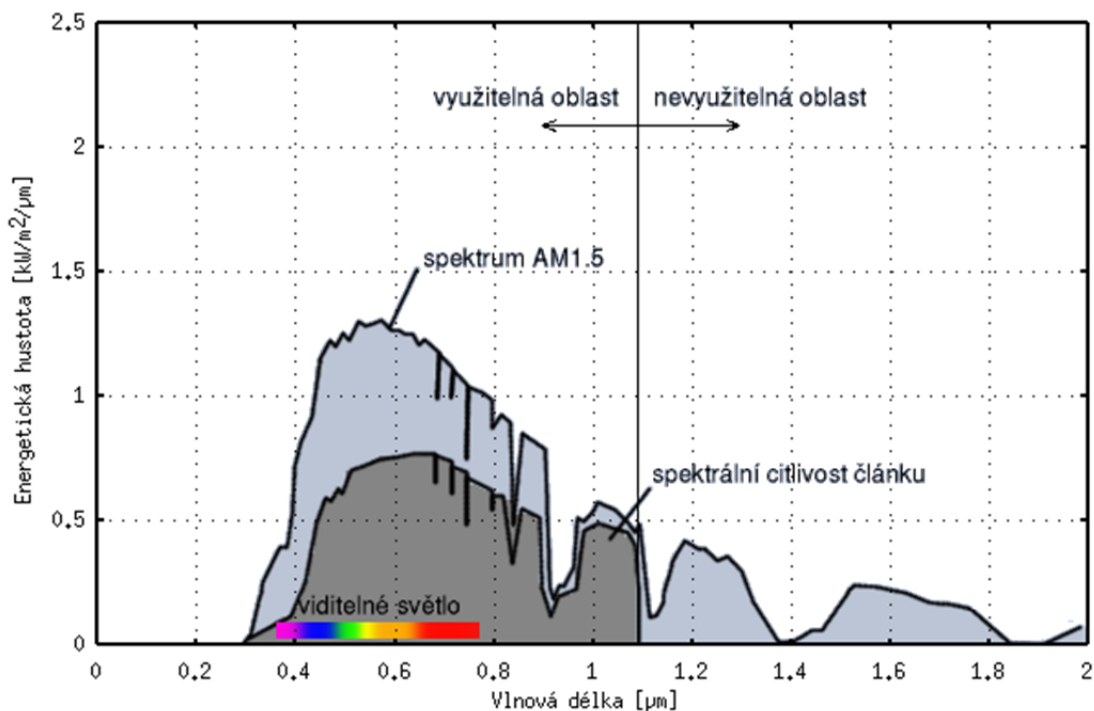
4.2 Princip fotovoltaické přeměny energie

Fotony jsou částice záření a jejich energie závisí na vlnové délce, jak bylo uvedeno v kapitole popisující co je to foton. Čím kratší je vlnová délka záření, tím větší energii mají jeho fotony. Aby se z krystalické mřížky křemíku uvolňovaly elektrony, musí mít fotony energii záření alespoň 1,12 eV. Této energii odpovídá tzv. mezní vlnová délka asi 1105 nm a to je infračervené záření. Záření fotonů s kratší vlnovou délkou (např. fotonů viditelného světla) má dostatek energie aby se elektrony z krystalické mřížky mohli uvolnit. Záření s větší vlnovou délkou (např. mikrovlny) fotovoltaický jev nevyvolají. [3]

K fotovoltaické přeměně dochází v polovodičových fotovoltaických článcích, kde se energie dopadajících fotonů mění na elektrickou energii. Jedná se v podstatě o velkoplošnou diodu. Přechod N-P je orientován kolmo k čelní ploše mezi přední a zadní stranou. Jestliže na fotovoltaický článek dopadají fotony s větší energií, než jaké odpovídá šířka zakázaného pásu, tyto fotony generují páry elektron-díra. Tak odevzdají svou energii a pohlcují se. Případný přebytek energie většinou předají kmitům mřížky a ta ho přemění v teplo, které vede k ohřevu materiálu polovodiče. Páry elektron-díra generované v oblasti přechodu PN jsou od sebe odděleny elektrickým polem \vec{E} mezi vázanými prostorovými náboji, díry jsou urychleny ve směru pole, elektrony opačně. Mezi opačnými póly PV článku se objeví elektrické napětí a po zapojení do elektrického obvodu teče obvodem stejnosměrný elektrický proud. PV článek se tak stává zdrojem elektrické energie. [9]

4.3 Spektrální citlivost fotovoltaického článku

Jak bylo uvedeno v kapitole 4.2, tak aby se z krystalické mřížky křemíku uvolňovaly elektrony, musí mít fotony energii alespoň 1,12 eV. Na obrázku 8 je znázorněna spektrální citlivost PV článku v porovnání s dopadajícím slunečním zářením po průchodu zemskou atmosférou, které znázorňuje křivka AM1,5. Z obrázku 8 je tedy patrné, že PV článek je schopen využít kolem 50 % dopadajícího slunečního záření. Fotony s dopadovou energií v nevyužitelné oblasti jsou přeměněny pouze v teplo. [11]



Obrázek 8 - Spektrální citlivost PV článku [11]

5 Fotovoltaické systémy

5.1 Systémy pro drobné aplikace

Fotovoltaické systémy pro drobné aplikace tvoří nejmenší, avšak nezanedbatelný podíl na PV trhu. Každý jistě zná PV články v kalkulačkách nebo také solární nabíječky akumulátorů. Trh drobných aplikací nabývá na významu, protože se množí poptávka po nabíjecích zařízeních pro okamžité dobíjení akumulátorů (mobilní telefony, notebooky, fotoaparáty, MP3 přehrávače apod.) na dovolených, v kempch popř. ve volné přírodě. [12]

5.2 Systémy připojené na síť

Fotovoltaické systémy připojené k rozvodné síti nejsou vzhledem k relativně kvalitní síti a stálosti dodávek elektřiny instalovány z důvodu nedostatku elektrické energie, jako je tomu u ostrovních systémů. Motivem instalace je zpravidla ekologický přínos fotovoltaického systému v tom, že při výrobě této elektřiny není vypouštěn žádný oxid uhličitý a dále jsou motivem pro pořízení fotovoltaického systému možné dosažitelné úspory potažmo i zisk, který může z takové investice plynout. Systémy připojené na síť jsou zpravidla budovány na rodinných domech nebo v průmyslových objektech, přičemž energie vyrobená systémem je buďto spotřebována přímo v daném objektu a případné přebytky jsou prodány do distribuční

sítě, nebo je systém určen výhradně k výrobě a dodávání za výkupní cenu do distribuční sítě, tedy bez žádné vlastní spotřeby v místě instalace. [13]

Systémy připojené na síť jsou nejvíce uplatňovány v oblastech s hustou sítí elektrických rozvodů. V případě dostatečného slunečního svitu jsou spotřebiče v budově napájeny vlastní „solární“ elektrickou energií a případný přebytek je dodáván do veřejné rozvodné sítě. Při nedostatku vlastní energie je elektrická energie z rozvodné sítě odebírána. Systém funguje zcela automaticky díky mikroprocesorovému řízení síťového střídače. Připojení k síti podléhá schvalovacímu řízení u rozvodných závodů. Špičkový výkon fotovoltaických systémů připojených k rozvodné síti je v rozmezí jednotek kilowattu až jednotek megawattu. [12]

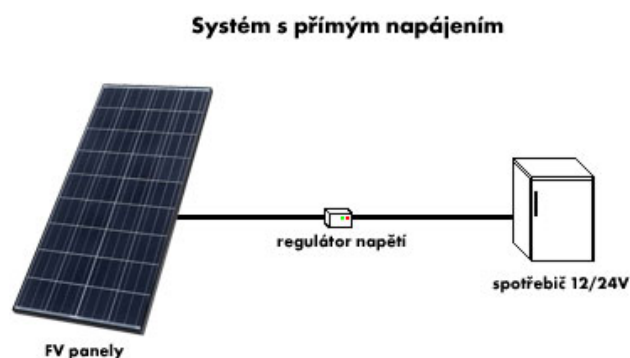
5.3 Ostrovní systémy

Ostrovní systémy se používají všude tam, kde není k dispozici rozvodná síť a kde je potřeba střídavého napětí 230 V. Obvykle jsou ostrovní systémy instalovány na místech, kde není účelné anebo není možné vybudovat elektrickou přípojku. Důvody jsou zejména ekonomické, tzn., že náklady na vybudování přípojky jsou srovnatelné (nebo vyšší) s náklady na fotovoltaický systém (vzdálenost k rozvodné síti je více než 500–1000 m). Jedná se zejména o odlehle objekty, jakými jsou např. chaty, karavany, jachty, napájení dopravní signalizace a telekomunikačních zařízení, zahradní svítidla, světelné reklamy apod. [12]

Při budování ostrovního systému na výrobu elektrické energie je vhodné volit odpovídající spotřebiče, které fungují na stejnosměrný proud, v současnosti je možné na stejnosměrný proud provozovat televize, rádia, ledničky i vodní čerpadla. Stejnosměrný proud je možné pomocí napětového měniče přetransformovat na proud střídavý, nicméně měnič znamená obvykle nemalou investici, takže je zvláště u menších instalací (do 0,5kWp) výhodnější využívat spotřebiče na stejnosměrný proud. Neméně důležitá je také spotřeba energie, čím menší je spotřeba, tím menší budou požadavky na akumulátory a výkon fotovoltaických panelů a tím bude také celá instalace levnější, spotřebiče by tedy měly být voleny s ohledem na maximální úspornost. [14]

5.3.1 Ostrovní systémy s přímým napájením

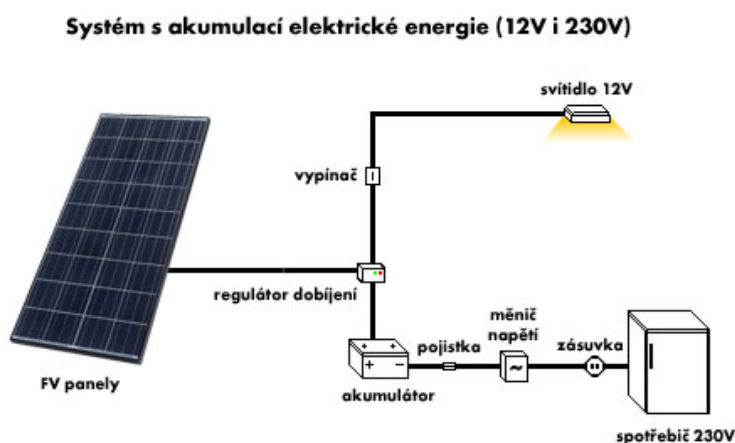
Tato varianta se používá v případech, kdy je připojené elektrické zařízení funkční jenom po dobu dostatečné intenzity slunečního záření. Jedná se pouze o propojení solárního modulu a spotřebiče přes regulátor napětí, například při čerpání vody pro závlahu, napájení oběhového čerpadla solárního systému pro přípravu teplé užitkové vody, pohon protislunečních clon nebo nabíjení akumulátorů malých přístrojů - mobilní telefon, notebook, svítidla atd. [14]



Obrázek 9 - Ostrovní systém s přímým napájením [14]

5.3.2 Ostrovní systémy s akumulátory elektrické energie

Tato varianta je použita v případech, kdy potřeba elektřiny nastává i v době bez slunečního záření. Z tohoto důvodu mají tyto ostrovní systémy speciální baterie, určené pro akumulaci elektrické energie, konstruované pro pomalé nabíjení i vybíjení, protože automobilové baterie se zde příliš nehodí. Jsou konstruovány pro vysoký proud za krátký časový úsek. Optimální nabíjení a vybíjení akumulátorů je zajištěno regulátorem dobíjení. K ostrovnímu systému lze připojit spotřebiče napájené stejnosměrným proudem (napětí systému bývá zpravidla 12 nebo 24 V), případně běžné síťové spotřebiče 230 V/~50 Hz napájené přes napěťový střídač. Tyto systémy získávají uplatnění například jako zdroj



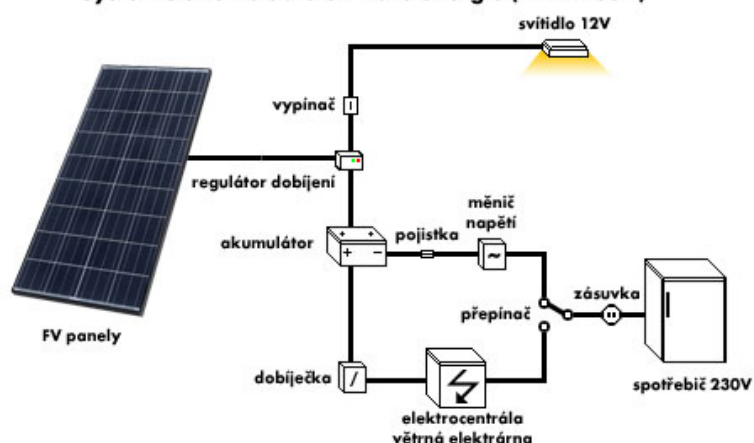
Obrázek 10 - Ostrovní systém s akumulací elektrické energie [14]

elektrické energie pro chaty a další objekty, napájení dopravní signalizace, telekomunikačních zařízení nebo monitorovacích přístrojů v terénu, u zahradního osvětlení, světelné reklamy nebo při campingu a jachtingu. [14]

5.3.3 Hybridní ostrovní systémy

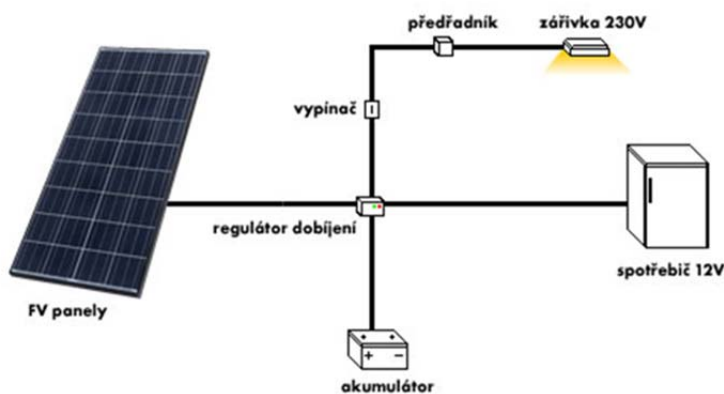
Hybridní ostrovní systémy se používají tam, kde je nutný celoroční provoz a kde je občas používáno zařízení s vysokým příkonem. V zimních měsících je možné získat z fotovoltaického zdroje podstatně méně elektrické energie než v letních měsících. Proto je nutné tyto systémy navrhovat na zimní provoz, což má za následek zvýšení

Systém s akumulací elektrické energie (12V i 230V)



Obrázek 11 - Systém s akumulací energie pro 12V i 230 V [14]

Systém s akumulací elektrické energie (12/24V)



Obrázek 12 - Systém s akumulací energie pro 12/24 V [14]

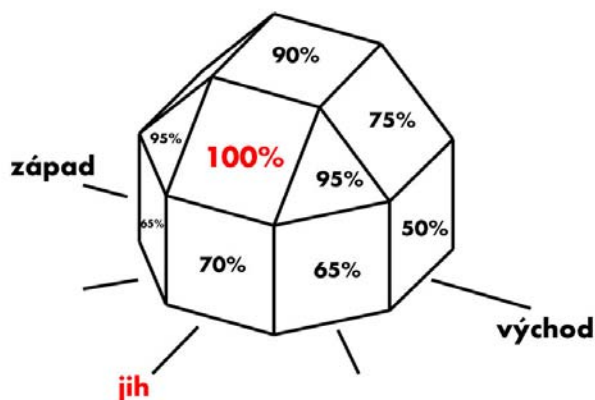
instalovaného výkonu systému a podstatné zvýšení pořizovacích nákladů. Výhodnější alternativou proto je rozšíření systému doplňkovým zdrojem elektřiny, který pokryje potřebu elektrické energie v obdobích s nedostatečným slunečním svitem a při provozu zařízení s vysokým příkonem. Takovým zdrojem může být větrná elektrárna, elektrocentrála, kogenerační jednotka apod. [14]

5.4 Fotovoltaické systémy s koncentrátory slunečního záření

Koncentrátorové systémy využívají k soustředění slunečního záření na solární články čočky nebo zrcadlové plochy. Fresnelovy lineární čočky nebo bodové čočky umožňující koncentraci 10x až 500x jsou zpravidla zhotoveny z levného plastu. Pro koncentrátorové moduly se nejvíce používají křemíkové solární články s malou plochou. Při použití GaAs solárních článků je dosahováno vyšší účinnosti a mohou pracovat při vyšší teplotě, nicméně jejich cena je mnohem vyšší. Účinnost modulu je vyšší než 17%. Koncentrátorové články jsou zhotoveny s účinností 30%. Zrcadlové plochy jsou využívány pro zvýšení výkonu solárních panelů a to buď dosažením vyšší intenzity slunečního záření, nebo prodloužením doby, po kterou je panel vystaven slunečnímu záření. Koncentrátorové solární moduly je nutné neustále orientovat na Slunce, tak aby byly solární články po celou dobu v ohnisku čoček. Vyžadují ke své uspokojivé funkci přímé sluneční záření, a proto nejsou vhodné pro oblasti s výskytem difúzního záření tj. v oblastech s častou oblačností. [15]

5.5 Orientace fotovoltaických systémů

Orientace PV panelů by měla být nejlépe přímo na jih (jiho-západ až jiho-východ). V letních měsících dopadá v našich podmínkách na zemský povrch přibližně 75% ročního globálního záření, maximalizovat zisk lze i sklonem panelů - panely umístit více „naležato“ (sklon okolo 35°), protože Slunce je během léta výše nad obzorem. U systémů s celoročním provozem (ostrovní systémy), kdy požadujeme rovnoměrnější přínos během roku, by sklon panelů měl být naopak více „nakolomo“ (45° a více). Menší odchylky od ideální orientace panelů znamenají ztráty pouze v jednotkách procent. [13]



Obrázek 13 - Schéma orientace PV systémů [13]

6 Druhy fotovoltaických článků

V dnešní době jsou nejvíce rozšířeny fotovoltaické články na křemíkové bázi. Křemík jako prvek, má velkou řadu výhod, mezi které patří například hojně zastoupení v zemské kůře, je druhým nejrozšířenějším prvkem hned po kyslíku. Proto je poměrně levný, není jedovatý, jeho snadná dostupnost a levnost způsobila, že se jedná o nejvíce používaný a z hlediska polovodičové techniky nejvíce prozkoumaný prvek. [1]

6.1 Křemíkové monokrystalické články

Základní a nejstarší typ fotovoltaických článků jsou články vyráběné z monokrystalického křemíku, tj. rozměr krystalů je v řádu 10 cm (nežnamená to, že by muselo jít o jeden neporušený krystal). Vyrábí se z ingotů (tyčí) polykrystalického křemíku zpravidla Czochralského metodou, tj. pomalým tažením zárodka krystalu z taveniny velmi čistého křemíku. Ingoty monokrystalického křemíku se rozřežou speciální drátovou pilou (větší množství paralelně napnutých drátů s pomocí vhodného abraziva řeže najednou) na tenké plátky, které jsou silné přibližně 0,25 až 0,35 mm a v poslední době lze vyrábět i články o tloušťce pouze 0,1 mm. Souběžně s poklesem tloušťky destiček se podaří zmenšit i odpad při řezání. Plátky (z anglického wafers - oplatky) se zarovnají na rovnoměrnou tloušťku, vyleští a na povrchu odleptají, aby se odstranily nepravidelnosti a nečistoty. Polovodičový N-P přechod se na destičkách vytvoří přidávkem fosforu, který utvoří na povrchu vrstvu s vodivostí typu N. Z výše popsaného postupu je vidět, že je to poměrně energeticky i technicky náročná technologie, a není tedy divu, že se intenzivně hledaly cesty, jak ji zlevnit. [3]

6.2 Fotovoltaické články z polykrystalického křemíku

Mluvíme-li o fotovoltaických člancích z polykrystalického křemíku, mluvíme tedy o dnes nejběžnějším typu článků. Tyto články se vyrábějí odléváním čistého křemíku do vhodných forem a řezání vzniklých ingotů na tenké plátky. Odlévání je podstatně jednodušší metoda než tažení monokrystalu a lze také připravit bloky se čtvercovým nebo obdélníkovým průřezem, z hlediska lepší využitelnosti materiálu. Takto vyrobené články mají trochu horší elektrické vlastnosti, jako nižší proud a účinnost, protože na styku jednotlivých krystalických zrn, jejichž rozměry jsou v řádu milimetrů, je větší odpor. Zásadní výhodou je ale to, že

výchozí surovina je levnější a lze je vyrábět ve větších rozměrech a s obdélníkovým nebo čtvercovým tvarem. [3]

Tento typ článků má zajímavý vzhled, viditelné hranice krystalů připomínající leštěný kámen. Tento typ článků se líbí architektům, a proto se s nimi někdy setkáme ve formě fasádních obkladů namísto obvyklého mramoru nebo skla. [3]

6.3 Fotovoltaické články z amorfního křemíku

Články z amorfního křemíku mají oproti výše popsaným typům výhodu v tom, že spotřebují podstatně méně materiálu, a ve výsledku jsou tedy při velkosériové výrobě zdatně levnější. [3]

Proces výroby je založen na rozkladu vhodných sloučenin křemíků (silanu nebo dichlorsilanu) ve vodíkové atmosféře. Tímto způsobem se dají připravit velmi tenké vrstvy křemíku na skleněné, nerezové nebo plastové (zpravidla polyamidové) podložce. Takto nanesená vrstva křemíku je amorfni, to znamená, že nemá pravidelnou krystalickou strukturu a obsahuje určité množství vodíků. Díky větší absorpci slunečního záření může být podstatně tenčí, již vrstva o tloušťce 1 mm pohltí 90 % dopadajícího slunečního záření. Takto lze připravovat velmi tenké a ohebné fotovoltaické články a moduly, které se dají používat jako krycí fólie na střechy nebo našít na oblečení. [3]

Tento materiál má ovšem oproti krystalickému křemíku daleko méně pravidelnou strukturu s velkým množstvím poruch. Některé atomy křemíku nemají kolem sebe potřebné sousedy, se kterými by mohly vytvořit vazbu, a jsou tedy na nich tedy „visící“ vazby. Na těchto místech může docházet k rekombinaci nábojů, a tím se snižuje proud a účinnost. Částečně je tento problém odstraněn navázáním vodíku na tyto volné vazby (vodíková pasivace, hydrogenace). Dalším problémem je nestabilita, zčásti způsobená právě přítomností vodíku, protože struktura je narušována například oxidací vzdušným kyslíkem. Výkon těchto článků je proto z počátku klesá a teprve časem se ustaví na 80 % původní hodnoty. U tohoto typu článku je poněkud modifikovaný N-P přechod, horní vrstva, s vodivostí typu P, je velmi tenká a zachytí jen málo fotonů. Teprve pod ní je další tenká vrstva, která je nedopovaná a označuje se jako vrstva i, v níž dochází k pohlcení většiny dopadajícího slunečního záření a vytvoření volných elektronů a děr. Tím, že elektrické pole N-P přechodu zasahuje přes vrstvu, v níž se tvoří elektrony a díry, dochází k jejich okamžité separaci, a tím se snižuje možnost jejich rekombinace. [3]

6.4 Fotovoltaické články na bázi tenkých vrstev

Tenkvrstvé články bývají kromě křemíku i na bázi jiných prvků. Jsou sice relativně levné, ale to je na úkor jejich nižší účinnosti, která na je kolem 10 % a navíc největším problémem bývá stabilita parametrů. Ačkoliv lze takový článek vyrobit s účinností 15 %, tak tato účinnost po relativně krátké době klesá a zanedlouho již nedosahuje ani 10 %. Z toho vyplývá, že solární systémy na bázi tenkých vrstev by museli zaujímat poměrně velkou plochu a cena půdy v evropských zemích je většinou vysoká. To je důvod, proč se použití těchto článků v solárních PV systémech moc nerozšířilo. Tenkvrstvé články jsou však rozšířené v drobných systémech. [15]

6.5 Fotovoltaické články na bázi Galium Arsenidu (GaAs)

GaAs je slitinový polovodičový materiál typu $A_{III}B_V$ (prvků třetí a páté skupiny), z něhož jsou vyráběny solární články s vysokou účinností. Zpravidla jsou tyto články použity pro koncentrátorové moduly a pro kosmické aplikace. Důvodem je mnohonásobně vyšší cena a vysoká kvalita článků. Účinnost článků z výzkumných laboratoří je vyšší než 25 % při intenzitě osvětlení podobné slunečnímu záření. V podmínkách koncentrovaného slunečního záření dosahují GaAs články účinnosti 28 %. Pro zvýšení účinnosti na 30% jsou vytvářeny složité struktury s několika polovodičovými přechody založené na GaAs a příbuzných materiálech typu $A_{III}B_V$. [15]

7 Akumulace elektrické energie

Nevýhoda využití solární energie je v nerovnoměrnosti slunečního svitu. Například v noci, když bychom energii potřebovali nejvíce, nesvítí vůbec. Proto v době přebytku energie je vhodné ji akumulovat pro pozdější využití v době jejího nedostatku. [1]

Ostrovní systémy (autonomní systémy, off-grid nebo také stand-alone systémy) jsou znatelně dražší, než systémy dodávající proud do sítě. Hlavním důvodem je cena pomocné elektroniky a akumulátorů, které tvoří skoro třetinu ceny systému. Vzhledem k tomu, že reálná životnost akumulátorů je menší než životnost fotovoltaických panelů (přibližně 5-10 let oproti minimálně 20 rokům), mohou být náklady na akumulátory větší, než fotovoltaické panely. [3]

Existuje mnoho způsobů akumulace energie, vždy se však jedná o její přeměnu na jinou formu, ve které může být efektivněji uskladněna a v případě potřeby znovu přeměněna na energii elektrickou. Způsoby akumulace jsou odlišné především oblastmi výkonů, při kterých jednotlivé akumulární systémy pracují, účinností a dobou, po kterou jsou schopny udržet akumulovanou energii s přijatelnými ztrátami, životností a podobně. [16]

Nejdůležitějším znakem akumulátoru je jeho kapacita. Kapacita akumulátoru udává, jaké množství elektrického proudu, který je možno odebrat z nabitého akumulátoru do jeho úplného vybití. Udává se v Ah (ampérhodina). Užitečná kapacita akumulátoru není konstanta, nýbrž silně závisí na velikosti vybíjecího proudu. Při vyšších proudech je k dispozici menší kapacita než při proudech malých. [17]

Dalším významným parametrem je tzv. energetická účinnost, která popisuje poměr energie, kterou může akumulátor vydat, k energii přivedené do akumulátoru. Je v důsledku ztrát menší než 1 a v závislosti na typu akumulátoru činí 70 % až 85 %. Vysoká hodnota ukazuje na dobrou energetickou účinnost. [17]

7.1 Elektrochemické akumulátory

Elektrochemické akumulátorové baterie akumulují energii ve formě chemické reakce. Jejich značná výhoda spočívá v dobře zvládnuté technologii výroby, která spočívá v délce jejich používání, operativní použitelnosti prakticky kdekoliv, možnosti čteného použití a relativně nízká cena. Nevýhodou je však samovybití a citlivost na hluboké vybití, které se projevuje malou hustotou elektrolytu, při kterém nastávají nevratné změny na elektrodách s následným snižováním kapacity akumulátoru. Dále pak poměr akumulované energie ke hmotnosti akumulátoru je málo efektivní. [16]

Ve fotovoltaických systémech se nejčastěji používají olovené akumulátory, které se od akumulátorů automobilových liší tím, že jsou optimalizovány na hluboké vybití a mají nízké samovybití. [3]

Jako další skupinu elektrochemických akumulátorů můžeme považovat alkalické akumulátory, kam patří nikl-kadmiové (Ni-Cd), nikl-methalhydridové (NiMH) a nikl-ocelové (Ni-Fe). Ve fotovoltaických systémech se používají zejména snad jen průmyslové Ni-Cd akumulátory s kapsovými elektrodami, a to jen velmi zřídka. Jejich značnou výhodou je však delší životnost, která je uváděna mezi 10 až 20 lety při cyklech 60 až 80 % vybitím. Dobře také snášejí dlouhodobé vybití. Nevýhoda je tzv. „paměťovém efektu“, který spočívá

v poklesu kapacity, pokud se akumulátor občas zcela nevybije. Také samovybíjení je vyšší a to zvláště při teplotách nad 25 °C. Uvádí se, že prvních 10 až 20 dnů je ztráta náboje mezi 1 až 2 % za den. Energetická účinnost je nižší než u olověného akumulátoru, díky nižšímu napětí na článku, které je 1,2 V. Proto je nutný větší počet článků v sériovém zapojení, pro dosažení potřebného napětí a kadmium je navíc řazeno mezi nebezpečný odpad. Akumulátory Ni-Fe se dnes prakticky nepoužívají, protože v solárních aplikacích je asi jejich největší nevýhodou malá účinnost. [3]

7.2 Další možnosti akumulace energie

7.2.1 Superkapacitory

Akumulace energie v superkapacitorech zažívá rozvoj teprve v několika posledních letech. Energie je zde akumulována do elektrického pole nabitého kondenzátoru. Například v elektronických zřízeních se k uchování paměti při výpadku napájení používají velkokapacitní kondenzátory pracující na napětí $U = 24 \text{ V}$ s kapacitou $C = 1,2 \text{ F}$ s displejem, jenž udává okamžité napětí. [16]

Základem superkapacitorů je speciální materiál elektrod s velkou plošnou hustotou, nejčastěji ve formě práškového uhlíku naneseného na hliníkové fólii o ploše v poměru k hmotnosti asi $2000 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, čímž se zajistí kapacita v řádu tisíců faradů. Elektrody superkapacitoru jsou odděleny polypropylenovou folií a prostor je vyplněn tekutým elektrolytem. Při použití současných elektrolytů je napětí jednoho článku zhruba 2,5 V. [16]

Výhodou superkapacitorů je jejich poměrně vysoká účinnost akumulace elektrické energie dosahující hodnot až 95 %, nevýhodou je závislost napětí na uloženém náboji, což lze minimalizovat použitím námětových měničů. Rovněž cena je zatím poměrně vysoká, což je zapříčiněno tím, že se jedná o poměrně novou technologii, ale s objemem zavedení v průmyslu a s nárůstem sériovosti výroby lze předpokládat její pokles. [16]

7.2.2 Přečerpávací elektrárny

Další možností akumulace energie je založena na principu přečerpávacích elektráren. Máme-li jednu nádrž umístěnou výše než druhou a jsou-li oba rezervoáry propojeny potrubím s reverzní turbínou, může v době přebytku energie fotovoltaického systému čerpat vodu do horní nádrže. Voda tak zvyšuje svou potenciální energii o $\Delta W = mg\Delta h$. V době nedostatku energie může voda naopak tuto energii předávat turbíně a následně napojenému elektrickému generátoru. Velikost nádrží, turbíny i generátoru je třeba dimenzovat podle velikosti solárního

PV systému. Naše velké přečerpávací elektrárny byly konstruovány hlavně pro akumulaci přebytku elektrického výkonu z jaderných elektráren v mimošpičkové době. [16]

7.2.3 Akumulace energie do vodíku

Podstatou akumulace energie do vodíku je využití elektrické energie k výrobě vodíku elektrolýzou vody a poté jeho následným skladováním na pozdější dobu. Takto akumulovaná energie může být oxidací vodíku přeměněna na jiný, odlišný druh energie, například elektrickou, tepelnou nebo mechanickou. K oxidaci může docházet buď přímým spalováním v plynovém kotli či ve spalovacím motoru, nebo řízené elektrochemickou cestou v palivovém článku. Zkapalnění vodík je využíván i jako palivo pro raketové motory a našel své uplatnění i u proudových letounů. [16]

Spalování vodíku vzniká pouze vodní pára a malé množství oxidu dusíku. Nevznikají oxidy uhlíku a síry ani další jiné škodlivé látky. Kapalný vodík lze použít i jako palivo pro spalovací motory automobilů, ale tyto motory by musely být k tomuto účelu zvláště konstruovány. [16]

Systém akumulace energie do vodíku má výhodu v tom, že jeho kapacita je dána jen velikostí vodíkové nádrže, jinak nazývaného také jako plynojem a nemá energetické ztráty samovybíjením. Energii akumulovanou do vodíku lze uložit z léta na zimu. V zásadě je použitelný pro velké instalace, pro celou vesnici, je však zatím velmi drahý a jeho účinnost dosahuje hodnot pod 50 %. [3]

7.2.4 Akumulace do magnetického pole cívky

První pokusy s akumulací elektrické energie do supravodivostních cívek začaly ve Spojených státech amerických v 80. letech 20. století. Princip akumulace energie do magnetického pole cívky je založen na stejnosměrném proudu procházejícím cívkou. Protože cívkou při této akumulaci energie procházejí velké proudy, musí být konstruována ze supravodivého materiálu. Supravodivý materiál je takový, který má nulový odpor vodiče. Kdyby materiál vinutí cívky nebyl ze supravodivého materiálu, docházelo by při průchodu elektrického proudu vodičem k jeho transformaci na teplo. Energii akumulovanou od cívky lze vyjádřit vztahem

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

kde L je indukčnost cívky

I je proud protékající vodičem

Cívka musí mít odpovídající tepelnou izolaci, protože kvůli zachování supravodivého stavu cívky je nutné ji udržovat na nízké teplotě. Obvykle je toho docíleno chlazením tekutým héliem. V současné době se pracuje na systému obsahující supravodivostní cívky, schopné pojmout až 1800 MJ energie. [16]

7.3 Regulátory pro ostrovní systémy

Solární regulátory zastupují mnoho užitečných funkcí ve fotovoltaických systémech. Životnost akumulátorové baterie silně závisí na způsobu nabíjení a vybíjení, proto optimální chod systému je zajištěn solárním regulátorem. Hlavními úkoly jsou zamezení nešetrného provozování akumulátorové baterie, zamezení ztrát energie, maximální využití solární energie a předejití poškozením nebo zničením některé z částí fotovoltaického systému. Nabíjení akumulátorové baterie ze solárních modulů probíhá plným proudem až do určité napěťové úrovně. Poté dochází buď k omezování nabíjecího proudu, nebo je nabíjení úplně přerušeno, což záleží na typu regulátoru. Napěťová úroveň pro ukončení nabíjení je dána napětím baterie, při kterém ještě nadměrně neplynuje. U typu s omezováním nabíjecího proudu je dosaženo vyššího stupně nabití. Nabíjení, u druhého typu, je opět zahájeno po poklesu napětí na baterii na stanovené napětí. Velice kvalitní regulátory umožňují provozovat solární panely neustále v bodě maximálního výkonu a tak využívat maximální množství dostupné energie. Zvláště u mobilních aplikací je vhodná ochrana regulátoru proti přepólování. Většina regulátorů poskytuje ochranu proti zpětnému vybíjení baterie přes solární panely v noci. Tuto funkci plní Shottkyho dioda s malým úbytkem napětí. Důležitou vlastností solárních regulátorů je možnost odpojení zátěže od akumulátorové baterie. K odpojení dochází při nízkém napětí na baterii (u olovené baterie typicky 10,5V), a tak jej chrání před hlubokým vybitím. Odpojení zátěže může také nastat při proudovém přetížení nebo v případě zkratu v obvodu zátěže. K dispozici jsou i regulátory bez odpojování zátěže při nízkém napětí. Regulátory bez odpojení zátěže jsou vhodné do ostrovních systémů s měničem 12 (24V)/230V/~50Hz, neboť ty mají zpravidla svoji vlastní ochranu baterie proti hlubokému vybití. Regulátory mohou obsahovat obvody pro teplotní kompenzaci regulačních napětí. [15]

8 Zdroje světla

Všechny elektrické zdroje světla pracují na principu přeměny energie elektrické a elektromagnetické záření. Z širokého elektromagnetického spektra od záření paprsků gama až

po radiové vlny si lidské oko vybralo pouze oblast několika tisícín miliontin metru, a to ještě ne zcela rovnoměrně. Je tedy zřejmá obtížnost úkolu, který nespočívá jen v přeměně jedné energie ve druhou, ale dále ještě v umění získat takové záření, které budeme schopni maximálně využít. [5]

8.1 Žárovky

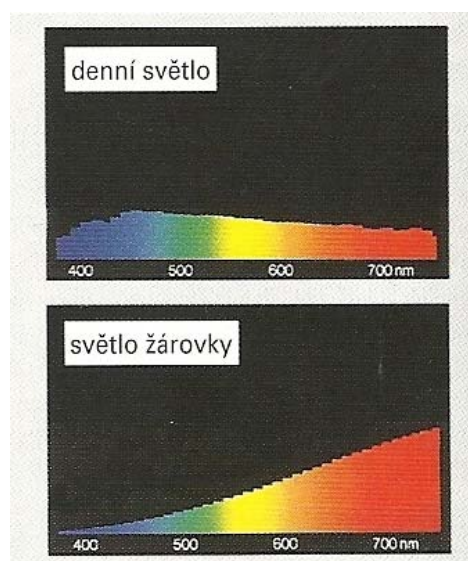
Žárovka je světelný zdroj, ve kterém vzniká světelné (optické) záření inkandescencí, tj. tepelným buzením při zahřátí tělesa na vysokou teplotu. Vlákná dnešních žárovek jsou z wolframu, jehož teplota tání je 3653 K (teplota vypařování 6173 K). Žárovky jsou buď vakuové, nebo plněné směsí vzácných plynů pro snížení odpařování wolframu. Pro zvýšení vyzařovacího povrchu bývají vlákna žárovek vinuta do jednoduché nebo dvojité spirály. [8]

8.1.1 Obyčejné žárovky

Obyčejné žárovky jsou stále nejpopulárnějším světelným zdrojem. Jejich teplé světlo vytváří příjemnou atmosféru a jsou stále nejvyhledávanější ve výběru světelných zdrojů pro všeobecné osvětlování. [18]

Jejich princip spočívá na průchodu elektrického proudu vláknem žárovky, vyrobeného z wolframu, při tom vznikají ztráty vlivem přeměny elektrické energie na teplo. Tím že je vlákno zahřáté na vysokou teplotu se stává zdrojem záření. Z principu žárovek vyplývá, že až 95 % dodané elektrické energie se mění na teplo, které je odváděno zářením v infračervené oblasti spektra a jen zbylých 5 % se mění na světelné záření. [19]

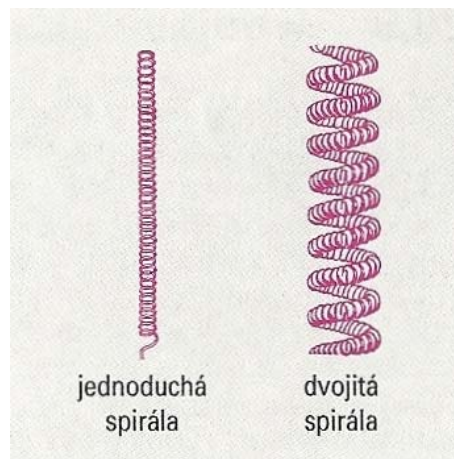
Energetická účinnost přeměny elektrické energie na světelnou je u vakuových žárovek asi 7 %, u žárovek plněných plynem asi 10 %. Zbývající energie se spotřebovává neproduktivně a z hlediska vlastního světelného zdroje je nutné ji považovat za ztrátu. Měrný výkon žárovek lze sice zvýšit zvýšením teploty vlákna (teoreticky lze dosáhnout hodnoty přibližně 50 lm/W , odpovídající teplotě tání wolframu, avšak při nulovém životě), přitom ale zároveň roste i rychlost vypařování wolframu, který se usazuje na vnitřní straně baňky. Určitého zlepšení účinnosti žárovek lze dosáhnou změnou plynné



Obrázek 14 - Spektrální složení světla obyčejné žárovky a denního světla [8]

náplně: argon se nahradí kryptonem. Krypton totiž díky nižší tepelné vodivosti poněkud omezuje tepelné ztráty a vlivem větší molekulové hmotnosti snižuje rychlost vypařování wolframu. [20]

Tyto žárovky jsou konstruovány na jmenovité napětí 120, 220, 230 nebo 240V, kterému odpovídá jmenovitý život 1000 h. Žárovky o příkonu 15 až 100 W mají jednotný tvar a rozměry (průměr baňky 60 mm, celková délka 105 mm), jsou vesměs plněny inertním plynem (směsí argonu a dusíku) a vlákno má tvar dvojité svinuté šroubovice. Obdobný vzhled mají i žárovky na nízká napětí 24 a 42 V pro speciální použití. [20]



Obrázek 15 - Různé tvary vlákna žárovky [8]

Mezi hlavní výhody žárovek patří jejich jednoduchá konstrukce, hmotnost a malé rozměry, jednoduché napájení, nízká cena vzhledem k automatizaci výroby, okamžitý start bez blikání, stabilní svícení během celé své životnosti, spojité spektrum, vynikající index podání barev, široká škála příkonů a napětí, nezávislost na teplotě okolí a fakt, že neobsahují žádné látky, které by enormně zatěžovali životní prostředí, tudíž je lze vyhazovat do komunálního odpadu. [19]

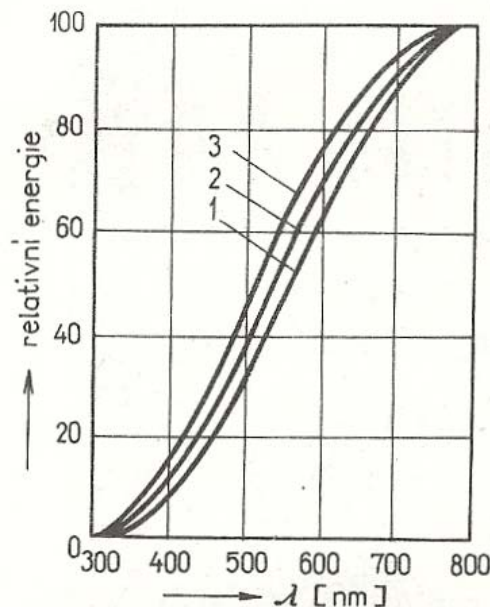
Nedostatky všech běžných žárovek je velmi malý měrný výkon, jejich relativně krátký život (1000 h), velký pokles světelného toku v průběhu života a výrazná závislost parametrů žárovek, zejména života na napájecím napětí, protože i změna napětí o 1 % vyvolá změnu výkonu až o 3,6 %. [19];[20]

8.1.2 Halogenové žárovky

Halogenové žárovky jsou žárovky plněné plynem s příměsí halogenů nebo jejich sloučenin. Představují novou generaci teplotních světelných zdrojů. [21]

Náplní těchto žárovek bývají páry jodu nebo bromu pod nízkým tlakem. Na tyto páry se vážou páry emitovaného wolframu a částečně se pak opět usazují na rozžhaveném vlákně (halogenový cyklus), když se před tím při teplotě 1450 °C uvolní z wolframjodidu (nebo wolframbromidu). Životnost se tak zhruba zdvojnásobí, a to i přesto, že je vlákno žhaveno na vyšší teplotu. [8]

Bylo nezbytné vyloučit všechny konstrukční materiály, které by mohli reagovat s halogeny. Bylo zapotřebí přejít na teplotně i mechanicky odolnější materiály používané na výrobu baňky, aby bylo možné zajistit její minimální provozní teplotu 250 °C. Namísto měkké skloviny běžné u obyčejných žárovek se začalo používat křemenné nebo tvrdé sklo s podstatně vyšší mechanickou pevností a teplotní odolností. Díky tomu se výrazně zmenšily rozměry žárovky. Použití skla se zvýšenou mechanickou pevností umožnilo zvýšit pracovní tlak plynné náplně, což má velmi příznivý vliv na snížení rychlosti vypařování wolframu. Vláknko představuje jednoduše nebo dvojité svinutou šroubovici z wolframového drátu se speciálními vlastnostmi, jež jsou nezbytné pro použití v halogenových žárovkách. [21]



Obrázek 16 - Spektrální složení halogenových žárovek [5]

Na obrázku 16 křivka 1 znázorňuje spektrální charakteristiku halogenové žárovky s teplotou chromatičnosti 3000 K, křivka 2 3200 K a křivka 3 - 3400 K.

Energetická bilance halogenové žárovky s teplotou chromatičnosti 3200 K		
Vlnová délka [nm]	Rozsah pásma	% zastoupení
100 až 280	krátkovlnné UV	0
280 až 380	dlohovlnné UV	0,125
380 až 780	Viditelné	7,7
780 až 3000	krátkovlnné IR	53,175
3000	dlohovlnné IR	39

Tabulka 2 - Energetická bilance halogenové žárovky [5]

Nízkovoltové halogenové žárovky bývají na 6 V, 12 V a 24 V, buď bez reflektoru, nebo s reflektorem. V autě jsou napájeny z akumulátoru a v budovách z tzv. elektronických transformátorů. Síťové napětí se nejprve usměrní a pak spínacím obvodem přemění na napětí s kmitočtem 35 kHz, které je pak transformováno transformátorem s feritovým jádrem. Stmívání je možné. [8]

8.2 Výbojky

Výboj v plynu nastává při průchodu elektrického proudu plynem. Výbojky bývají plněny vzácnými plyny (argon, neon, xenon), halogenidy (např. jodidy NeJ, InJ, TIJ) nebo parami kovů (rtuť nebo sodíku). Spektrum výboje závisí nejen na složení par, ale i na tlaku. Oddělené spektrální čáry záření jednotlivých plynů při nízkém tlaku se při nárůstu tlaku (vysokotlakové výbojky) rozšiřují ve spojitá pásová spektra. Z hlediska základního principu rozdělujeme výbojky na nízkotlaké a vysokotlaké.

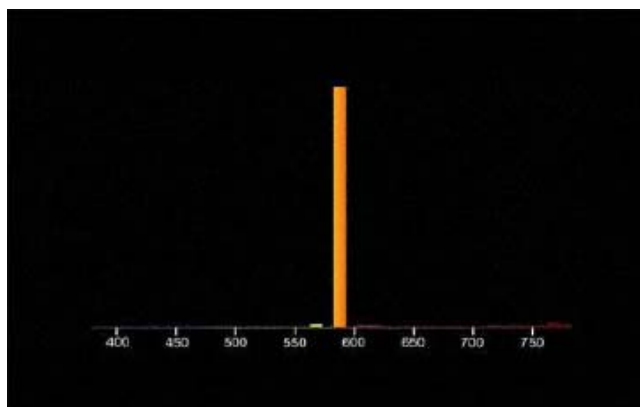
8.2.1 Nízkotlaké výbojky

8.2.1.1 Sodíkové výbojky

Nízkotlaké sodíkové výbojky jsou světelné zdroje, v nichž je světlo vyzařováno sodíkovými parami s provozním parciálním tlakem v rozmezí 0,1 až 0,5 Pa. Výboj v parách sodíku je ze světelnotechnického hlediska velmi zajímavý a jeho verze při nízkém tlaku našla uplatnění již ve třicátých letech minulého století. [22]

Charakteristickou vlastností nízkotlaké výbojky je monochromatické záření sodíkové rezonanční dvojčáry 589,0; 589,6 nm, veliký měrný výkon přesahující v některých případech 150 lm/W a téměř nulový index podání barev. Se zvyšujícím se tlakem, dochází u sodíkových výbojek ke zlepšení indexu podání barev. [5]

Výrazným problémem konstrukce výbojky je zajištění tepelné izolace výbojové trubice. Ke ztrátám dochází vedením (a sáláním) plynu, dále zářením. Ztráty vedením v plynu se omezí tím, že výbojová trubice, většinou tvaru písmene U, je umístěna ve vyčerpaném skleněném plášti. [5]



Obrázek 17 - Spektrální složení nízkotlakých sodíkových výbojek [18]

Sodík má v tuhém skupenství (pod 98 °C) velmi nízký tlak par, proto se výbojka plní neonem při tlacích 650-1300 Pa a pro zlepšení zápalu se přidává 1 % argonu. Výbojky se provozují v obvodu s rozptýleným transformátorem o velké reaktanci. [8]

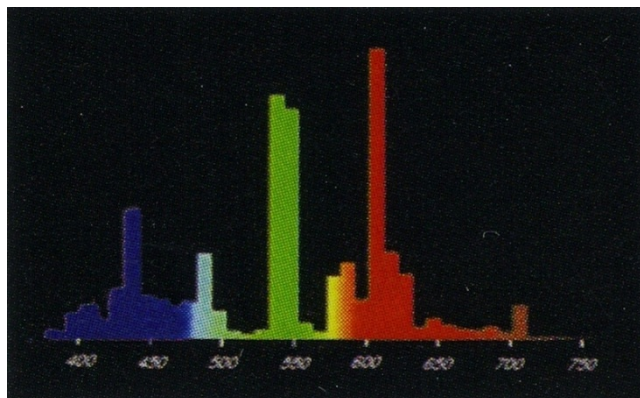
Napájecí napětí 460 až 650 V závisí na výkonu zdroje. Protože poměr napětí na výbojce k napětí naprázdno je malý, má obvod nízkotlaké sodíkové výbojky malý účinník (0,3 až 0,4), takže je nutné použít dostatečně veliký kompenzační kondenzátor. [5]

Náběh trvá 8-15 minut, vyhladnutí (před opětovným startem) 5-10 minut. Nízkotlaké sodíkové výbojky musí být provozovány ve vodorovné poloze. [8] Maximální odchylka je $\pm 20^\circ$, neboť jinak dochází ke kondenzaci sodíku v chladnější části výbojové trubice a červené (neón) barvě výboje v teplejší části. [5]

8.2.1.2 Zářivky

Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, které vyzařují hlavně v oblasti ultrafialového záření. Toto záření se pak pomocí luminoforu transformuje na viditelné. [19]

Typická zářivka se žhavenými elektrodami se skládá ze skleněné trubice, jejíž vnitřní povrch je pokryt vrstvou luminoforu. Trubice je naplněna argonem. (někdy směsí s neónem) na tlak přibližně $4 \cdot 10^2 Pa$ a parami rtuti, na obou koncích má žhavené spirálové wolframové elektrody pokryté emisní vrstvou, například bariumoxidem. Přítomnost



Obrázek 18 - Spektrální složení lineárních zářivek [19]

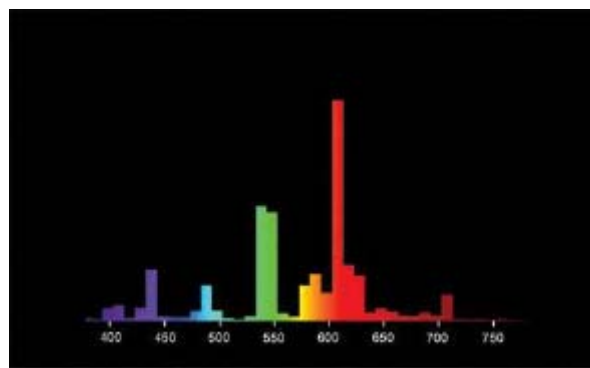
vzácného plynu snižuje zápalné napětí, zabraňuje rozprašování materiálu elektrod a zvětšuje intenzitu rezonančních čar rtuti. Přidáním argonu se podstatně zvýší tlak v trubici (optimální parciální tlak par rtuti v zářivce při optimálním výtěžku rezonančního záření je pouze $0,6 Pa$) a úměrně k tomu se zkrátí střední volná dráha atomů rtuti. Tím se podstatně zvětší pravděpodobnost srážek atomů rtuti s elektrony a omezí se jejich difuze na stěnu trubice. [8]

Doba života zářivek se mění i podle způsobu provozu. Při provozu s klasickým předřadníkem se doba života zářivky pohybuje okolo 10 000 h, zatímco při provozu s elektronickým předřadníkem se pohybuje okolo 18 000 h. [18]

8.2.1.3 Kompaktní zářivky

Z hlediska konstrukce se jedná o trubice zhotovení z měkkého skla, na jehož vnitřní stranu je nanášena jedna, u speciálních typů dvě vrstvy luminoforu, které transformují ultrafialové záření kladného rtuťového sloupce na záření viditelné. [23]

Mezi hlavní přednosti těchto zářivek patří zejména vhodné geometrické parametry, umožňující konstruovat materiálově úsporná svítidla s jednoduchou optikou, vysoce produktivní výrobní linky, jejichž kapacita dosahuje výkonnosti až 4000 ks/h, rychlý



Obrázek 19 - Spektrální složení kompaktních zářivek [18]

start bez blikání, který je navíc šetrný ke katodě. Stabilní svícení bez míhání, na které může být lidské oko při frekvenci napájecího napětí 50 Hz ještě citlivé a úplné potlačení stroboskopického jevu [23]

Hlavní nevýhody zářivek patří potřeba předřadných a startovacích obvodů, které částečně snižují měrný výkon osvětlovací soustavy a obsah toxické rtuti, pro niž nelze zářivky po ukončení jejich života odkládat do komunálního odpadu.

8.2.1.4 Indukční výbojky

Indukční výbojky patří mezi kategorii světelných zdrojů, v nichž je výboj buzen vysokofrekvenčním polem. Charakteristickou zvláštností této skupiny světelných zdrojů je bezelektrodová konstrukce v prostoru, kde dochází k výboji. To vede k významnému technologickému zjednodušení výroby vlastní výbojky a současně umožňuje zlepšení provozních parametrů, protože výbojka neobsahuje tolik konstrukčních prvků, se kterými by mohla reagovat vnitřní náplň. Technicky složitě je zajištění příslušného napájecího zdroje, jehož technická úroveň, spolehlivost a cena zásadně ovlivňuje použití těchto výbojek v osvětlovací praxi. [24]

Výboj probíhá v parách rtuti a argonu. Obdobně jako je tomu u lineárních a kompaktních zářivek. Zdrojem intenzivního UV záření se výraznými spektrálními čarami s vlnovou délkou 185,4 a 253,7 nm. Toto záření je pak transformováno do viditelné oblasti spektra luminoforem, který je nanesený na vnitřní straně výbojky. Typ luminoforu je na bázi hlinitanů a fosforečnanů aktivovaných prvky vzácných zemin. Vlivem bezelektrodové konstrukce se dosahuje extrémně dlouhého života, při velmi dobré stabilitě světelného toku během svícení. [24]

Výbojky jsou konstruovány na napětí 200 až 240 V, doba jejich opakovaného zápalu je desetina vteřiny. Jmenovitý život dosahuje až 100 tisíc hodin, zatímco ekonomický život,

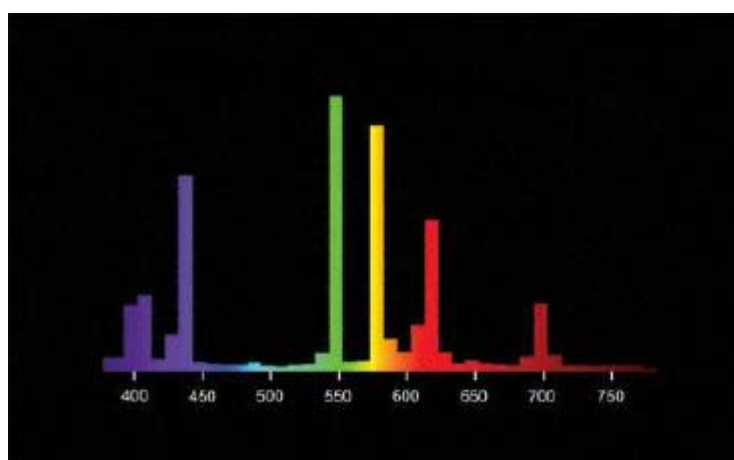
tj. doba, ve které je funkční alespoň 80 % zkoušených výbojek, je dle údajů udávaných výrobcí až 60 tisíc hodin. Mezi hlavní přednosti těchto zdrojů patří zejména jejich velmi dlouhý život, okamžitý start a znovuzápal. Naopak mezi jejich nevýhody patří absence stmívatelnosti a vysoká cena kompletu svítidlo + výbojka. [24]

8.2.2 Vysokotlaké výbojky

8.2.2.1 Rtuťové výbojky

Vysokotlaké rtuťové výbojky jsou výbojky s luminoforem nebo bez něj, v nichž rtuťové páry mají tlak řádu $10^5 Pa$. Světlo vzniká jednak ve rtuťových parách křemenného hořáku, jednak v luminoforu vnější baňky, přeměnou ultrafialového záření. [8]

U vysokotlakých výbojek je mechanismu vzniku světla odlišný. Při postupné zvyšování tlaku rtuťových par a zvyšování proudové hustoty se totiž posunuje vyzařovaná energie směrem k větším vlnovým délkám, roste měrný výkon a vzniká spojitě spektrum, jehož intenzita s narůstajícím tlakem rtuťových par rovněž roste. Závislost měrného výkonu rtuťové výboje na tlaku rtuťových par je znázorněna na obrázku. [25]



Obrázek 20 - Spektrální složení vysokotlakých rtuťových výbojek [18]

Křemenná výbojová trubice – hořák, je pomocí nosného systému upevněna v uzavřené skleněné baňce. Toto uspořádání umožňuje, aby se v průběhu periody žhavení vyvinul dostatečně vysoký tlak par rtuti. Geometrie hořáku, jeho tepelná izolace a elektrický příkon musí být vzájemně uspořádány tak, aby se tlak par zvyšoval, až se rtuť obsažená v hořáku beze zbytku vypaří. Nedochozí tedy ke vzniku chladnějších míst za elektrodami, jako je tomu u sodíkových výbojek, a také žádná část hořáku není význačně přehřátá. [5]

Hlavní podíl záření připadá na nerezonanční čáry, z nichž část leží v ultrafialové a čtyři velmi intenzivní ve viditelné části spektra. Ve viditelné části spektra leží oblasti 404 až 407, 436, 546 a 577 nm. Přes poměrně velký výkon (50 až 60 lm/W) však takový zdroj světla není vhodný pro všeobecné osvětlení, protože ve spektru jeho světla naprosto chybí červená složka. [25]

Vzhledem k tomu, že čárové spektrum rtuťového výboje je z hlediska barvy světla zcela nevyhovující (barvo modro-zelená), musí být doplněno o chybějící složky spektra zvláště v oblasti červené, tj. nad 600 nm. Závada se odstraňuje použitím luminiscenční vrstvy transformující ultrafialové záření par rtuti na světlo v oblasti červené části spektra.

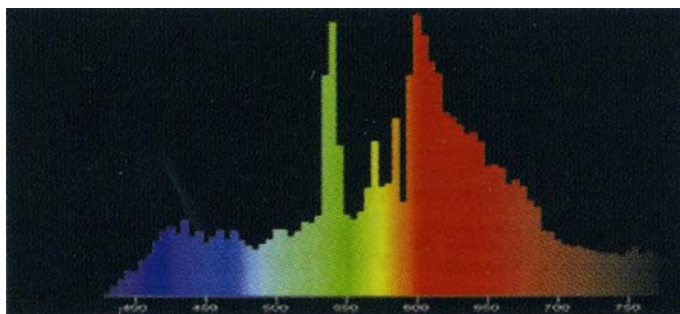
Pro barevnou korekci se používá třech typů luminoforů a to konkrétně: osfosforečnan strontnato-zinečnatý aktivovaný cínem (ortofosfát) s maximem emise kolem 640 nm, fluorogermaničitan hořečnatý aktivovaný manganem (fluorogermanát) s maximem emise kolem 640 nm ovšem s intenzitou přibližně dvojnásobku proti ortofosfátu a vanadičitan yttrirý aktivovaný europiem (ytriumvanadát) s maximem v oblasti 620 nm a 650 nm. [5]

Vysokotlaké rtuťové výbojky jsou konstruována na provozní síťové napětí $U=230$ V a jejich životnost dosahuje hodnot 12000 až 16000 hodin. [8];[25]

8.2.2.2 Halogenidové

První rtuťové výbojky, které byly doplněny halovým prvky kovů pro lepší podání barev, pocházejí z roku 1912. [26]

Viditelné záření zde vzniká jednak v parách rtuti, ale hlavním principem je záření halogenidů, které způsobují až 90 % záření. Halogenidy jsou sloučeniny halových prvků například s galiem, thaliem, sodíkem apod. Toto vede ke zvýšení indexu podání barev a měrnému výkonu



Obrázek 21 - Spektrální složení halogenidových výbojek [19]

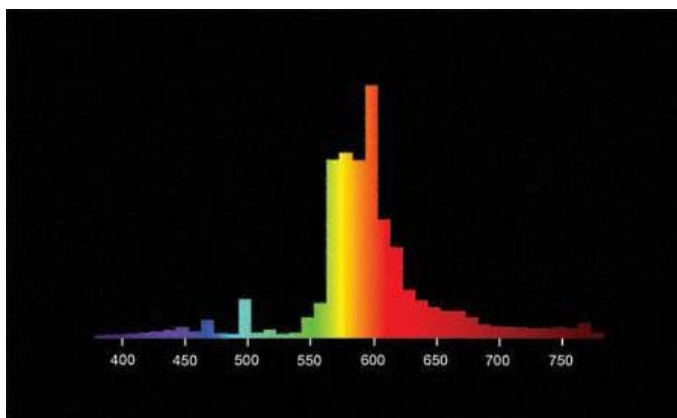
dosahujícímu hodnot až na 130 lm/W. Halogenidové výbojky pracují při venkovní teplotě -20 až 60 °C a jejich životnost může dosahovat až 15 000 hodin. [19]

Halogenidové výbojky jsou zdrojem světla pro datové projektory. Mají dvě elektrody a pro zapálení se používá impuls vysokého napětí, který musí vytvořit zapalovací obvod. [26]

8.2.2.3 Sodíkové

Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou světelné zdroje, v nichž se světlo vyzařované hlavně sodíkovými parami s provozním parciálním tlakem v rozmezí 3 ÷ 60 kPa. Sodík se vyznačuje intenzivním rezonančním dvojčárý ve žluté části spektra s vlnovou délkou λ 589,0/598,6 nm, která se přibližuje maximální spektrální citlivosti lidského oka. [27]

Zvyšování tlaku par sodíku nevede přímé samoabsorpci rezonančních čar λ 589,0/598,6 nm (tak je to obvyklé u rezonanční čáry rtuti 253,7 nm), dochází naopak k jejich značnému rozšíření, takže celková intenzita záření emitovaná vysokotlakým sodíkovým výbojem v rezonančním přechodu zůstává velká a je rozložena v širokém pásu vlnových délek. [5]



Obrázek 22 - Spektrální složení vysokotlakých sodíkových výbojek [18]

Měrný výkon těchto výbojek od špičkových výrobců dosahuje až 200 lm/W. Přes své velmi špatné podání barev, kdy všechny barvy osvětlovaných předmětů, kromě barvy oranžové, se jeví jako barvy šedé různé sytosti, nacházejí své použití zejména při osvětlování dálnic. [27]

Výbojka se připojuje na síť přes tlumivku a tyristorový zapalovač. Pro ionizaci xenonové náplně a zapálení je třeba napěťový impulz 2 kV i více. Výhodou vysokotlaké sodíkové výbojky jsou malé rozměry při velkém výkonu, přijatelné podání barev a velká životnost. [8]

8.3 Světlo emitující diody

Je všeobecně známo, že malá účinnost klasických žárovek se projevuje ve vysoké spotřebě elektrické energie. Příliš velká část spotřebované energie tedy připadá na ztráty v podobě neviditelného infračerveného záření a odvedeného tepla. Proto v provozovnách, kde se dlouhodobě svítí, majitelé či provozovatelé stále častěji přecházejí k používání zářivek, jejichž účinnost se pohybuje kolem $\eta=18\%$, a to dokonce při mnohem delším životě. Je tomu tak z toho důvodu, že vyšší náklady na instalaci úsporného osvětlení se rychle vrátí v

ušetřených nákladech na provoz. V době neustálého zvyšování cen elektrické energie tento trend postupně přichází i do domácností, neboť i tam stále více lidí počítá. [28]

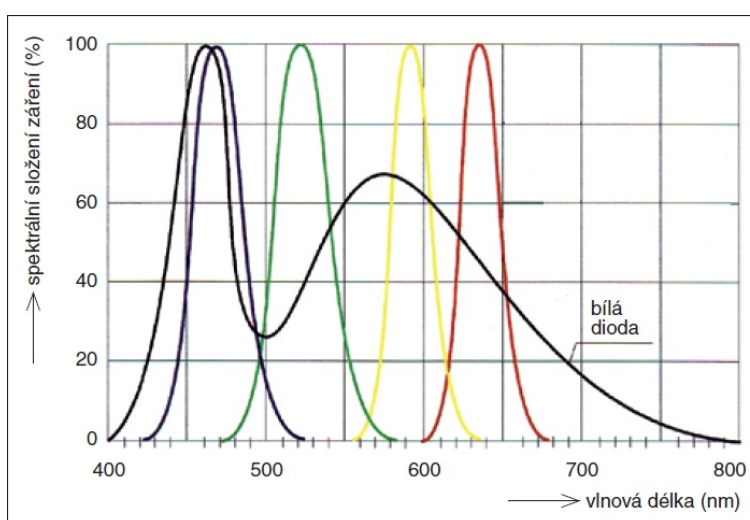
Světlo emitující dioda (luminiscence přechodu PN) se podstatně neliší od konvenčního polovodičového prvku jako je např. křemíková dioda. Rozdíl spočívá v tom, že při přiloženém napětí v propustném směru se projeví za určitých podmínek luminescence. [5]

Světlo emitující diody, v dnešní době běžně nazývané LED-diody, v dnešní době dosahují svítivosti až 7 kandel. Svítivé diody přeměňují proud na PN přechodu ve světlo (opačně než při fotoefektu). Jsou vyráběny ze smíšených krystalů GaASP, GaAs, GaP a GaN. Barva světla LED je určena polovodičovým materiálem a jeho dotací. Dotace např. dusíkem (atom N) nebo fosforem (atom P) dává podle stupně dotace různá zbarvení. [8]

Typ polovodiče		
materiál/dotace	barva světla	vlnová délka [nm]
GaAs/Si	infračervená	930
GaAs/P	červená	655
GaAsP/N	oranžová	625
GaAsP/N	žlutá	590
GaP/N	zelená	555
GaN	modrá	465

Tabulka 3 - Vlnové délky svítivých diod [8]

Přiložíme-li na přechod PN napětí takové polaroty, že oblast typu P je spojena kladnou elektrodou (přechod v propustném směru), sníží se potenciálový val ΔV a na přechodu PN nastane trvalý tok elektronů do oblasti P a současně trvalý tok děr do oblasti N. U přechodu elektronů do oblasti PN dojde tedy k rekombinaci mezi elektrony z vodivostního



Obrázek 23 - Spektrální složení svítivých diod [29]

pásma s děrami z valenčního pásma. Tato rekombinace je provázána uvolněním energie, která je buď tepelná, nebo zářivá, popřípadě jejich kombinace. [28]

Klasické LED vyzařují monochromatické záření v důsledku zářivé rekombinace elektronů a děr v polovodiči v oblasti přechodu PN při průchodu elektrického proudu diodou. Vlnová délka je dána pásovou strukturou rozdělení energetických hladin použitého polovodiče, zvláště šířkou zakázaného pásu a polohou hladin od příměsí. Běžné diody mají barvu červenou, žlutou, zelenou a modrou. [28]

Tyto zdroje záření nové generace umožňují další významné snížení spotřeby elektrické energie a tím i další úsporu nákladů. Navíc jejich život je minimálně 50 000 h, což je padesátkrát více než v případě běžných žárovek a osmkrát více než u úsporných zářivek. V mnoha svítidlech je lze jednoduše zaměnit za klasické zdroje bez dalších úprav. Při použití v kapesních či akumulátorových svítilnách se baterie nebo akumulátory mnohem pomaleji vybíjejí, a tedy mnohem déle vydrží. Z toho plyne, že i jednoduché „počty“, uživatele brzy přesvědčí o tom, že uvedené polovodičové světelné zdroje jsou velmi ekonomické a vyplatí se i přes své vyšší pořizovací náklady. Vyrábějí se v modifikacích pro všechny běžné způsoby napájení, např. $U = 12 \div 24 \text{ V (DC)}$ či $U = 230 \text{ V (AC)}$, a s běžnými typy patič. [28]

9 Diskuse

V následující tabulce jsou uvedeny účinnosti různých typů fotovoltaických článků. Z hlediska obvyklé účinnosti se rozhodně nejlépe jeví použití PV článků na principu arsenidu galitého. Také teplotní odolnost článku je mnohem lepší než u článků na bázi křemíku.

Porovnání různých typů PV článků		
Typ	Obvyklá účinnost [%]	Maximální dosažitelná účinnost [%]
Monokrystalický křemík	14÷17	25
Polykrystalický křemík	13÷16	20
Amorfní křemík	5÷7	12
GaAs	25÷28	30

Tabulka 4 - Porovnání různých typů PV článků [3]

Bohužel protože se jedná o technologii, jejíž cena mnohonásobně převyšuje cenu PV článků na bázi křemíku, zůstane i nadále použití této technologie pouze ve vesmírném průmyslu.

Monokrystalický křemík se také jeví jako vhodný pro konstrukci PV článků. Nicméně jak bylo uvedeno v kapitole popisující články na bázi monokrystalického křemíku, jedná se o velmi energeticky náročný proces výroby a pokud se nenajde způsob, jak snížit jeho cenu, zůstane i nadále u článků na principu polykrystalického křemíku. Tyto články jsou v současné době na trhu zastoupeny nejvíce.

Nyní ke zdrojům světla určeným k osvětlování fotovoltaických článků. Jak bylo vidět na obrázku 8 – spektrální citlivost PV článku a také citlivost fotovoltaických článků je rozhodně jiná, než spektrum obyčejných žárovek. V obrázku 14 je uvedeno spektrální složení světla obyčejné žárovky a denního světla. Obyčejná žárovka má sice spojitě spektrum, nicméně se jedná o spíše teplotní zdroj světla. Energetická účinnost, která dosahuje u žárovek plněných vakuem 7 % a argonem 10 % také není zrovna ideální. U halogenových žárovek je tomu podobně, protože se jejich spektrální charakteristiky výrazně neodlišují.

Nízkotlaké sodíkové výbojky jsou na tom, co se spektrální charakteristiky týče, úplně nejhůře. Jejich charakteristickou vlastností je monochromatické záření sodíkové rezonanční dvojčáry s vlnovou délkou 589,0 a 589,6 nm. Nejenže tyto zdroje světla mají nulový index podání barev, který však při osvětlování PV článků není důležitý, celková energie záření je soustředěna do úzké emisní čáry, jejíž energie je rozhodně menší než energie slunečního záření.

Zářivky, ať už se jedná o zářivky lineární, kompaktní nebo indukční výbojky, které téměř všechny pracují na velice podobném principu, lišící se z konstrukčního hlediska, jsou na tom sice lépe, ale podobně jako nízkotlaké sodíkové výbojky. Jejich vyzařovaná energie je soustředěna do několika úzkých emisních spektrálních čar, tudíž jejich celková energie je také rozhodně menší než energie dodaná slunečním zářením.

Ze skupiny výbojových zdrojů světla se nejlépe jeví halogenidové zdroje světla. Jejich vyzařovaná energie je rozumně zastoupena v celém emisním spektru. Pokud však zohledníme finanční hledisko - pořizovací cenu, která se pohybuje v rámci několika tisíců korun, použití v osvětlování PV článků se nejeví jako rozumná volba. Vysokotlaké rtuťové a sodíkové zdroje světla bych zařadil do skupiny velmi podobné nízkotlakým zdrojům. Do této skupiny patří nízkotlaké sodíkové výbojky a zářivky jako celek.

Prohlédneme-li si spektrální charakteristiku světla emitujících diod, která je vidět na obrázku 23 - Spektrální složení svítivých diod, tak spektrální charakteristika bílé svítivé diody je nejlepším kandidátem pro osvětlování PV článků. Jak je z charakteristiky zřejmé, složení

světla bílé svítivé diody je na tom ze všech porovnávaných zdrojů nejlépe. Energetická účinnost těchto diod dosahuje hodnot kolem 40 %. Zároveň velmi dlouhá doba životnosti, z použitého zdroje kolem 50 000 hodin, také svědčí o tom, že pro osvětlování PV článků, bude použití zdrojů světla na bázi bílých svítivých diod nejlepší volbou.

10 Závěr

Tato bakalářská práce shrnuje problematiku ostrovních solárních fotovoltaických panelů určených k osvětlování. Konkrétně zde popisuje rozdíly mezi různými typy umělých zdrojů světla. Díky ní jsem pronikl do hlubší problematiky různých světelných zdrojů, které je možné používat k jejich osvětlování. Zároveň jsem se obeznámil s technologiemi a principy, o kterých jsem dříve nevěděl. V dnešní době je téma obnovitelných zdrojů energie mezi něž patří i fotovoltaika velmi aktuální. Současná spotřeba zásob fosilních paliv, zejména pak ropy, nadále poroste a při současné situaci naše planeta nemůže s těmito zdroji vystačit. Zároveň bych chtěl zdůraznit, že při přeměně slunečního záření na elektrickou energii nevznikají žádné škodlivé látky, jako je tomu u jiných typů elektráren, které spalují fosilní paliva. Fotovoltaika, jako taková, je dle mého názoru perspektivní téma budoucnosti

Z hlediska různých druhů umělých zdrojů světla, se jako nejlepší volbou jeví světlo emitující diody. Jejich spektrální charakteristika je ze všech ostatních zdrojů světla nejvíce podobná citlivosti PV článku. Všechny ostatní zdroje světla jsou rozebrány jednotlivými kapitolami a jejich shrnutí je v kapitole diskuse.

Fotovoltaické elektrárny jsou budoucností ve výrobě elektrické energie. Je však nezbytné zdokonalit akumulaci přebytečné energie, kterou je PV elektrárna schopna vyrobit během dne. Jiné principy, o kterých se také částečně zmiňuje tato práce, jsou buď ve fázi prototypů, nebo jejich výstavba, jako je tomu u přečerpávacích nádrží, je tak energeticky i plošně náročná, že si ji žádný stát při současných cenách a pokrytí pozemků nemůže dovolit. Musíme tedy uvážit, jak moc je rozumné stavět PV elektrárny na půdách, které by mohli být využity jiným způsobem, než k produkci elektrické energie.

Rozhodně jsem však zastáncem názoru, že fotovoltaické elektrárny by měli patřit na každou větší plochu typu střech průmyslových objektů, plochých střech budov, kde by navíc nebyl problém s jejich umělým osvětlováním během noci. Dokonce by mohly částečně pokrývat střechy rodinných domů. Nejsem sice zastáncem výkupní politiky českého

energetického průmyslu, ale na částečné pokrytí energetické spotřeby těchto objektů je fotovoltaika rozumnou volbou.

Ostrovní systémy s akumulátory elektrické energie je vhodné použít například v zemědělství. Přes den by zemědělec obdělával své polnosti a v noci by mohla být akumulovaná energie použita například pro zavlažování a podobně.

11 Literatura

- [1] **LIBRA, Martin a POULEK, Vladislav.** *Fotovoltaika*. Praha : ILSA, 2010. ISBN 978-80-904311-5-7.
- [2] **CIHELKA, Jaromír.** *Solární tepelná technika*. Praha : Malina, 1994. ISBN 80-900759-5-9.
- [3] **MURTINGER, Karel, BERANOVSKÝ, Jiří a TOMĚŠ, Milan.** *Fotovoltaika. Elektrická energie ze slunce*. Praha : BEN, 2009. ISBN 978-80-87333-01-3.
- [4] **POULEK, Vladislav a LIBRA, Martin.** *Solární fotovoltaický systém s vysokou účinností*. Elektro [Online]. 2002, č. 8-9 [Citace: 3. Březen 2012]. Dostupné z <<http://www.odbornecasopisy.cz/download/el080272.pdf>>.
- [5] **MIŠKAŘÍK, Stanislav.** *Moderní zdroje světla*. Praha : SNTL, 1979.
- [6] **HALLIDAY, David, RESNICK, Robert a WALKER, Jearl.** *Fyzika*. Brno : VUTIUM, 2006. ISBN 80-214-1868-0.
- [7] **ČEZ.** Fyzikální princip záření. *Solární Energie*. [Online] [Citace: 30. Březen 2012]. Dostupné z <<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k11.htm>>.
- [8] **TKOTZ, Klaus.** *Příručka pro elektrotechnika*. Praha : Europa - Sobotáles cz, 2002. ISBN 80-86706-00-1.
- [9] **LIBRA, Martin a POULEK, Vladislav.** *Fyzikální podstata fotovoltaické přeměny solární energie*. Světlo [online]. 2005, č. 1 [Citace: 1. Březen 2012]. Dostupné z <<http://www.odbornecasopisy.cz/download/sv010532.pdf>>.
- [10] **KRAUS, Ivo a FIALA, Jaroslav.** *Elementární fyzika pevných látek*. Praha : Česká technika - vydavatelství ČVUT, 2011. ISBN - 978-80-01-04931-0.
- [11] **SOLARTEC.** *Spektrální citlivost solárních článků*. [Online][Citace: 13. Březen 2012]. Dostupné z <<http://www.solartec.cz/cs/fv-systemy/o-fotovoltaice/spektralni-citlivost-clanku.html>>.
- [12] **Czech RE Agency.** *Fotovoltaika pro každého*. [Online] [Citace: 4. Únor 2012]. Dostupné z <<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika#syst1>>.
- [13] **SOLARENVI.** *Systémy připojené na síť* [Online] [Citace: 25. Únor 2012]. Dostupné z <<http://www.solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/typy-instalaci/grid-on/>>.
- [14] **SOLARENVI.** *Ostrovní systémy* [Online] [Citace: 3. Březen 2012]. Dostupné z <<http://www.solarenavi.cz/slunecni-elektrarny/typy-instalaci/off-grid/>>.
- [15] **ŘEHÁK, Jaromír, BÁRTEK, Jiří, BAŘINKA.** *Fotovoltaika a fotovoltaické systémy v podmínkách ČR a jejich navrhování* [online] [Citace: 9. Březen 2012]. Dostupné z <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/98_8050.pdf>.

- MAREŠ, Jan, LIBRA, Martin a POULEK, Vladislav.** *Akumulace elektrické energie.*
 [16] *Elektro* [online]. 2011, č. 2 [Citace: 3. Březen 2012]. Dostupné z
 <<http://www.odbornecasopisy.cz/pdfclick.php?id=42869>>.
- HENZE, Andreas a HILLEBRAND, Werner.** *Elektrický proud ze slunce : fotovoltaika v praxi : technika, přehled trhu, návody ke stavbě.* Ostrava : HELL, 2000. ISBN 80-86167-12-7.
- [17] **SOKANSKÝ, Karel a kolektiv.** *Základy základů světelné techniky.* Ostrava: Vysoká škola báňská, 2007.
- [18] **SOKANSKÝ, Karel, a další, a další.** *Světelný technika.* Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [19] **DVOŘÁČEK, Vladimír.** *Světelné zdroje – obyčejné žárovky.* Světlo[online] [Citace: 1. Únor 2012]. 2008, č. 4 [Citace: 3. Únor 2012]. Dostupné z
 [20] <<http://www.odbornecasopisy.cz/pdfclick.php?id=37590>>.
- DVOŘÁČEK, Vladimír.** *Světelné zdroje – halogenové žárovky.* Světlo[online]. 2008, č. 5
 [21] [Citace: 3. Únor 2012]. Dostupné z
 <<http://www.odbornecasopisy.cz/pdfclick.php?id=37973>>.
- DVOŘÁČEK, Vladimír.** *Světelné zdroje – nízkotlaké sodíkové výbojky.* Světlo [online].
 [22] 2009, č. 6 [Citace: 3. Únor 2012]. Dostupné z
 <<http://www.odbornecasopisy.cz/pdfclick.php?id=40237>>.
- DVOŘÁČEK, Vladimír.** *Světelné zdroje – kompaktní zářivky .* Světlo [online]. 2008, č. 3
 [23] [Citace: 3. Březen 2012]. Dostupné z
 <<http://www.odbornecasopisy.cz/pdfclick.php?id=37410>>.
- DVOŘÁČEK, Vladimír.** *Světelné zdroje – indukční výbojky.* Světlo [online]. 2009, č. 4
 [24] [Citace: 3. Březen 2012]. Dostupné z
 <<http://www.odbornecasopisy.cz/pdfclick.php?id=39389>>.
- DVOŘÁČEK, Vladimír.** *Světelné zdroje – vysokotlaké rtuťové výbojky, směšové výbojky .*
 [25] Světlo [online]. 2008, č. 6 [Citace: 3. Březen 2012]. Dostupné z
 <<http://www.odbornecasopisy.cz/pdfclick.php?id=38296>>.
- HUBEŇÁK, Josef.** *Od uhlíkové žárovky k moderním zdrojům světla.* Pokroky matematiky,
 [26] fyziky a astronomie [Online]. 2010, č. 2 [Citace: 10. Únor 2012]. Dostupné z
 <http://dml.cz/bitstream/handle/10338.dmlcz/141946/PokrokyMFA_55-2010-2_3.pdf>.
- DVOŘÁČEK, Vladimír.** *Světelné zdroje – vysokotlaké sodíkové výbojky.* Světlo [online].
 [27] 2009, č. 3 [Citace: 3. Leden 2012]. Dostupné z
 <<http://www.odbornecasopisy.cz/pdfclick.php?id=39197>>.
- LIBRA, Martin a POULEK, Vladislav.** *Světelné zdroje nové generace na bázi diod LED.*
 [28] Světlo [online]. 2004, č. 2 [Citace: 3. Leden 2012]. Dostupné z
 <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=23213>.
- DVOŘÁČEK, Vladimír.** *Světelné zdroje – světelné diody.* Světlo [online]. 2009, č. 5
 [29] [Citace: 5. Leden 2012]. Dostupné z
 <<http://www.odbornecasopisy.cz/pdfclick.php?id=39810>>.

12 Seznamy použitých zkratk, obrázků, tabulek, symbolů

12.1 Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 – Slunce v rentgenové oblasti spektra	2
Obrázek 2 - Elektromagnetická vlna [6].....	4
Obrázek 3 - Spektrum viditelného světla [6].....	5
Obrázek 4 - Krystalická mřížka křemíku [8].....	7
Obrázek 5 - Polovodič typu N (křemík dotovaný fosforem) [8]	8
Obrázek 6 - Polovodič typu P (křemík dotovaný hliníkem) [8]	8
Obrázek 7 - Děje vniklé na N-P přechodu [8]	8
Obrázek 8 - Spektrální citlivost PV článku [11].....	10
Obrázek 9 - Ostrovní systém s přímým napájením [14].....	12
Obrázek 10 - Ostrovní systém s akumulací elektrické energie [14]	12
Obrázek 11 - Systém s akumulací energie pro 12V i 230 V [14].....	13
Obrázek 12 - Systém s akumulací energie pro 12/24 V [14].....	13
Obrázek 13 - Schéma orientace PV systémů [13]	14
Obrázek 14 - Spektrální složení světla obyčejné žárovky a denního světla [8]	22
Obrázek 15 - Různé tvary vlákna žárovky [8].....	23
Obrázek 16 - Spektrální složení halogenových žárovek [5].....	24
Obrázek 17 - Spektrální složení nízkotlakých sodíkových výbojek [18]	25
Obrázek 18 - Spektrální složení lineárních zářivek [19]	26
Obrázek 19 - Spektrální složení kompaktních zářivek [18]	27
Obrázek 20 - Spektrální složení vysokotlakých rtuťových výbojek [18].....	28
Obrázek 21 - Spektrální složení halogenidových výbojek [19].....	29
Obrázek 22 - Spektrální složení vysokotlakých sodíkových výbojek [18]	30
Obrázek 23 - Spektrální složení svítivých diod [29]	31

12.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Šířky zakázaných pásů [10].....	7
Tabulka 2 - Energetická bilance halogenové žárovky [5]	24
Tabulka 3 - Vlnové délky svítivých diod [8].....	31
Tabulka 4 - Porovnání různých typů PV článků [3].....	32