

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

OSVĚTLENÍ A OSVĚTLOVACÍ SYSTÉMY PRO NEZÁVISLÉ APLIKACE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ ČEJKA

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Lukáš Čejka

ID: 136508

Ročník: 3

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Osvětlení a osvětlovací systémy pro nezávislé aplikace

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Pro řadu aplikací je možné využít autonomní osvětlovací systémy napájené z baterií a akumulátorů s možností autozásobování nebo dobíjení nezávislými zdroji. Práce by měla shrnout současné možnosti, zhodnotit výhody a nevýhody, nastínit možné vylepšení a další řešení.

1. Vytipování aplikací osvětlení s nezávislým provozem na síť.
2. Stávající stav řešení problematiky autonomního osvětlování.
3. Ekonomická bilance malých osvětlovacích systémů.
4. Návrhy realizace nových typů autonomních osvětlovacích systémů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 31.5.2013

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

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Petr Toman, 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.

Bibliografická citace práce:

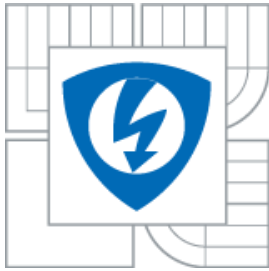
ČEJKA, L. *Osvětlení a osvětlovací systémy pro nezávislé aplikace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 48 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D..

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

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

OSVĚTLENÍ A OSVĚTLOVACÍ SYSTÉMY PRO NEZÁVISLÉ APLIKACE

LIGHTING AND LIGHTING SYSTEMS FOR STAND-ALONE APPLICATIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ ČEJKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. PETR BAXANT, Ph.D.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou osvětlení a osvětlovacích systémů pro nezávislé aplikace. Tyto systémy jsou nezávislé na připojení k elektrické síti a jsou napájeny z baterií a akumulátorů s možností dobíjení nezávislými zdroji. Práce je více zaměřena na autonomní osvětlovací systém, který využívá solárního panelu. Jsou zde uvedeny hlavní komponenty tohoto systému. Dále jsou v této práci uvedeny jednotlivé typy těchto osvětlovacích aplikací, jejich možnosti, problematika, výhody a nevýhody, ekonomická bilance, a zároveň je zde nastíněno další možné řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA: Autonomní osvětlovací systémy; veřejné osvětlení; obnovitelné zdroje; olověné baterie; fotovoltaické panely; světelné zdroje; návrh osvětlení

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the issue of lighting systems for stand-alone applications. These systems are independent of the electrical connection and they are powered by batteries. Batteries are charged by independent sources. The work is more focused on an autonomous lighting system that uses a solar panel. It mentions the main components of the system. Furthermore, in this work, we can find types of stand-alone lighting applications, their possibilities, problems, advantages and disadvantages, economic balance and also outline other possible solutions.

KEY WORDS: Lighting systems for stand-alone applications; public lighting; renewable energy; lead-acid battery; photovoltaic panels; light source; lighting design

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	10
1 ÚVOD.....	11
1.1 CÍLE PRÁCE	11
2 SEZNÁMENÍ S AUTONOMNÍMI OSVĚTLOVACÍMI SYSTÉMY	12
2.1 VÝVOJ	12
2.2 JEDNOTLIVÉ KOMPONENTY	13
2.2.1 ZDROJE.....	14
2.2.2 BATERIE.....	18
2.2.3 SVĚTELNÉ ZDROJE	21
2.2.4 SVÍTIDLA.....	23
2.2.5 REGULÁTOR	24
2.2.6 MĚNIČ	25
2.2.7 KABELOVÉ ROZVODY A OCHRANNÉ PRVKY	25
2.3 KONSTRUKCE.....	26
3 OBECNÝ NÁVRH AUTONOMNÍHO OSVĚTLENÍ.....	28
3.1 NÁVRH OSVĚTLENÍ.....	28
3.2 NÁVRH SOLÁRNÍHO PANELU A BATERIE.....	30
3.3 LEGISLATIVA A NORMY	30
4 SOUČASNÉ VYUŽITÍ AUTONOMNÍCH OSVĚTLOVACÍCH SYSTÉMŮ.....	31
4.1 VYTIPOVÁNÍ APLIKACÍ	31
4.2 STÁVAJÍCÍ PROBLÉMY A ŘEŠENÍ	33
5 VLASTNÍ NÁVRH AUTONOMNÍHO OSVĚTLOVACÍHO SYSTÉMU.....	35
5.1 REALIZACE	35
5.1.1 KONSTRUKCE.....	35
5.1.2 PROJEKTOVÁNÍ	36
5.1.3 KOMPONENTY	38
5.1.4 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	40
5.2 DALŠÍ NÁVRHY AUTONOMNÍHO OSVĚTLOVACÍHO SYSTÉMU.....	42
6 ZÁVĚR.....	44

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2-1 Schematické uspořádání autonomního osvětlovacího systému</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 2-2 Příklad hybridního systému vlevo, vpravo příklad větrné turbíny qr5</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 2-3 Závislost výkonu solárního panelu na teplotě, voltampérová charakteristika [2]</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 2-4 Znárodnění principu fotočlánku</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 2-5 Řez solárním panelem</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 2-6 Řez olověnou baterií</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 2-7 Popis jednotlivých částí svítidla</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 2-8 Solární regulátor CARSPA CD1212 12V/12A [7]</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 2-9 Dispoziční řešení autonomního osvětlovacího systému</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 3-1 Příklad veřejného autonomního osvětlení [8]</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 4-1 Radar, měření rychlosti, obec Nížkov</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 5-1 Návrhy autonomního osvětlovacího systému. B - původní návrh</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 5-2 Náskres konstrukce</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 5-3 Denní množství elektrické energie, kterou lze očekávat v každém měsíci od FV systému s danými vlastnostmi. E_d je průměrná produkce energie za den [Wh/den], F_f je procento dnů, kdy je baterie nabita [%], F_e je procento dnů, kdy je baterie vybita [%]</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 5-4 Náskres solárního panelu</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 5-5 Náskres reflektoru</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 5-6 Náskres řídicí jednotky s baterií a ovládním</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 5-7 Realizace autonomního osvětlovacího systému</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 5-8 Náskres odnímatelného autonomního osvětlení</i>	<i>43</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2-1 Účinnost různých typů fotovoltaických článků [4]</i>	18
<i>Tab. 2-2 Porovnání některých parametrů daných druhů baterií [4]</i>	20
<i>Tab. 5-1 Technická data solárního panelu (ověřena měřením)</i>	38
<i>Tab. 5-2 Technická data reflektoru</i>	39
<i>Tab. 5-3 Technická data řídicí jednotky s akumulátorem</i>	39
<i>Tab. 5-4 Technická data ovládání</i>	40
<i>Tab. 5-5 Cena navrženého systému</i>	40
<i>Tab. 5-6 Ukázková kalkulace návratnosti autonomního solárního osvětlení za 20 let provozu (ceny bez DPH) [14]</i>	42

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

EVA	Etylenvinylacetátová fólie	Ethylene-vinyl acetate film
FV	Fotovoltaické	Photovoltaic
IK	Mechanická odolnost	Classification of resistance to mechanical impacts
IP	Stupeň krytí	Ingress Protection Rating
LED	Světlo emitující diody	Light emitting diodes
<i>h</i>	Doba života	h
<i>t</i>	Doba provozu	h
<i>A</i>	Počet dní, po které bude baterie uchovávat zásobu energie	den
<i>AM</i>	Vzduchová hmota (Air mass)	-
<i>DOD</i>	Stupeň vybití baterie (Degree of discharge)	-
<i>E</i>	Intenzita osvětlení	lx
<i>E</i>	Celková spotřeba energie	Wh
<i>E_d</i>	Průměrná produkce elektrické energie za den	Wh/den
<i>E_z</i>	Spotřeba energie světelného zdroje	Wh
<i>F_e</i>	Procento dnů, kdy je baterie vybita	%
<i>F_f</i>	Procento dnů, kdy je baterie nabita	%
<i>I</i>	Proud	A
<i>I</i>	Svítivost	cd
<i>L</i>	Jas	cd·m ⁻²
<i>P</i>	Výkon solárního panelu	Wp
<i>P_p</i>	Příkon	W
<i>Q</i>	Kapacita baterie (elektrický náboj, 1Ah = 3600 C)	Ah
<i>Ra</i>	Index podání barev	-
<i>T_c</i>	Teplota chromatičnosti	K
<i>U</i>	Napětí	V
<i>η</i>	Měrný výkon	lm·W ⁻¹
<i>η_b</i>	Účinnost nabíjení	-
<i>η_k</i>	Účinnost kabeláže	-
<i>η_r</i>	Účinnost regulátoru	-
<i>Φ</i>	Světelný tok	lm

1 ÚVOD

Světlo je nedílnou součástí našich životů od počátku věků. Vzhledem k měnícímu se životnímu stylu a neustálému zrychlování životního tempa, kdy současný jedinec tráví podstatnou většinu svého života pod umělým osvětlením, nabývá osvětlovací technika na významu. Když k tomu ještě přidáme snahu o nezávislost, a v dnešní době tolik populární zájem o ekologii, dostaneme autonomní osvětlovací systémy. Autonomní osvětlovací systémy jsou nezávislé aplikace napájené z baterií, akumulátorů s možností dobíjení pomocí nezávislých zdrojů. Většinou se jedná o obnovitelné zdroje, proto jsou tyto aplikace spojovány s ekologickou nezávadností a svou šetrností k životnímu prostředí. Ano, z určitého úhlu pohledu je tomu tak, když ovšem přehlédneme energeticky náročnou výrobu komponentů tohoto nezávislého systému. To ovšem závisí na postoji každého jedince, a tímto se tato práce nezabývá.

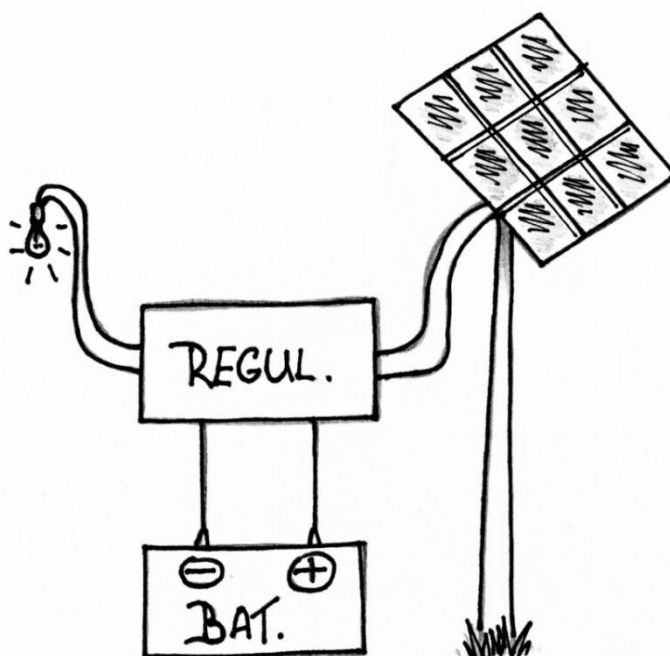
Neustálý vývoj a pokrok v moderních technologiích umožňuje efektivnější využití energie z obnovitelných zdrojů. Tomuto vývoji se nevyhnuly ani autonomní osvětlovací systémy. Ba naopak, až teprve nyní nalézají podstatné uplatnění nejen v domácnostech, zahradách a veřejných místech. Mezi autonomní osvětlovací systémy je třeba počítat i různé signalizační bójky na mořích, dokonce i velkých majáků, které složí pro lodní dopravu, například jako varování před nebezpečnými útesy. Nebo stále častěji se objevující osvětlení a signalizační značení odlehlých přechodů pro chodce, informační tabule na dálnicích, signalizační zařízení na železničních přejezdech, a další aplikace, které jsou napájeny pomocí solárních panelů. Díky pokročilejším technologiím jsme schopni efektivněji získat potřebnou elektrickou energii. Jako světelné zdroje jsou využívány méně energeticky náročné světlo emitující diody. Dochází k miniaturizaci potřebných komponent pro autonomní osvětlovací systémy, čímž se zmenšuje jejich velikost, náročnost na montáž a další technické parametry, systémy jsou odolnější vůči přírodním vlivům. Vhodným řízením autonomních systému lze zcela využít jejich potenciál. I cena těchto systémů klesá s neustálým vývojem, čímž se stávají stále dostupnějšími a populárnějšími.

1.1 Cíle práce

Tato bakalářská práce by měla shrnout současné technologie řešení, zhodnotit výhody, nevýhody a nastínit možná řešení do budoucna. Dále by v této práci měl být uveden současný stav řešení této problematiky autonomního osvětlování a v neposlední řadě vytipovány různé aplikace osvětlení nezávislého na elektrické síti a jeho ekonomická bilance. V poslední části práce je umístěna vlastní realizace autonomní osvětlovacího systému, kde je popsán postup konstrukce a použité komponenty.

2 SEZNÁMENÍ S AUTONOMNÍMI OSVĚTLOVACÍMI SYSTÉMY

Nezávislé osvětlení a osvětlovací systémy jsou zajímavou alternativou pro veřejné osvětlení, informační či reklamní panely a další signalizační zařízení závislá na připojení k elektrické síti. Mezi tyto zařízení můžeme počítat i menší aplikace používané v domácnostech pro zahradní osvětlení. Tyto aplikace jsou napájeny převážně pomocí fotovoltaických panelů. Takto získaná elektrická energie je uchovávána v bateriích, z kterých je poté čerpána v době, kdy nemá sluneční záření dostatečnou intenzitu. Autonomní osvětlení je tak zcela nezávislé na elektrické rozvodné síti. Převážná většina těchto systémů je závislá na přírodních podmínkách, slunečním svitu, případně větru. Dále funkčnost systémů závisí na kvalitě použitých komponent. Efektivita a spolehlivost systému závisí na kvalitě fotovoltaického panelu respektive baterie.



Obr. 2-1 Schematické uspořádání autonomního osvětlovacího systému

2.1 Vývoj¹

Historie autonomních osvětlovacích systémů se začala psát počátkem devadesátých let, kdy byly zpracovávány různé studie, nejčastěji o využití sluneční energie pro nezávislé osvětlovací aplikace jako řešení růstu nákladů na pouliční veřejné osvětlení. Většina studií byla zpracována pro světelné zdroje typu nízkotlakých sodíkových výbojek, jenž jsou využívány převážně pro pouliční osvětlení, pro svoje špatné barevné podání. První návrhy počítaly se zdroji světla s výkonem pod 50 W, pocházely především z oblastí, kde je dostatek slunečního svitu po celý rok. Jsou to oblasti jako Nové Mexiko, Kalifornie v USA, Thajsko či Španělsko v Evropě.

Jedna z prvních studií proběhla ve městě Albuquerque v Novém Mexiku. Návrh autonomního osvětlovacího systému obsahoval dva solární panely o výkonu 50 Wp s nízkotlakou sodíkovou výbojkou 35 W, tento systém pracoval šest hodin během noci. Výsledky studie

¹ Použitá literatura v podkapitole 2.1 Vývoj: [2], [16], [17], [30]

ukázaly, jaký potenciál se skrývá v používání solární energie jako zdroje pro nezávislé osvětlovací aplikace. Izolované části světa jsou ideálním místem pro umístění autonomních osvětlovacích systémů. Například v Thajsku umístili tyto nezávislé osvětlovací systémy využívající solární energii do odlehlých vesnic, kde pracovali sedm hodin denně. Tato zkušenost v Thajsku poukázala na to, jak složité je navrhnout správný zdroj světla. Byly zde použity různé druhy světelných zdrojů, tehdejší vítězem se stala vysokotlaká sodíková výbojka, která pracovala nejefektivněji, ovšem co se týče ceny, byla nejdražší a byla těžko k sehnání v Thajsku. Dalším zajímavým projektem, který vznikl počátkem devadesátých let, bylo uvedení fotovoltaického osvětlovacího systému v Království Tonga v jižním Pacifiku. Autonomní osvětlení zde bylo použito k osvětlování odlehlých osad a domácností, aby byl zvýšen životní standart obyvatel. Cílem projektu byla i určitá šetrnost k přírodě.

Nezávislé osvětlovací systémy byly a jsou používány i jako signalizační majáky na námořních cestách. Především na Severní mořské cestě, která vede podél ruského pobřeží, můžeme najít zajímavé autonomní osvětlovací systémy ve formě majáků. Tyto majáky jsou poháněny radioizotopovým termoelektrickým generátorem, což je spolehlivý a velmi dlouhodobý zdroj stejnosměrného elektrického proudu. K získání energie využívá rozpadu radioaktivních izotopů. Na pobřeží Ruska byly tyto majáky instalovány počátkem šedesátých let, některé fungují dodnes, pokud je ovšem nerozkradli místní.

Co se týká budoucnosti autonomních osvětlovacích systémů, tak je velmi slibná. S neustálým vývojem stále kvalitnějších nezávislých zdrojů elektrické energie, jako jsou fotovoltaické panely, kde je snaha o zvýšení účinnosti, se autonomní osvětlovací systémy dostávají do popředí zájmů. Snaha konstruktérů vede také opačnou cestou. Jde jim o to snížit spotřebu světelného zdroje, s čímž se lze v dnešní době vypořádat použitím světlo emitujících diod, takzvaných LED. Ty mají menší spotřebu elektrické energie, tudíž není potřeba rozměrný solární panel, kapacita baterie může být také menší, z toho opět vyplývají menší rozměry, delší doba provozu.

Autonomní osvětlení může najít uplatnění ve větší míře například na parkovištích, kde chytrým řízením můžeme spínat osvětlení v daný okamžik. Další vhodné uplatnění je na odlehlých přechodech pro chodce, na různých samotách, případně v parcích a na cyklostezkách. Dalším zajímavým řešením je využití v signalizačních bójích a majácích, jak již bylo řečeno. Všeobecně tyto autonomní osvětlovací systémy naleznou do budoucna veliké uplatnění v místech, kde dosud není vybudována infrastruktura nebo není potřeba infrastrukturu budovat z ekonomických důvodů. Je možné si představit, že tyto autonomní osvětlovací systémy mohou být i přenosné a mohou být používány při různých přírodních katastrofách, kdy byla zničena elektrická rozvodná síť, jako zdroj světla.

2.2 Jednotlivé komponenty

Pro pochopení problematiky autonomních osvětlovacích zařízení je třeba seznámit se s jednotlivými komponenty. Autonomní osvětlovací systém se skládá z několika základních částí. Jedná se o zdroj elektrické energie (nejčastěji fotovoltaický panel, případně kombinace větrné turbíny a FV panelu), baterii, zdroj světla a řídicí jednotku (regulátor), podle druhu světelného zdroje může být zařazen i střídač. Princip je vcelku jednoduchý, solární panel během dne nabíjí baterii, baterie potom dodává elektrickou energii pro zdroj světla během noci. Regulátor hlídá, aby nedošlo k přebíjení nebo nadměrnému vybíjení baterie.

2.2.1 Zdroje

Pro získání elektrické energie potřebné pro provoz autonomního osvětlovacího systému lze využít různých zařízení. Ať už uvažujeme nad výše zmíněným radioizotopovým termoelektrickým generátorem, který byl využíván na Severní mořské cestě, jako napájení majáků, nebo fotovoltaickým panelem, je nutné brát v potaz požadavek na jednoduchost systému. Samozřejmě, že pro trvalé (desítky let) napájení velkých majáků je vhodné využít onen RTG, který ovšem nemůžeme jen tak postavit na ulici. Pro běžné aplikace jako je veřejné osvětlení jsou primárně využívány FV panely, které mohou být doplněny větrnou turbínou. Tento systém je potom nazýván jako hybridní.

2.2.1.1 Větrné turbíny²

Energii větru využívá lidstvo už několik staletí. Nejdříve byla využívána pro pohon mlýnů na mletí obilí, pro pohon jednoduchých čerpadel na čerpání vody, případně pro pohon pil na zpracování dřeva. V Evropě bylo dříve ve využívání větrné energie na prvním místě Holandsko. V dnešním uspěchaném století hraje v Evropě prim ve využívání větrné energie Španělsko a Německo. Ve světě mají větší instalovaný výkon jen USA a Čína. Samozřejmě, že větrná energie už není využívána k mletí obilí, ale k výrobě elektrické energie.

Ovšem získávání energie z větru má svoje nevýhody. Hlavní nevýhodou je, že nikdo nedokáže přesně předpovědět, kdy a jak moc bude foukat. Tudíž je zde problém s regulací výkonu v sítích, kdy v jednu dobu máte přebytek výkonu.

Vznik větru je podmíněn nerovnoměrným ohřevem zemského povrchu, který je zapříčiněn slunečním zářením. Vzduch je zahříván ohřátým povrchem. Teplý vzduch stoupá vzhůru. Vlivem střídání dne a noci a vlivem rotace země vznikají tlakové rozdíly v atmosféře. Tyto tlakové rozdíly jsou vyrovnávány a tak vzniká vítr.

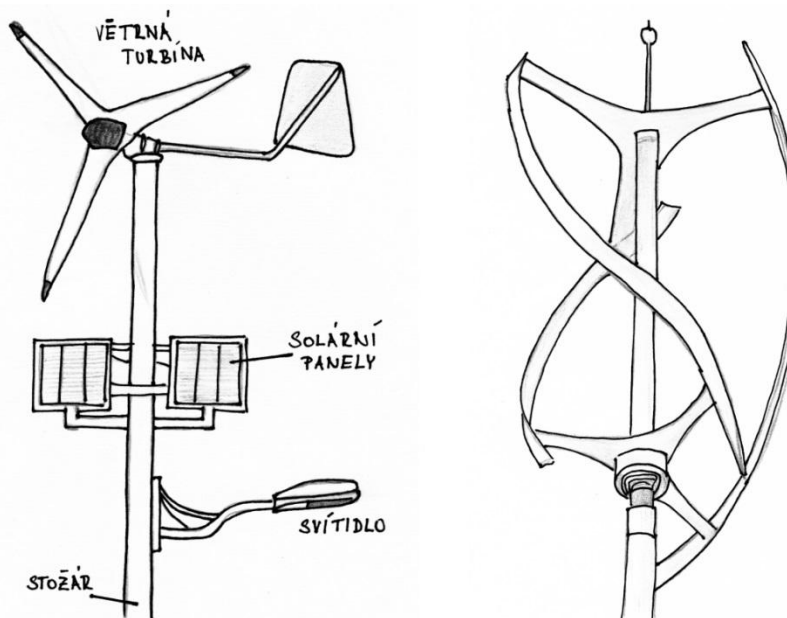
Česká republika nemá nejlepší podmínky pro využívání větrné energie. Ovšem jsou zde místa, především v pohraničí a na Vysočině, kde má vítr dostatečnou intenzitu, a je zde možné vybudovat větrnou turbínu. Dalo by se říci, že oproti zahraničním projektům je instalace větrných turbín v Česku spíše demonstrativním počinem. Nejsou zde budovány větrné farmy, nýbrž spíše volně stojící systémy čítající jednotky kusů větrných turbín.

Větrné turbíny můžeme rozdělit na odporové a vztlkové. Odporové rotory jsou typově starší. V zásadě fungují tak, že kladou odpor vzduchu, který se do nich opírá a tím je uvádí do pohybu. Jejich výhodou je především jednoduchá konstrukce. Vztlkové motory jsou modernější, pracují na vztlkovém principu. Osa otáčení bývá vodorovná, ovšem může být i vertikální (viz. Darrieuův motor). Účinnost vztlkových motorů je vyšší, ovšem je nutné je natáčet ve směru proudění větru. Nejčastěji jsou vztlkové motory konstruovány jako dvoulisté a třílisté.

Pro autonomní osvětlení se větrné generátory jako samostatný zdroj elektrické energie příliš nehodí, spíše se kombinují s fotovoltaickými panely. Kombinace je výhodná proto, že s poklesem slunečního záření zpravidla roste rychlost větru. Toto tvrzení převážně platí pro východ a západ slunce, noc, deštivé počasí. Pro trvalou využitelnost takového systému je stanovena přibližná minimální rychlost větru $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Důvodem, proč se nepoužívají samostatně, je, že ve většině případů se dané autonomní osvětlení nenalézá na zrovna ideálním místě s ideální rychlostí větru. Co si budeme povídat, osvětlení se převážně umísťuje ve městech a kolem obydlí, což nejsou

² Použitá literatura v podkapitole 2.2.1.1 Větrné turbíny: [4], [19], [25], [18], [19]

zrovna místa, kde je ideální proudění vzduchu. Proto se větrné generátory používají jako doplněk k FV panelům. Se zajímavým řešením přišla britská společnost Quietrevolution, jejich produkt qr5 turbine se podle popisu hodí do městských aglomerací a není až tak závislý na směru proudění větru. Vrtule je ve tvaru šroubovice a osa jejího otáčení je vertikálně umístěna. V současné době vyrábějí pouze pěti metrové konstrukce, ale plánují vyrobit i menší kusy, ty by potom byly vhodné do soustavy autonomního osvětlení.



Obr. 2-2 Příklad hybridního systému vlevo, vpravo příklad větrné turbíny qr5

2.2.1.2 Fotovoltaické panely³

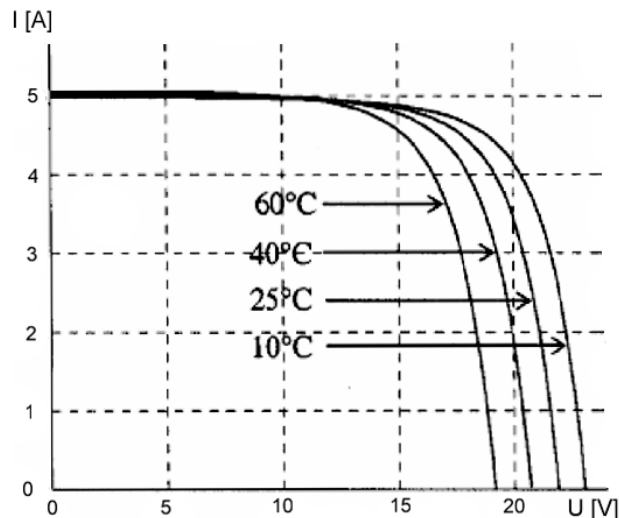
Prvním uživatelem fotovoltaických panelů byla kosmonautika a letectví. FV panely jsou využívány jako zdroj energie pro satelity na oběžné dráze kolem Země. Mezinárodní vesmírná stanice disponuje osmi páry FV panelů o délce přes 70 metrů, které jsou schopny dodávat elektrický výkon kolem 84 kW [1]. V sedmdesátých letech minulého století se poprvé FV začala dostávat do podvědomí lidí a to především v přístrojích typu kalkulaček a hodinek.

Fotovoltaické panely jsou nejvyužívanějším zdrojem elektrické energie v autonomních osvětlovacích systémech. Jejich výhoda oproti větrným turbínám tkví v tom, že FV panely nemají pohyblivé součásti. Jejich rozměry lze zakomponovat do určitého designového návrhu. Vědci neustále koketují s myšlenkou ohebných solárních panelů. Tyto inovátorské myšlenky posouvají návrh autonomního osvětlovacího systému kupředu. Prozatím ovšem platí, že výkon FV panelu je přímo úměrný jeho velikosti.

Podstatný vliv na činnost FV panelů má počasí. To znamená, že záleží na takových aspektech, jako například jestli je zataženo, či svítí slunce, na venkovní teplotě, na úhlu, pod kterým dopadá sluneční záření. V letních měsících je slunce vysoko na obloze, naproti tomu v zimních měsících je slunce nízko. To znamená, že v zimních měsících je účinnost panelů nižší. Je nutné počítat i se sněhem, který může ulpět na panelech a snížit jejich účinnost. Proto je nutné panely v zimě čistit od sněhu, případně umístit tak, aby na nich sníh nezůstával. Převážná většina instalovaných FV panelů je statických, s konstantním úhlem natočení, čili v účinnost panelů se

³ Použitá literatura v podkapitole 2.2.1.2 Fotovoltaické panely: [4], [2], [24], [3], [26], [27]

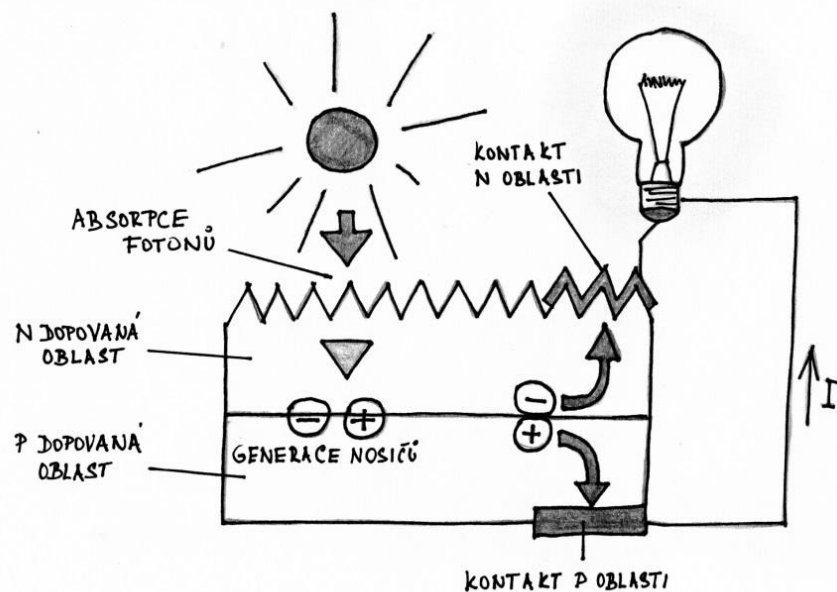
mění v průběhu roku i dne jak slunce mění svoji pozici na obloze. Výhodnější jsou samozřejmě panely, které mění svoji pozici (úhel natočení) a přizpůsobují se tak daným podmínkám. Ovšem takovéto instalace jsou mnohem nákladnější. Venkovní teplota má také značný vliv na účinnost panelů. Při nižší teplotě mají solární panely vyšší účinnost a při vyšší teplotě naopak účinnost klesá, zde nastává paradox, protože s rostoucí intenzitou slunečního záření, které zvyšuje výkon panelu, roste i teplota, která snižuje účinnost panelu. Graf závislosti výkonu na teplotě je možné vidět na Obr. 2-3. Panely jsou konstruovány tak, aby kolem nich mohl proudit vzduch a ochlazovat je. Je potřeba při instalaci panelu počítat se všemi možnými vlivy prostředí a důkladně před instalací zmapovat terén a provést různá měření, zda se instalace FV panelu vyplatí.



Obr. 2-3 Závislost výkonu solárního panelu na teplotě, voltampérová charakteristika [2]

Jednoduchý princip fotočlánku

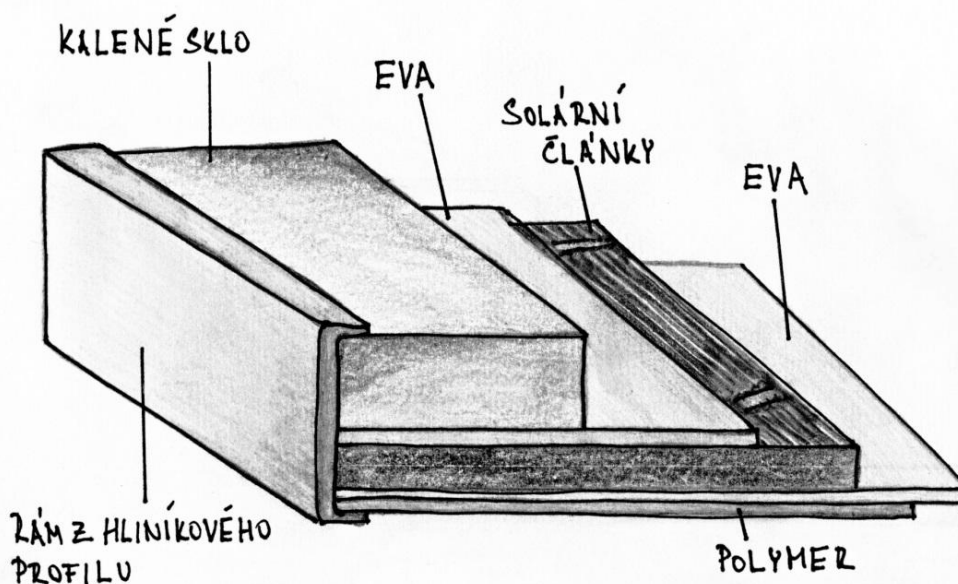
Energie slunečního záření je přímo přeměněna na energii elektrickou. Dopadající foton ze slunečního záření je pohlcen a vyrazí z látky elektron. Vznikne pár elektron – díra. Polovodiče mají takovou vlastnost, že separují elektrony a díry. Nedochozí k jejich opětovnému spojení, jak tomu je u vodivých materiálů. Oba náboje jsou odvedeny ke spotřebiči.



Obr. 2-4 Znáznornění principu fotočlánku

Konstrukce a výroba fotovoltaických panelů

Fotovoltaický panel se skládá z mnoho fotočlánků, které jsou různě sériově a paralelně propojeny, podle požadovaného napětí na výstupu. Výkon FV panelu záleží na jeho velikosti. Materiál, ze kterého jsou FV články vyrobeny je křemík. Může se jednat o monokrystalický křemík, jehož účinnost je vysoká. K výrobě takových panelů je potřeba čistý křemík a tloušťka křemíku je na rozdíl od jiných typů značná, což navyšuje hmotnost a cenu. S vyvíjejícími se technologiemi klesá i cena panelů. V dnešní době jsou FV články vyráběny z multikrystalického křemíku a dalších příměsí, účinnost těchto článků je nižší, avšak jsou několikanásobně tenčí a nejsou tvořeny čistým křemíkem, tudíž je nižší i pořizovací cena. Lepší jsou i mechanické vlastnosti článku, jelikož jsou tenčí, mohou být i ohebné a odolnější vůči namáhání. Dalším typem jsou FV články z amorfního křemíku, jejichž účinnost je také malá kvůli menší aplikované vrstvě křemíku. Jiné tenkovrstvé články jsou například na bázi CdTe. Účinnost těchto fotočlánků se pohybuje kolem 10 %. Navíc největším problémem bývá stabilita jejich parametrů. Jakmile jsou FV články sériově-paralelně propojeny jsou pokryty etylenvinylacetátovou fólií zvanou EVA z obou stran. Na přední stranu je položeno tvrzené vysoce průhledné sklo, které odolává nárazům, nepříznivým přírodním vlivům, jakou jsou i poměrně velké kroupy apod. Na zadní stranu panelu je obvykle přiložena laminátová kompozice. Poté se vyčerpá vzduch a panel se zahřeje na určitou teplotu, kdy se EVA fólie rozpustí a zalije tak mezery mezi tvrzeným sklem a FV články. Následně se celý panel po stranách zaizoluje silikonem a vloží do připravené hliníkové konstrukce, která slouží pro uchycení panelu při jeho následující montáži. Na zadní stranu se upevní krabice s výstupními kontakty. Takto vyrobené panely jsou odolné proti vlhkosti, dalším nepříznivým vlivům a jiným nečistotám. Životnost těchto panelů by se měla pohybovat mezi 25 – 30 roky [3].



Obr. 2-5 Řez solárním panelem

Výhledově lze říci, že FV články na bázi křemíku budou i nadále hrát prim. Do popředí se ovšem dostanou FV panely, které budou tenčí, budou mít lepší mechanické vlastnosti, budou mít lepší účinnost a budou levnější, co se týče výroby. Už nyní probíhá výzkum a vývoj jiných typů FV článků, kterou jsou tvořeny více vrstvami, to znamená, že určitá vrstva zachytí pouze určité spektrum záření, ostatní propustí, ty potom zachytí další vrstva a tak dále. Za zmínku stojí i

organické FV články, jež mohou být průhledné, nalepené na oknech, ve dne vyrábět elektrickou energii a v noci svítit.

Tab. 2-1 Účinnost různých typů fotovoltaických článků [4]

Typ solárního článku	Účinnost článku za běžných podmínek	Maximální naměřená účinnost článku za běžných podmínek	Maximální účinnost článku zjištěná v laboratoři
	[%]	[%]	[%]
Monokrystalický křemík	12 až 16	22	25
Multikrystalický křemík	11 až 14	16	20
Amorfní křemík	5 až 7	10	13
Telurid kademnatý	10	12	16

Kritéria pro výběr vhodného fotovoltaického panelu

Počet faktorů záleží na oblasti, kde je daný solární panel umístěn. Tyto kritéria zahrnují:

- Elektrické vlastnosti (výstupní napětí)
- Fyzické parametry (například, velikost, váha)
- Mechanické vlastnosti (konstrukční materiály, možnosti montáže apod.)
- Účinnost a vhodnost pro danou oblast, kde bude panel provozován
- Cena, doba života, spolehlivost a záruka

Výkon fotovoltaického panelu

Výkon panelu je udáván v jednotkách Wp – Watt peak. Jedná se o špičkový výkon vyrobený solárním panelem při teplotě 25 °C, bezoblačné atmosféře $AM = 1,5$ (Air mass) a při energetické hustotě záření $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, které dopadá kolmo na fotovoltaickou plochu panelu. [5].

2.2.2 Baterie⁴

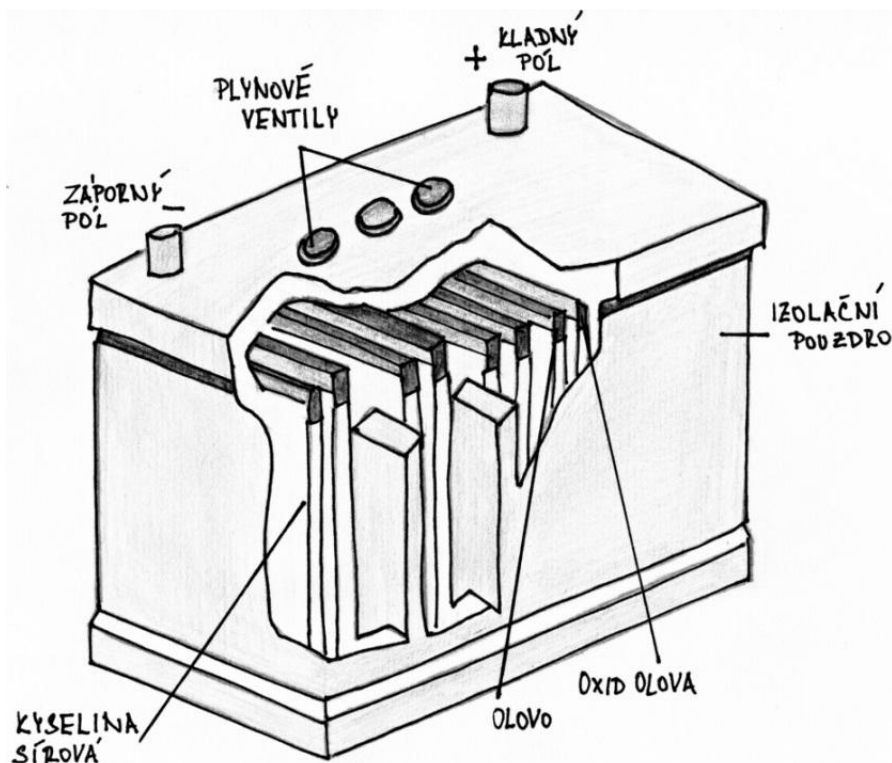
Baterie pracují na elektrochemickém principu. Chemickou energii převádějí na elektrickou energii, když je k baterii připojena zátěž, a vybijí se. Jakmile je na baterii připojen elektrický proud, uchovává se elektrická energie ve formě chemické energie, tento stav se nazývá nabíjení.

Baterie je během dne nabíjena solárním panelem a uchovává elektrickou energii i pro dny, kdy je nedostatečná intenzita slunečního záření. Během noci pak slouží jako zdroj elektrické energie pro spotřebič, v tomto případě se jedná o světelný zdroj.

V nezávislých osvětlovacích aplikacích je kladen důraz na vhodnou volbu baterie. Baterie musí být snadno odnímatelná ze systému, kvůli jednoduché výměně, odolná a musí mít vhodnou

⁴ Použitá literatura v podkapitole 2.2.2 Baterie: [20], [2], [10], [23]

kapacitu pro daný systém. Baterie všeobecně nemají tak dlouhou životnost jako ostatní prvky v systému. U olověných baterií jde zhruba o 800 nabíjecích cyklů. Baterie pro FV systémy se od obyčejných trakčních baterií liší v tom, že mají vyšší odolnost proti hlubokému vybití, nízký nabíjecí proud, velký počet pracovních cyklů, dobré ekologické vlastnosti a minimální nároky na údržbu.



Obr. 2-6 Řez olověnou baterií

Faktory, které ovlivňují životnost baterie

- Design a konstrukce baterie
- Teplotní rozmezí, při kterém je baterie provozována
- Počet nabíjecích cyklů a možnost úplného vybití
- Metody nabíjení
- Délka nabíjecí doby

Provozní teplota je jednou z nejdůležitějších vlastností baterie, která ovlivňuje její životnost. Vysoké teploty mohou zapříčinit korozi baterie a únik elektrolytické látky. Na druhou stranu nízké teploty velmi omezují kapacitu baterie. Životnost baterie může být optimalizována vhodným nabíjením (nepřebíjet baterii a zcela ji nevybíjet). Baterie jsou limitovány počtem nabíjecích cyklů a maximem vybití baterie.

Kritéria pro výběr baterie

Pro solární osvětlovací systémy je vhodný určitý typ baterií. Kritéria pro výběr vhodné baterie jsou:

- Výkon (kapacita, výstupní napětí)
- Délka života (počet nabíjecích cyklů)

- Fyzické parametry (velikost, hmotnost, obal baterie)
- Elektrické konfigurace (sériové, paralelní zapojení)
- Požadavky na údržbu (testování, čištění, voděodolnost)
- Záruka a cena baterie

Běžně používané baterie ve fotovoltaických osvětlovacích systémech jsou převážně olověné, dále pak nikl-kadmiové a nikl-metalhydridové, které jsou používány pro malé aplikace a pro aplikace do extrémních podmínek, nízké teploty, aplikace, které vyžadují spolehlivost, navigační bóje apod. Baterie mohou být údržbové, u kterých musíme dolévat destilovanou vodu a tím udržovat hladinu elektrolytu, a bezúdržbové, které jsou hermeticky uzavřené.

Tab. 2-2 Porovnání některých parametrů daných druhů baterií [4]

Typ	Napětí článku naprázdno [V]	Rozsah teplot [°C]	Doba znovu nabití [h]	Samovybití při 20 °C [%/měsíc]	Počet cyklů	Specifická energie [Wh. kg ⁻¹]	Výhody/nevýhody
Olověné	2,1	-20 - +50	8-24	3	800	35	Levné, bezúdržbové/nízká specif. energie
Nikl-kadmiové	1,35	-40 - +60	1-16	10	1000	35	Dostupné/vyšší cena, nízká energie
Nikl-metalhydrid	1,35	-30 - +65	1-2	30	900	65	Vysoká specifická energie/relativně drahé

Zapojení vícera baterií

Zapojení baterií se může různit. Jsou v podstatě tři možnosti jak zapojení provést. Je možné baterie zapojit sériově, což vede ke zvýšení výstupního napětí, ovšem kapacita zůstane stejná. Zapojení paralelně, kdy výstupní napětí zůstává stejné, ale zvýší se výsledná kapacita a výstupní napětí se nezmění. V poslední řadě, je možné zapojení kombinovat a provést sério-paralelní zapojení a docílit tak chtěných parametrů na výstupu z baterií.

Kapacita baterie

Kapacita baterie udává množství elektrického náboje, které je baterie schopná pojmout. Ah – Ampérhodina. Například kapacita 50 Ah udává, že baterie je schopna dodávat proud 5 A po dobu 10 hodin [6].

2.2.3 Světelné zdroje⁵

Jedním z nejdůležitějších prvků celé osvětlovací soustavy je právě světelný zdroj. Přeměňuje elektrickou energii na světlo. Jde o viditelný výstup celého systému a právě podle něj je hodnocena kvalita a provedení výsledného autonomního osvětlovacího systému. Výkon světelného zdroje musí ctít velikost instalovaného FV panelu. Dále je nutné počítat, při výběru světelného zdroje, s provozním napětím celého systému. Při výběru světelného zdroje je též nutné brát zřetel na to, pro jaké prostředí a činnost je následný systém navržen. Jestli musí světelný zdroj vydržet časté spínání, či vydržet náročné přírodní podmínky apod. Případně aby osvětlení splňovalo potřebné normy a předpisy.

Základní parametry světelných zdrojů

Včetně elektrického příkonu sem patří ještě tyto parametry:

Světelný tok

Jedná se o množství světla, které je vyzařováno světelným zdrojem. Značí se řeckým písmenem ϕ , jeho jednotky je lumen (lm). Laicky řečeno se jedná o jednotku výkonu světelného zdroje ve světelně technických jednotkách. Například žárovka o příkonu 100 W vyzařuje 1350 lm, kdežto vysokotlaká sodíková výbojka o stejném příkonu vyzařuje 10 000 lm.

Měrný výkon

Představují účinnost přeměny elektrické energie na světelnou, respektive elektrický příkon na světelný tok. Jde o poměr světelného toku a příkonu. Označuje se řeckým písmenem η a je vyjádřen v lumenech na watt ($\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$).

Doba života

Jde o časový úsek, po který je světelný zdroj schopen plnit svoji funkci. Je vztažen na pokles světelného toku daného zdroje nebo případně na procento výpadku světelných zdrojů ve svítidle. Značí se písmenem h , a udává se v hodinách.

Index podání barev

Udává do jaké míry je člověk schopen věrně vnímat a rozlišit barvy při použití daného světelného zdroje o určitém spektru záření. Značí se R_a . Nejvyšší hodnotu barevného podání má žárovka, $R_a = 100$, nejmenší hodnotu mají monochromatické zdroje jako například nízkotlaká výbojka $R_a = 0$.

Teplota chromatičnosti

Lze také nazvat barvou světla. Charakterizuje barevný tón vyzařovaného světla. Značí se T_c a udávána je v Kelvinech. U teplotních světelných zdrojů odpovídá teplotě vlákna u ostatních zdrojů je zaveden pojem náhradní teplota chromatičnosti. Jedná se o porovnání s tepelnými světelnými zdroji s podobnými vlastnostmi. Klasické žárovky mají teplotu chromatičnosti přibližně 2700 K.

Provozní doba veřejného osvětlení se pohybuje kolem 4000 hodin za rok. Tudíž je kladen důraz především na měrný výkon a dobu života. Ovšem začínají se sledovat i další parametry, které souvisí především s kvalitou vjemu barev.

⁵ Použitá literatura v podkapitole 2.2.3 Světelné zdroje: [29], [28], odtud jsou čerpány základní parametry světelných zdrojů a příklady světelných zdrojů

Příklady používaných světelných zdrojů

Žárovky

Ve veřejném osvětlení se sice nepoužívají, ale jsou takovým středobodem osvětlovací techniky a zde figurují jako srovnání pro další světelné zdroje. Mají velmi malý měrný výkon, kolem $13 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$, a krátkou dobu života, přibližně 1000 hodin. Ovšem index podání barev mají největší, $R_a = 100$.

Halogenidové výbojky

Záření zde vzniká v parách rtuti, v parách vzácných zemin a halových prvků, kde vzniká přibližně 90% onoho viditelného záření. Výkonová řada těchto výbojek se pohybuje od 35 W do 3500 W, měrný výkon může nabývat hodnot až $130 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$, index podání barev $R_a > 80$, životnosti dosahují kolem 15000 hodin. Halogenidové výbojky jsou charakteristické bílým světlem, které zajišťuje dobré rozpoznání barevných odstínů. Jsou ovšem drahé a mají relativně krátkou dobu života, tudíž se instalují na místa, kde vyvstává potřeba kvalitního osvětlení, aby člověk dobře rozpoznal detaily a barvy. Umisťují se například kolem obchodních center nebo na přechodech pro chodce.

Nízkotlaké sodíkové výbojky

V sodíkových výbojkách vzniká po určité době výboj v parách sodíku. Sodík se zde nachází o tlaku 0,5 Pa. Mají velký měrný výkon, až $200 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Index podání barev je nulový, tudíž rozpoznání barev při osvětlení nízkotlakou sodíkovou výbojkou je prakticky nemožné. Doba života se pohybuje v rozmezí od 16000 až po 20000 hodin. Ve veřejném osvětlení v České republice se používají výjimečně. Pozůstatky najdeme v zemích Beneluxu a ve Velké Británii.

Vysokotlaké sodíkové výbojky

Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou nejpoužívanější světelné zdroje ve veřejném osvětlení. Vyznačují se měrným výkonem $120 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$, doba života je přibližně 30000 hodin. Tlak par sodíku nabývá hodnot až 27 kPa. Typické žluté světlo, které vidíme na ulicích, naznačuje malý index podání barev, $R_a = 25$.

LED – světelné diody

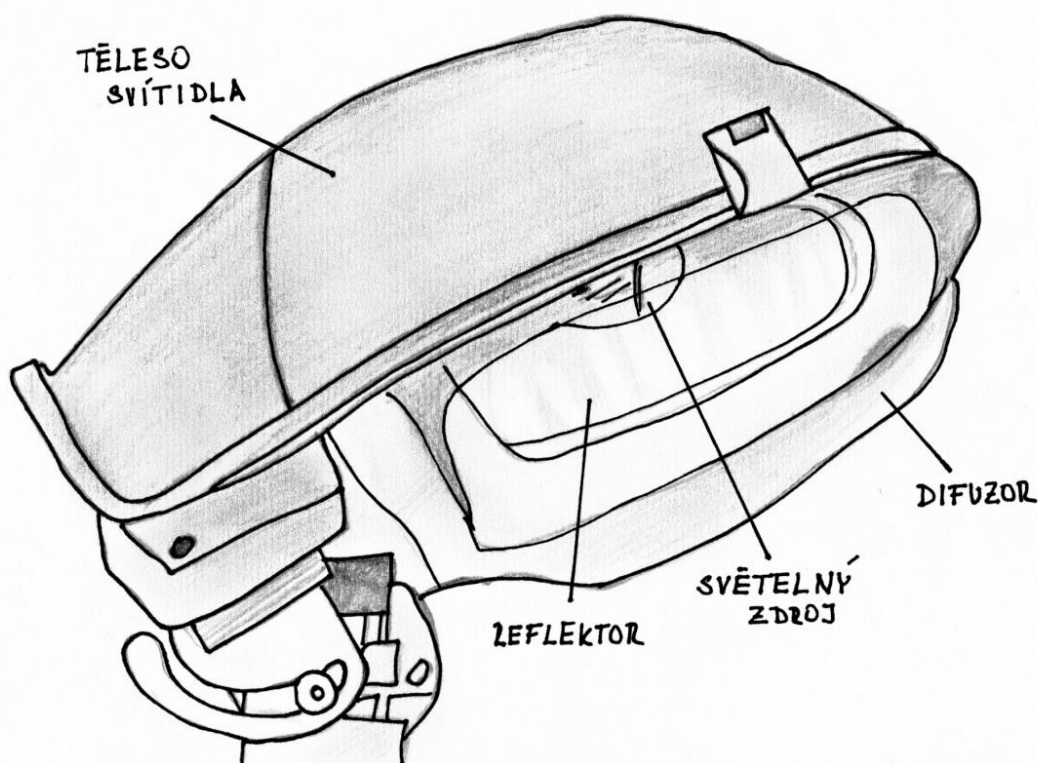
V současné době LED, světelné diody, čím dál více zasahují do všech odvětví osvětlovací techniky. Jejich parametry se neustále zlepšují. Vývojáři předpokládají měrný výkon až kolem $200 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. Doba života může být až 50000 hodin, za ideálních podmínek, závisí na chlazení. Index podání barev u bílých LED dosahuje až hodnoty 90. Světelné diody jsou perspektivním zdrojem světla do budoucna.

Ostatní světelné zdroje nejsou vhodné pro použití v autonomních osvětlovacích systémech. Například zářivky jsou citlivé na změny teploty, jejich světelný tok se mění se změnou teploty, tudíž nemohou být použity při venkovním osvětlení. Indukční výbojky jsou poměrně drahé, u vysokotlakých rtuťových výbojek chybí červená barva ve spektru záření, tudíž vnímání barev může být velmi zkreslené, a mají malý měrný výkon.

2.2.4 Svítidla⁶

Svítidla filtrují, mění či rozdělují světlo, pocházející ze světelného zdroje. Světelných zdrojů může být i více v jednom svítidle. Dále složí k uchycení světelného zdroje ke konstrukci a k jeho ochraně před poškozením.

Svítidla jsou složena ze zdroje světla, světelně aktivních částí, které umožňují distribuci světelného toku, případně změnu spektra (reflektory, difuzory, čočky apod.), elektrických částí, které zabezpečují připojení ke zdroji elektrické energie (patice, vodiče, startéry atd.), a mechanické části, které umožňují mechanické uchycení zdroje (patří sem i patice, dále korpus svítidla, těsnění, ochranné mřížky apod.). Dále svítidlo disponuje určitým krytím, které je značeno písmeny IP. Za tímto označením následují dvě číslice, z nichž první značí stupeň krytí před vniknutím cizích těles a nebezpečným dotykem, nabývá hodnot 0 – 6. Druhá číslice nabývá hodnot 0 – 8 a udává stupeň ochrany před vniknutím vody do svítidla. Obecně platí, že čím vyšší číslice, tím vyšší ochrana. Ve veřejném osvětlení se nejčastěji používá krytí IP65 případně IP66. To znamená, že zařízení je prachotěsné a chráněné před tryskající respektive intenzivně tryskající vodou. Svítidla mimo jiné disponují určitou mechanickou odolností, které se značí IK00 až IK10, čím vyšší číslo, tím odolnější. Mechanická odolnost udává, jak moc je svítidlo odolné nárazům, případně mechanického poškození, vandalismu.



Obr. 2-7 Popis jednotlivých částí svítidla

Základní parametry svítidel

Mezi základní parametry svítidla patří světelný tok, který je dán rozdílem světelného toku zdroje (případně více zdrojů) a světelného toku ztraceného, který se ztratil při distribuci do prostoru. Dalším parametrem je účinnost svítidla, která je vyjádřena podílem světelného toku svítidla a světelného toku zdroje. U vysoce kvalitních svítidel se účinnost pohybuje kolem 0,95.

⁶ Použitá literatura v podkapitole 2.2.4 Svítidla: [29], [28], [11] a [20]

Nezbytným parametrem je též jas svítidla. Jas si lze představit jako reakci lidského oka na světelné záření, které se odráží od ploch svítidla směrem k pozorujícímu. Jas se značí písmenem L a jeho jednotka je $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$. Když je lidské oko vystaveno přílišnému jasu či velkému rozdílu mezi jasnem svítidla a okolí, tak dochází k oslnění. Svítivost je definována jako velikost vyzářeného světelného toku do prostoru, který je charakterizován prostorovým úhlem. Svítidla jsou charakterizována křivkami svítivosti, které popisují vyzařování světelného toku svítidlem do prostoru pomocí polárního diagramu. Tyto křivky určují použití svítidel, charakter jejich vyzařování. Popisují vyzáření světelného toku do prostoru. Parametry křivek svítivosti lze měnit vhodným uspořádáním svítidla, například jeho výškou zavěšení, roztečí zdrojů světla a podobně. Posledním zmíněným parametrem je intenzita osvětlení, značí se E a její jednotky jsou lux (lx). Jde vlastně o množství dopadajícího světelného toku na určitou plochu. Tato veličina udává míru osvětlení pozemních komunikací nižších tříd, cyklostezek, obslužných cest a prostor pro chodce podle normy ČSN EN 13201 Osvětlení pozemních komunikací.

Požadavky na svítidla

- Specifická distribuce světelného toku do prostoru
- Míra clonění
- Ochrana před nebezpečným dotykovým napětím a proti vniku cizích předmětů a vody
- Provozní spolehlivost
- Odolnost proti korozi
- Mechanická pevnost

2.2.5 Regulátor⁷

Regulátor je řídicí prvek, který stabilizuje napětí a nabíjí baterii. Jeho funkcí je snížit stejnosměrné napětí z fotovoltaických panelů na napětí vhodné k nabíjení baterie. Zároveň musí hlídat stavy hlubokého vybití u baterie, které jsou značně nežádoucí zvláště pak u olověných baterií, a vypnout spotřebič, než dojde k hlubokému vybití. Funguje i obráceně, to znamená, že zamezuje naopak přebíjení baterie. Laicky řečeno udržuje baterie v ideální kondici, aby její životnost byla co nejdelší a osvětlovací systém optimálně pracoval. Lepší kusy regulátorů disponují i dalšími zajímavými funkcemi, jako jsou například různé časové spouště, možnost sledovat stav kapacity baterie a podobně. Na regulátoru vznikají ztráty především, když je na solárním panelu vyšší napětí, než je nabíjecí napětí baterie. Regulátor jednoduše řečeno při nabíjení nepustí do baterie více energie. Tato energie se ztratí ve formě tepla. Další ztráty vznikají naopak při situaci, když je napětí menší než minimální nabíjecí napětí, baterie není dobíjena. Tyto situace vznikají při intenzivním respektive minimálním slunečním záření. Ztráty na součástkách jsou zanedbatelné. Ze spotřebitelského hlediska je regulátor „blackbox“, který obsahuje řídicí elektroniku a do označených svorek připojíme spotřebič, baterii a fotovoltaický panel.

⁷ Použitá literatura v podkapitole 2.2.5 Regulátor: [21], [20]



Obr. 2-8 Solární regulátor CARSPA CD1212 12V/12A [7]

Aspekty výběru vhodného regulátoru

- Nominální operační napětí (6,12,24 nebo 48 voltů DC)
- Maximální instalovaný výkon fotovoltaického panelu a spotřebiče
- Charakteristiky baterie (nabíjecí cykly, maximální vybití)
- Nabíjecí algoritmy a spínací prvky
- Možnost snímání teploty nabíjené baterie
- Odolnost vůči přírodním podmínkám
- Kompatibilita se všemi prvky v systému
- Záruka a cena

2.2.6 Měnič⁸

Měnič je součástka, která se ne vždy musí vyskytovat v daném systému autonomního osvětlení. Měničem je možné měnit stejnosměrné napětí o určité hodnotě na napětí například o nižší hodnotě, které je nutné k nabíjení, samozřejmě při vyšším nabíjecím proudu. Stejně tak lze měnič využít jako prvek umístěný před spotřebičem. Je-li spotřebič třeba napájet střídavým napětím, lze jednoduše použít střídač a dané napětí převést ze stejnosměrného na střídavé o požadované hodnotě.

2.2.7 Kabelové rozvody a ochranné prvky⁹

K propojení jednotlivých prvků je zapotřebí speciálních kabelů, které jsou odolné proti povětrnostním podmínkám a slunečnímu záření. Je u nich požadována dostatečná mechanická odolnost a životnost. Průřez vodičů musí být přesně dimenzovaný podle výpočtů, podle velikosti proudu, který jimi prochází. Ovšem nesmí být naddimenzovány, aby nedocházelo k velkému úbytku napětí, protože solární systém pracuje s malým napětím. Konektory, pomocí kterých se

⁸ Použitá literatura v podkapitole 2.2.6 Regulátor: [21]

⁹ Použitá literatura v podkapitole 2.2.7 Kabelové rozvody a ochranné prvky: [22], [21]

jednotlivé prvky připojují, musejí být taktéž odolné proti vlhkosti a dalším přírodním a mechanickým vlivům.

V poslední řadě nelze zapomenout na různé ochranné prvky, které jsou taktéž součástí celého systému. Může se jednat o jističe, přepětíové ochrany, pojistky, které musejí být uzpůsobené pro použití u fotovoltaického systému se stejnosměrným napětím. Ochranné prvky jsou zde umístěny především proto, aby zajistili ochranu materiálu a zdraví osob, kdyby došlo k poruše, a pro ochranu před atmosférickým přepětím (úder blesku). Vzhledem k tomu, že celý systém je většinou napájen stejnosměrným malým napětím 12 V, 24 V, 48 V a mez trvalého dotykového napětí je 60 V, tak není třeba uvažovat žádné ochrany při poruše a další ochrany. Ovšem je-li použit v zařízení měnič a napětí je transformováno na vyšší hladinu, je třeba o ochraně před úrazem elektrickým proudem uvažovat. Jiné je to s ochranou před atmosférickým přepětím. Osvětlovací systémy jsou často nejvyšším bodem v okolí a může snadno dojít k úderu blesku poblíž zařízení, případně do zařízení. Jedná-li se o systém umístěný na kovové konstrukci, je třeba tuto konstrukci uzemnit pásovým vodičem nejméně 30 x 4mm. Je-li systém umístěn například na dřevěné konstrukci, je třeba provést dodatečné pospojování vodivých částí na stejný potenciál a ty následně uzemnit.

2.3 Konstrukce¹⁰

Konstrukce autonomních osvětlovacích systémů je uzpůsobena jejich funkcí. To znamená, že hlavní důraz by měl být především kladen na maximální využití potenciálu fotovoltaického panelu a zároveň svítidlo musí co nejefektivněji osvětlovat danou plochu. Dalším bodem v konstrukci takového systému je líbivý design, který jde ruku v ruce s proveditelností výroby jednotlivých komponent. Celý tento proces je zastřešen ekonomickou rozvahou, která má hlavní slovo při návrhu a případné konstrukci.

Základ větší autonomních osvětlovacích aplikací je tvořen nosnou konstrukcí. Na nosné konstrukci je upevněn fotovoltaický panel, který je orientován tak, aby co nejlépe využil slunečních paprsků k výrobě elektrické energie. V našich zeměpisných podmínkách je to zejména orientace na Jih. Složitější problém nastává tehdy, když uvažujeme nad úhlem sklonu panelu vůči horizontální rovině. Veškerá tvrzení a doporučení se protínají přibližně na těchto hodnotách, sklon panelů se pohybuje od 30° po 60°. Panely určené pro celoroční provoz mívají sklon kolem 45°. V zimě je slunce blíže k obzoru, tudíž je efektivnější panel více naklonit až k hodnotám kolem 60°, zároveň z něho sklouzne lépe sníh. Naopak v létě je slunce výše na obloze, tudíž je ideální panel více položit. Hodnoty náklonu pro lepší účinnost panelu se v letním období pohybují kolem 30°. Nejideálnější řešením umístění panelu z hlediska maximálního využití slunečních paprsků je použít takzvaný „tracker“. Jedná o zařízení, které otáčí celým panelem tak, aby fotovoltaický panel maximálně využil sluneční paprsky. Ovšem toto zařízení spotřebovává část elektrické energie, čili se hodí pouze pro velké instalace.

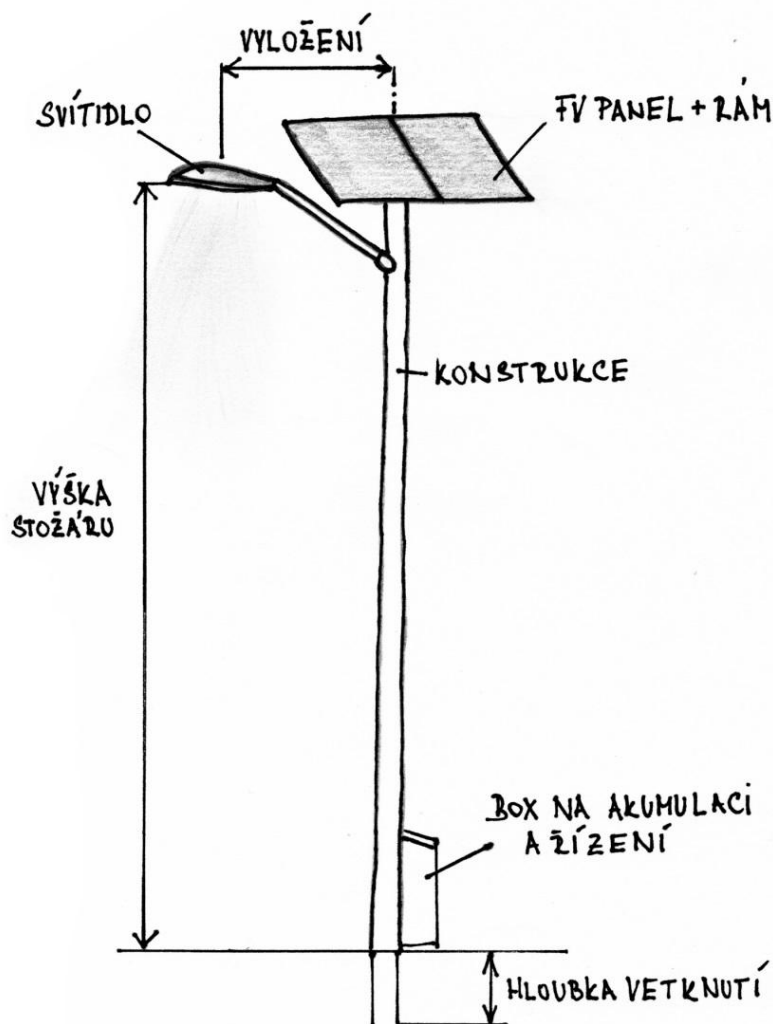
Součástí celé konstrukce je též baterie a regulátor, které je nutné umístit tak, aby nedošlo k jejich poškození. Nejlépe je uložit je do boxu, jenž bude dostatečně mechanicky odolný a s dostatečným krytím, aby odolal vniku cizích těles a vodě, nejlépe s krytím IP65 a vyšším. Bude-li box umístěn dole u země, je nutné, aby disponoval i určitou ochranou proti vandalismu. Z tohoto hlediska je lepší všechny komponenty umístit do výšky, nejlépe pod solární panel. To ovšem zatěžuje celou nosnou konstrukci a její stabilitu, ta musí být pak robustnější, protože

¹⁰ Použitá literatura v podkapitole 2.3 Konstrukce: [21], [13]

baterie jsou jedním z nejtěžších prvků v systému. Najdou se i takové systémy, kde je řídicí systém a baterie umístěny v samotném stožáru, či dokonce v zemi. Umístění záleží na velikosti baterie a hlavně na velikosti investované částky.

Svítilno je umístěno tak, aby byly splněny veškeré požadavky na osvětlení daného prostoru. Aby co nejefektivněji osvětlovalo daný prostor. Musí být též pevně připevněno ke konstrukci, aby odolalo povětrnostním podmínkám, případně vandalismu.

Co se týká samotných nosných konstrukcí, tak převážná většina je vyráběna z pozinkovaných ocelových trubek. Konstrukce je tak velmi robustní a má dlouhou životnost v rámci desítek let. Ovšem nynější doba si žádá více, líbivější design, konstrukce jsou tvořeny například z dřevěných materiálů, které navozují pocit větší ekologičnosti výrobku, různých umělých hmot a nerezových prvků. Celá konstrukce je ve většině případů uchycena šrouby k železobetonové patce, která je umístěna v zemi.



Obr. 2-9 Dispoziční řešení autonomního osvětlovacího systému

3 OBECNÝ NÁVRH AUTONOMNÍHO OSVĚTLENÍ¹¹

Návrh osvětlovacího systému je soubor činností, kterými je potřeba se řídit. Je to technická a zároveň tvůrčí činnost. Při návrhu vycházíme z určitých požadavků na správné a spolehlivé vnímání prostředí. Z hlediska spolehlivosti to jsou funkční požadavky na správné vnímání určitého prostoru. Osvětlení musí navozovat psychickou pohodu. Návrh osvětlovacího systému je možno rozdělit několika základních bodů, které jsou vesměs společné pro jakýkoliv návrh osvětlení. Návrh autonomního osvětlení je provázaná činnost, kde je nutno upravovat parametry jednotlivých prvků v závislosti na ostatních prvcích v systému.

3.1 Návrh osvětlení

Shromáždění a prostudování veškerých podkladů a požadavků

V prvním bodě je třeba zjistit veškeré požadavky, které jsou kladeny na osvětlení a dále bezpečně určit prostředí, ve kterém bude dané osvětlení provozováno. Je třeba rozebrat tyto vstupní údaje z hlediska předpokládané vykonávané činnosti a z hlediska norem předpisů a doporučení. Následně vyhodnotit všechny vstupy vzhledem k dispozicím osvětlovaného prostředí. Co se týče autonomního osvětlovacího systému, je třeba nejdříve zjistit, pro jaký účel bude systém sloužit a na jakém místě. Jedná-li se o místo, kde je intenzita slunečního záření nedostačující, je nutné hledat jiný zdroj napájení než je FV panel. V druhém případě je vhodné zmapovat pohyb slunce vůči postavení solárního panelu, intenzitu slunečního záření a zvolit velikost panelu. Velikost panelu zároveň závisí na volbě světelného zdroje. Ohledně volby baterie je důležité znát dosahované venkovní teploty, protože baterie jsou schopny efektivně pracovat pouze při určitých teplotách. Dále je nutné zjistit, podle jakých technických norem se má dané svítidlo řídit. Základní technické normy pro veřejné osvětlení jsou uvedeny v souboru norem Osvětlení pro veřejnou komunikaci (ČSN EN 13 201-1 Část 1: Výběr tříd osvětlení, ČSN EN 13 201-2 Část 2: Požadavky, ČSN EN 13 201-3 Část 3: Výpočet, ČSN EN 13 201-4 Část 4: Metody měření).

U parametrů osvětlovaného prostoru je nutno znát rozměry a další údaje týkající se prostředí, například, je-li prostředí prašné, vlhké, suché, mokré a podobně. Podle toho potom volíme svítidlo a další zařízení s vhodným krytím. Rovněž je potřeba znát údaje o využití prostředí, o pohybu osob v daném prostředí, podle toho určujeme důležitost osvětlení.

Volba osvětlovacího systému

Podle předem zjištěných požadavků na osvětlení vybereme vhodný světelný zdroj a v případě větších aplikací stanovíme počet světelných zdrojů. Máme-li zvolený vhodný zdroj světla v kombinaci s vhodným svítidlem, zkontrolujeme intenzitu osvětlení, zda-li je přijatelná. Když požadavky na intenzitu osvětlení nejsou splněny, je nutné přejít opět k volbě světelného zdroje a zvolit jiný. Dále je třeba zkontrolovat rovnoměrnost osvětlení, z důvodu dobré prostorové orientace. Nevyhovuje-li rovnoměrnost osvětlení při větších systémech, je nutno zvolit jiné rozmístění svítidel, případně změnit jejich počet. Rozložení jasu je důležité kvůli rychlosti vnímání, nevyhovuje-li, je třeba zvolit jiné svítidlo.

Při volbě osvětlovací soustavy je nutno uvažovat i se stárnutím soustavy, stárnutím povrchů, se snižující se výdrží světelných zdrojů, baterií a FV panelu. Intenzita osvětlení s časem klesá.

¹¹ Použitá literatura v kapitole 3 Obecní návrh autonomního osvětlení: [11], [20], [29], [21], [10], [28]

Je tedy třeba počítat s výměnou, či rekonstrukcí jednotlivých částí osvětlovacího systému. Případně světelný systém mírně předimenzovat, protože požadované nároky na osvětlení musejí být dodržovány po celou dobu garantované životnosti. Je tedy nutné počítat už s uvedeným stárnutím, případně znečištěním optických systémů a podobně, zvláště u venkovního osvětlení. V zimních měsících je intenzita slunečního záření nízká, počet slunečních dní je velmi malý, proto se doporučuje projektovat osvětlení tak aby bylo schopno fungovat i v zimních měsících. Důležité je, aby kapacita baterie byla dostatečná. Uvedu případ, kdy je fotovoltaický panel v zimě pod sněhem a není možné rychlé odstranění sněhu, a je nutné, aby osvětlení plnilo dané požadavky.

Zpřesnění návrhu

Zpřesnění návrhu provedeme na základě kontrolních výpočtů důležitých parametrů pro danou aplikaci, které svědčí o správnosti provedení návrhu. Většinou je prováděna kontrola intenzity osvětlení, rovnoměrnost osvětlení a oslnění (jas). V případě špatných výsledků je nutné se vrátit zpět v návrhovém postupu.

Konečný návrh osvětlovací soustavy

V tomto předposledním bodě provedeme výpočet ostatních technicko-ekonomických ukazatelů. Zvážíme hospodárnost systému, a údržbu celého systému. Zpracujeme vliv celého systému na dané prostředí, kde je umístěn. Je nutné brát v potaz jak estetickou tak ekologickou stránku osvětlení.

Realizace

Sestavení autonomního osvětlovacího systému, ověření jeho parametrů a vlastností po realizaci. V případě veřejného osvětlení je kontrola prováděna ze strany hygieny. Kontrola je součástí revizní zprávy, kterou provádí revizní technik. Měla by se ověřit jednak konstrukce a provedení a také parametry svítidla, například pomocí luxmetru.



Obr. 3-1 Příklad veřejného autonomního osvětlení [8]

3.2 Návrh solárního panelu a baterie

Zde je uveden bližší pohled na návrh velikosti respektive výkonu solárního panelu a kapacity baterie. Konkrétní výpočet je uveden v kapitole páté, vlastní realizace.

Návrh velikosti solárního panelu

Velikost solárního panelu souvisí s jeho výkonem. Při návrhu je nutné nejdříve určit spotřebu energie pro daný spotřebič. To lze celkem jednoduše. Je třeba zjistit příkon daného spotřebiče a stanovit dobu, po kterou bude spotřebič fungovat. Je-li v soustavě více spotřebičů, je třeba hodnoty sečíst. Pro stanovení výkonu, který musí solární panel dodat, je nutné počítat i s účinnostmi respektive ztrátami jednotlivých komponent. Účinnost dobíjení baterie, účinnost přenosu elektrické energie, kabeláž, účinnost regulátoru, případně měniče, je-li v systému přítomen. Dále je možno využít internetových stránek Evropské komise, konkrétně Institutu pro energii a transport [9]. Na těchto stránkách zadáme do mapy konkrétní pozici solárního panelu, parametry solárního panelu včetně jeho polohy, výstupem jsou hodnoty průměrné denní výroby elektrické energie v jednotlivých měsících. Při výpočtu tedy vybereme měsíc s nejnižší hodnotou, aby panel plnil svoji funkci a v nejméně slunečně aktivních měsících.

Návrh kapacity akumulátoru

Kapacita baterií je stanovena tak, aby baterie zásobovala celý systém na několik dní, pro případ, kdyby intenzita slunečního záření nebyla několik dní dostatečná. V severní Evropě je udávána doba 3 až 20 dní [10] (Výslednou kapacitu určíme tak, že denní spotřebovanou energii spotřebiče vynásobíme počtem dnů, po kterou má systém fungovat bez dobíjení, a vše pak podělíme napětím, se kterým celý systém pracuje.

3.3 Legislativa a normy

V žádném zákoně není přímo uvedeno nic o veřejném osvětlení, avšak týká se několika právních předpisů. Konkrétně pak zákonů o odpadech, technických požadavcích na výrobky a zákoně o světelném znečištění, dále pak ve vyhlášce o obecných technických požadavcích na výstavbu, nařízení vlády o technických požadavcích na elektrická zařízení a elektromagnetické kompatibilitě. Co se týče technických požadavků osvětlení, tak ty jsou shrnuty v normě ČSN EN 13201 Osvětlení pozemních komunikací, která má čtyři části, Výběr tříd osvětlení, Požadavky, Výpočet a Metody měření. Podle tohoto souboru norem se určí správná třída komunikace, které odpovídá potřebná intenzita osvětlení [11].

4 SOUČASNÉ VYUŽITÍ AUTONOMNÍCH OSVĚTLOVACÍCH SYSTÉMŮ

4.1 Vytipování aplikací

Co se týče takzvaných grid-off (grid-off znamená nepřipojený k elektrické síti, autonomní) osvětlovacích aplikací, existuje jich nepřeberné množství. Mezi tyto aplikace můžeme řadit jak jednoduché prostor osvětlující zahradní svítidla, informační panely na dálnicích, tak i větší autonomní osvětlovací systémy o více svítidlech osvětlující například parkoviště. Lze nalézt i takové aplikace autonomního osvětlení, které chrání majetek a životy. Například v jedné africké vesnici ztěžovali místním obyvatelům lvi, požírali dobytek, ohrožovali lidi. Ovšem jeden třináctiletý chlapec přišel se zajímavým řešením. Zjistil, že lvi se bojí světla, a tak použil solární panel, autobaterii a několik žárovek, které rozvěsil po celém plotu kolem vesnice. Od té doby lvi nezaútočili. [12]

V této práci jsou autonomní osvětlovací systémy rozděleny podle způsobu využití do pěti hlavních kategorií. Rozdělení do těchto kategorií není nijak závazné, jednotlivé kategorie se mohou prolínat.

Velké oblast osvětlující systémy

Oblast osvětlující systémy jsou vlajkovou lodí autonomních osvětlovacích systémů. Jsou nepřehlédnutelné, snadno upoutají pozornost a jsou předmětem časté diskuse. V této práci jsou tak nazvány aplikace, které osvětlují určitý prostor, oblast o určité rozloze. Jsou pevně ukotveny na místě, slouží převážně veřejnému zájmu. Do této kategorie spadá především veřejné osvětlení, osvětlení parkovišť, přechodů pro chodce, zahradních i parkových cest a dalších oblastí, ať už soukromých či veřejných. Převážná většina konstrukcí pro veřejné osvětlení se podstatně neliší od klasické konstrukce veřejného osvětlení. Jde o klasický pozinkovaný stožár, na kterém je umístěno svítidlo. Stožár je připevněn na betonové patce k zemi. Ovšem i laik postřehne, že nad svítidlem se rozprostírá fotovoltaický panel, jenž nabíjí baterii umístěnou na konstrukci. Obvykle u paty konstrukce nebo nahoře pod panelem. Elektrický výkon panelů se pohybuje přibližně od 30 Wp do 200 Wp, záleží na velikosti. Doba, po kterou je svítidlo schopno osvětlovat danou oblast je dána kapacitou baterie. U současných produktů uvádí výrobci kapacitu baterií kolem 40 Ah až 60 Ah, v závislosti na použitém zdroji světla. Při použití LED zdroje světla vydrží dané systémy na plné nabití svítit po celou noc, i déle. Cena takovýchto aplikací se v České republice pohybuje od 40000 Kč výše. Čeští podnikatelé se zaměřují na vlastní vývoj autonomních osvětlovacích systémů, ovšem nabídka je zatím stále malá. V ceně je mnohdy zahrnuta i montáž a upevnění k betonové patce [13].

Tyto aplikace nalézají uplatnění především na místech, kde není možné se připojit k elektrické síti, což v našich podmínkách mohou být odlehle autobusové zastávky, parkoviště, parky, cyklostezky, přechody pro chodce. Podle statistik policie dochází na osvětlených přechodech k daleko méně dopravním nehodám. V současné době je registrováno 243 rizikových přechodů [14]. Ovšem přesuneme-li se geograficky více na jih, konkrétně do Afriky, tak tam je možné najít mnohem širší uplatnění těchto autonomních osvětlovacích aplikací. Konkrétně pak ve městech, která na rozdíl od evropských měst nemají natolik rozvinutou infrastrukturu, lze provozovat tyto systémy. Což vede ke snížení kriminality. Ve městech s rozvinutou elektrickou sítí se nevyplatí instalovat jednotlivé samostatné systémy jako veřejné osvětlení.

Malé oblast osvětlující systémy

Přenosné oblast osvětlující systémy nabývají malých rozměrů z důvodu snadné instalace a přemístění. Výkon fotovoltaických panelů se pohybuje do 10 Wp. Tyto systémy obvykle postrádají nosnou konstrukci, jedná se pouze o panel, svítidlo, baterii, která je mnohdy integrována v panelu, a řídicí systém. V nabídce prodejců nalezneme systémy s nástěnnými svítidly, případně reflektorem nebo zahradními svítidly. Jsou používány především k okrasnému osvětlení na zahradě nebo jako svítidlo s detektorem pohybu. Řídící jednotky disponují řadou funkcí, například rozsvícení svítidla za tmy, nastavení času svícení. Samotná instalace je pak prováděna spotřebitelem. Ceny závisí na výkonu panelu a pohybují se od řádu stovek do několika tisíců korun.

Informační osvětlení

Tato kategorie je tak nazvána, protože je zde autonomní osvětlovací systém použit k osvětlení informačních cedulí, billboardů a k zobrazení informací. Tím je myšleno, že osvětlovací systém je použit ke zviditelnění informací o dopravní situaci na silnicích. Ne všude je totiž se připojit k elektrické síti, navíc investice do přípojky k elektrické síti se nemusí finančně vyplatit. Neosvětlené informační cedule mohou způsobit více dopravních nehod, než viditelně osvětlené cedule. Mnoho takovýchto autonomních osvětlovacích systémů lze spatřit na německých dálnicích. Efektivnější způsob jak využít získanou energii ze slunečního záření je zobrazovat dané informace přímo pomocí světelných zdrojů. To znamená, že pomocí LED technologie je vytvořen například segmentový displej, který zobrazuje informace o stavu vozovky, počasí, případně o rychlosti vozidla. V dnešní době můžeme stále častěji potkat u silnic radary na měření rychlosti, které nám zobrazují, jakou rychlostí vjíždíme do obce. Mnoho z nich je napájeno pomocí solárního panelu.



Obr. 4-1 Radar, měření rychlosti, obec Nížkov

Signalizační a bezpečnostní osvětlení

Další oblastí, kde je možné uplatnit autonomní osvětlovací systémy, jsou signalizační bezpečnostní zařízení. Jedná se zde především o bóje, které varují před útesy či zrádnými proudy v moři. Bóje disponují relativně malými solárními panely, které mohou být doplněny i větrnými turbínami, ale naopak mají zapojené baterie s velkou kapacitou, aby vydrželi dlouho a spolehlivě svítit. Baterie se také nemusejí tak často dobíjet, čímž se prodlužuje jejich životnost. Vše musí být samozřejmě odolné proti vniknutí vody, konkrétně s krytím proti trvalému ponoření do vody. Dále lze aplikovat autonomní osvětlení do zařízení, které upozorňuje řidiče na silnici na možné opravy vozovky. Tato zařízení jsou konstruována jako přenosná.

Svítilny, lampy a ostatní

Jak už samotný název napovídá, poslední skupinu tvoří lehce přenosné produkty, hojně využívané veřejností. Jedná se o svítilny, které mají zabudovaný malý solární panel, baterii a svítí maximálně pár hodin. Jejich konstrukce je co nejjednodušší, obsahují obvykle jeden zdroj světla typu LED. Můžeme je najít na zahradách pro osvětlení chodníků. Do této kategorie lze však zařadit i přenosné svítilny. Většina těchto systémů je vyráběna v Číně a jejich kvalita zpracování bývá mnohdy nevalná.

4.2 Stávající problémy a řešení¹²

V této podkapitole jsou nastíněny stávající problémy autonomních osvětlovacích systémů a jejich řešení.

Účinnost solárního panelu

V současné době je limitujícím faktorem účinnost přeměny slunečního záření na elektrickou energii. Těžko uvádět nějaká konkrétní čísla, protože vývoj fotočlánků jde neustále kupředu. Účinnost panelů, které jsou nabízeny pro spotřebitelský trh, se pohybuje do 18 %, komerční zařízení dosahují hodnot přes 22 % účinnosti. Ovšem veškerá tato data jsou uváděna s tím, že jejich hodnoty byly získány za ideálních laboratorních podmínek.

Zastínění solárního panelu

Nedostatek slunečního záření může způsobit, že panel nebude schopný dodávat dostatečný elektrický výkon k nabití baterie. Tento problém lze odstranit vhodným neprojektováním pozice a velikosti panelu. Dojde-li k zastínění pouze jednoho elementu solárního panelu, ostatní fotočlánky jsou plně osvětleny, může dojít i ke zničení panelu vlivem velkého proudu, který poteče jen jedním místem. Proto jsou fotočlánky spojovány sério-parallelně, aby takovýto případ nenastal.

Zahřívání solárního panelu

V letním období je intenzita slunečního záření větší, ovšem je i více teplo. S vyšší teplotou klesá účinnost panelů až o 0,2 % na jeden stupeň Celsia. Tento problém je řešen tak, že panely jsou vhodně umístěny, aby kolem nich mohl proudit vzduch a teplo bylo odváděno.

Špinění solárního panelu

Jestli je vrchní sklo solárního panelu zašpiněno, jeho účinnost klesá. Konstrukteři panelů počítají s tím, že čas od času je opláchne dešťová voda, ovšem nachází-li se panely v prašném

¹²V kapitole 4.2 Stávající problémy a řešení čerpáno z literatury: [10]

prostředí, kde je déšť vzácnost, je třeba panely občas omýt. V zimě nastává problém s panelem pokrytým sněhem. Ovšem když není panel umístěn vodorovně, ale je mírně nakloněn, tak z něho sníh po zahřátí od sluníčka jednoduše sklouzne, v jiných případech je potřeba panel očistit. Ve městech nastává i problém s holuby a jejich výkaly, panel je nutné osadit ostny, proti holubům.

Stárnutí svítidla a světelného zdroje

Pokles parametrů svítidla vlivem stárnutí je běžná věc. Svítidlo se špiní, materiály stárnou, proto je důležité zajistit bezproblémovou výměnu jednotlivých komponent, když je to třeba.

Životnost baterie

Technologie olověných baterií, které se nejčastěji používají, je poměrně dobře zvládnutá. Ovšem životnost baterie je omezena nabíjecími cykly. Správným zacházením s baterií, to znamená mechanicky ji nepoškozovat, zajistíme její dlouhou životnost. Baterii taktéž neprospívají nízké teploty, proto je potřeba ji při velkých mrazech vyjmout, případně ji tepelně zaizolovat.

Ekologická likvidace komponentů

Po skončení životnosti celého systému je nutné komponenty recyklovat. Panely se skládají z hliníku, plastových komponentů, skla a těžkých kovů, které jsou toxické. Už nyní jsou na trhu firmy, které se likvidací panelů zabývají. Dále je potřeba ekologicky zlikvidovat olověné baterie, kabeláž a ostatní elektroniku.

Vandalismus, krádeže, poškození

Bohužel, je tomu tak, zvláště v našich zeměpisných šířkách může dojít k odcizení komponentů, případně celého systému. V lepším případě může dojít pouze k poškození systému. Ovšem k poškození může dojít i vinou nevládného počasí, kroupy, hurikán a podobně. Takovýmto věcem lze těžko předejít, lze jen systém dostatečně dimenzovat.

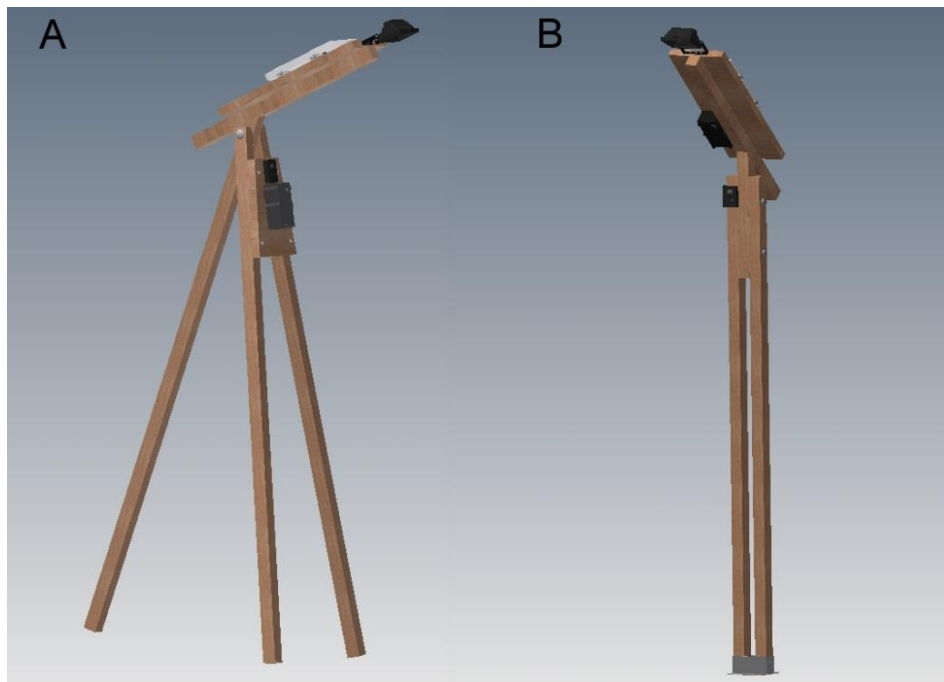
5 VLASTNÍ NÁVRH AUTONOMNÍHO OSVĚTLOVACÍHO SYSTÉMU

Součástí této práce je i realizace vlastního návrhu autonomního osvětlovacího systému. Návrh a konstrukce je provedena podle daných požadavků na funkčnost osvětlovacího systému. Požadavky byly v průběhu tvorby částečně měněny, proto bylo nutné návrh přizpůsobit. První návrh byl proveden pro pevně přidělané zahradní osvětlení sloužící k občasnému použití, poté byl vznesen požadavek na mobilitu, celého systému. Návrh byl proto poupraven, aby splnil zadání.

5.1 Realizace

5.1.1 Konstrukce

Po zpracování požadavků přišel na řadu samotný návrh osvětlení. Po hrubém náčrtu zařízení a rozhodnutí o tom, že systém bude koncipován tak, aby byl maximálně ekologický za co nejnižší cenu, bylo rozhodnuto o tom, že konstrukce zařízení bude tvořena dřevem, kvůli dostupnosti materiálu. Dřevo může být po ukončení životnosti zařízení dále zpracováno. Bylo vybráno dubové dřevo, které je tvrdé a odolné. Zvýší se tím sice hmotnost celého systému, ale na druhou stranu bude konstrukce stabilnější a bude mít delší životnost. Základ konstrukce tvoří dubové hranolky o rozměrech 5 x 5 cm, hranolky nejsou nijak impregnovány či lakovány.

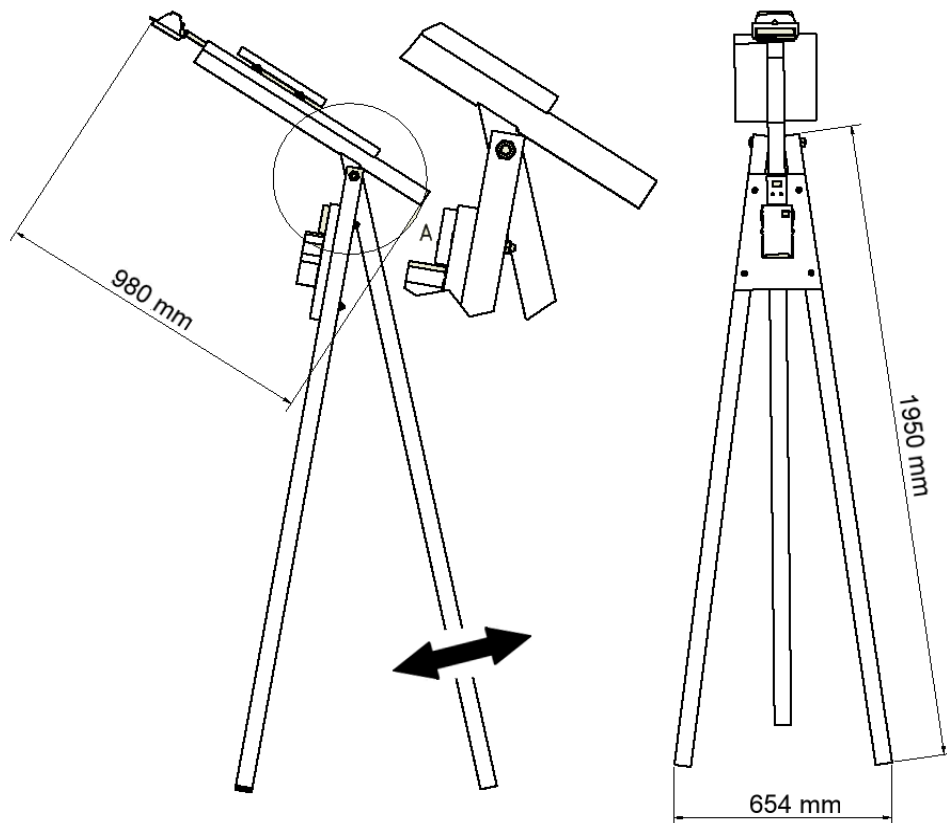


Obr. 5-1 Návrhy autonomního osvětlovacího systému. B - původní návrh¹³

Nynější konstrukce je tvořena dvěma 195 cm hranoly, které jsou umístěny jako dvě přední stojky. Zadní stojka měří 200 cm. Na zadní stojce je pod úhlem přišroubovaný vrchní hranolek o délce 80 cm, na němž je připevněno prkno. Na prkne je umístěn solární panel. Ten je přišroubován na pozinkovaných profilech, aby pod panelem mohl proudit vzduch a tím ho ochlazovat a tím zajistit jeho lepší účinnost.

¹³ Všechny nákresy a návrhy autonomního osvětlovacího systému vlastní konstrukce byly vytvořeny v programu Autodesk Inventor Professional 2013.

Prkno zároveň kryje box na baterii před nepřízní počasí. Ani po delším pozorování nebyla spatřena voda na boxu s baterií a ovládáním. Baterie s řídicím systémem je umístěna vepředu na prkně, které zajišťuje stabilitu předních stojek. Na boxu pro baterii je umístěn vypínač celého systému. Nad tímto boxem je umístěn informační displej, na kterém je možno sledovat aktuální napětí na solárním panelu. Kabeláž ke svítidlu a solárnímu panelu je vedena podél konstrukce z hranolků. Svítidlo je přišroubováno. Systém je opatřen stmívajícím senzorem, to znamená, že sepne na určitou nastavenou dobu (max. 4 hodiny), jakmile se setmí. Případně je možné opatřit zařízení pohybovým senzorem.



Obr. 5-2 Náčrsk konstrukce

5.1.2 Projektování

V této podkapitole je uveden příklad výpočtu navrhovaného autonomního osvětlovacího systému využívající solární panel jako zdroj elektrické energie.

Určení velikosti panelu

Při návrhu je nutné nejdříve určit spotřebu energie pro daný spotřebič. To lze celkem jednoduše. Je třeba zjistit příkon daného spotřebiče a stanovit dobu, po kterou bude spotřebič fungovat. V tomto případě je spotřebič LED reflektor a maximální doba svícení byla stanovena na 4 hodiny. Celková spotřeba světelného zdroje tedy je

$$E_z = P_p \cdot t = 2 \cdot 4 = 8 \text{ Wh}, \quad (5.1)$$

kde P je příkon světelného zdroje a t je doba provozu světelného zdroje. Dále je nutno započítat ztráty na jednotlivých komponentech systému. Proto je třeba určit účinnosti jednotlivých komponent. Účinnosti jsou stanoveny na základě zkušenosti a porovnání s jinými produkty. Účinnost celého řídicího systému s regulátorem je $\eta_r = 85 \%$, účinnost nabíjení baterie

je $\eta_b = 90 \%$ a účinnost přenosu elektrické energie kabeláží je $\eta_k = 98 \%$. Celková spotřeba i se ztrátami je

$$E = \frac{E_z}{\eta_b \cdot \eta_r \cdot \eta_k} = \frac{8}{0,9 \cdot 0,85 \cdot 0,98} = 10,67 \text{ Wh.} \quad (5.2)$$

Osvětlení nebude používáno po celý rok, pouze v měsících květen až září. Z uvedených stránek evropského institutu pro energii a transport (kap. 3) byla odečtena průměrná denní výroba elektrické energie $E_d = 10 \text{ Wh/den}$, nejmenší hodnota v měsíci květnu a září. Podle předpokladu byl zadán do výpočtu solární panel o výkonu 5 Wp, to znamená, že 1 Wp výkonu solárního panelu odpovídá vyrobené energii 2 Wh denně. Při porovnání vyrobené a spotřebované energie je zde nedostatek 0,67 Wh, ovšem vezmeme-li v úvahu, že solární panely se vyrábějí v určitých výkonových řadách, je dostačující zvolit solární panel o výkonu 5 Wp.

Měsíc	E_d	F_f	F_e
Leden	2.00	0	99
Únor	5.00	3	87
Březen	9.00	30	54
Duben	11.00	77	10
Květen	10.00	67	15
Červen	11.00	77	5
Červenec	11.00	70	2
Srpen	11.00	68	7
Září	10.00	45	31
Říjen	7.00	15	66
Listopad	3.00	0	96
Prosinec	2.00	0	100
Roční průměr	8.13		

Obr. 5-3 Denní množství elektrické energie, kterou lze očekávat v každém měsíci od FV systému s danými vlastnostmi. E_d je průměrná produkce energie za den [Wh/den], F_f je procento dnů, kdy je baterie nabita [%], F_e je procento dnů, kdy je baterie vybita [%].¹⁴

Určení kapacity baterie

Před určením kapacity baterie, je nutno stanovit počet dní, po které bude baterie uchovávat zásobu energie. Pro navrhovaný osvětlovací systém byly zvoleny dva dny, $A = 2$ dny. Dále je potřeba stanovit takzvaný stupeň vybití baterie, degree of discharge, $DOD = 0,9$. Kapacita baterie se tedy vypočítá z rovnice

$$Q = \frac{E \cdot A}{U \cdot DOD \cdot \eta_k} = \frac{10,67 \cdot 2}{6 \cdot 0,9 \cdot 0,97} = 4,03 \text{ Ah,} \quad (5.3)$$

kde $U = 6 \text{ V}$, což je napěťová hladina, se kterou systém pracuje. Zvolená baterie tedy disponuje kapacitou 4 Ah.

¹⁴ Tabulka byla vyjmuta ze stránek evropského institutu pro energii a transport [9] a přeložena do češtiny, zobrazené hodnoty jsou zjištěny pro lokaci 49°32'56" Severně, 15°45'57" Východně, Nadmořská výška 526 m n. m., je zde uvažováno s baterií s kapacitou 4 Ah a solárním panelem 10 Wp

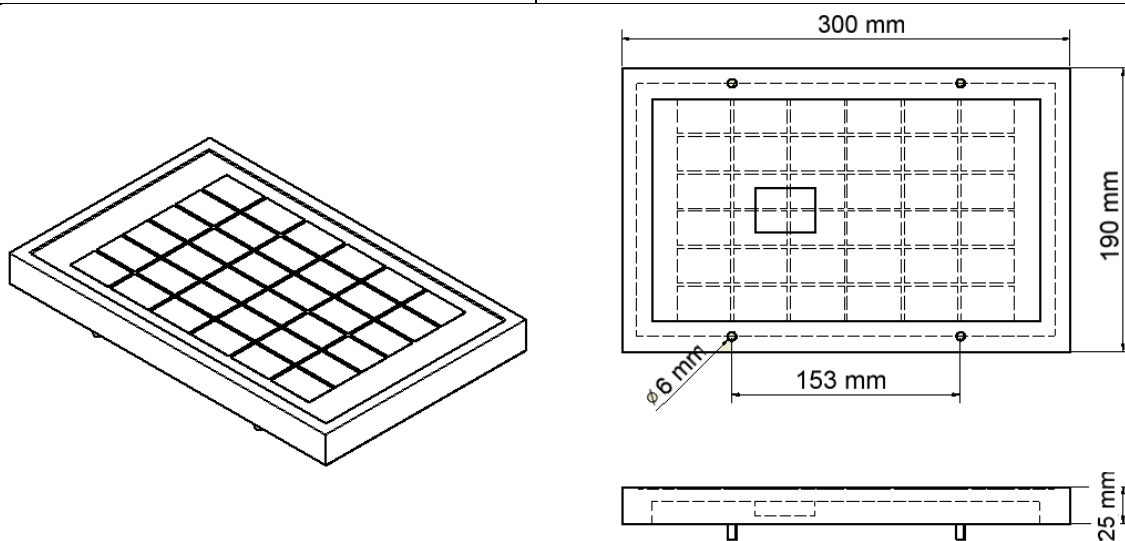
5.1.3 Komponenty¹⁵

Solární panel

Solární panel je opatřen robustním hliníkovým rámem, pomocí kterého je připevněn metrickými šrouby k dřevěné konstrukci. Panel je možno natáčet na různé světové strany spolu s konstrukcí. Stejně tak je možné měnit jeho úhel sklonu. Ideální je natočení na jih a úhel sklonu 30° vůči vodorovné hladině. Tím se nezvýší jen jeho výkon, ale je zajištěno, že dešťová z panelu steče a smyje tím i napadané nečistoty. Solární panel disponuje krytím IP 56, to znamená, že je chráněn proti vniknutí prachu, částečně, a proti silně tryskající vodě.

Tab. 5-1 Technická data solárního panelu (ověřena měřením)

Maximální výkon	5 Wp
Maximální nabíjecí napětí	8,95 V
Maximální napětí naprázdno	11 V
Maximální nabíjecí proud	0,562 A
Zkratový proud	0,618 A
Rozměry	300 x 190 x 22,5 mm
Hmotnost	780 g



Obr. 5-4 Nákres solárního panelu

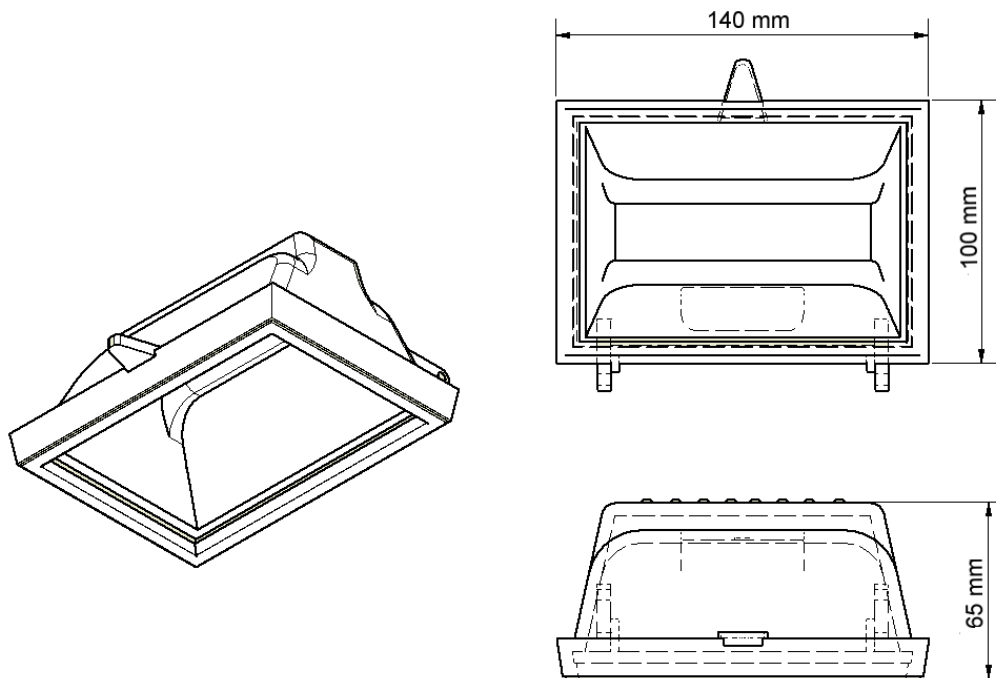
Reflektor

Reflektor je rovněž přišroubován k pevné konstrukci přes zalomený držák, díky němuž je možné reflektor natáčet, sklonit do potřebného úhlu. Reflektor je tvořen 28 bílými svítivými diodami. Vše je umístěno v odolné hliníkové konstrukci černé barvy, IP 56. Měrný výkon je na dnešní poměry malý, ovšem tento reflektor byl zvolen z důvodu dostupnosti. Lze ho koupit za cenu přibližně kolem 400 Kč a lze používat například jako přisvícení bezpečnostních kamer.

¹⁵ Technická data jsou převzata z technické dokumentace komponentů, které byly zakoupeny v internetovém obchodě Conrad, a ověřeny měřením.

Tab. 5-2 Technická data reflektoru

Maximální příkon	2 W
Světelný tok	85 lm
Vyzařovací úhel	60 °
Hmotnost	310 g
Rozměry	140 x 100 x 65 mm



Obr. 5-5 Náskres reflektoru

Řídící jednotka s baterií a ovládání

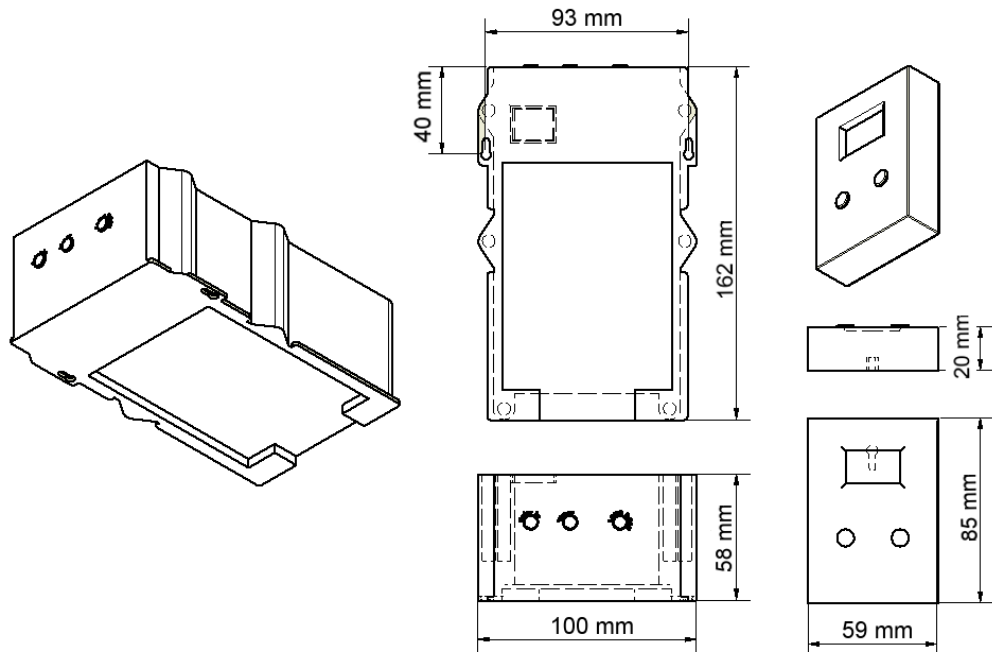
Jelikož se jedná o nejtěžší komponentu celého systému, je třeba ji řádně přidělat. Box s akumulátorem je zavěšen na dvou samořezných šroubech a lze kdykoliv sundat. Ovládání je zavěšeno na jednom šroubu. Box s baterií má krytí IP 56. Ovládání má krytí pouze IP 44, což ho chrání před stříkající vodou a velmi drobnými částmi. Výrobce akumulátoru je FUJIAN QUANZHOU SAITE POWER SOURCE SCIENCE AND TECHNOLOGY CO.,LTD, konkrétní model: SEALED LEAD-ACID BATTERY(6V4AH)

Tab. 5-3 Technická data řídicí jednotky s akumulátorem

Jmenovité napětí akumulátoru	6 V
Kapacita akumulátoru	4 Ah
Hmotnost	950 g
Rozměry	162 x 100 x 58mm

Tab. 5-4 Technická data ovládání

Rozměry	59 x 85 x 20 mm
Hmotnost	165 g



Obr. 5-6 Návrh řídicí jednotky s baterií a ovládacím

5.1.4 Ekonomické zhodnocení

V následující tabulce jsou shrnuty vynaložené prostředky na zkonstruovaný autonomní osvětlovací systém.

Tab. 5-5 Cena navrženého systému

Celková cena všech komponent autonomního osvětlovacího systému	2 526,5 Kč
Cena materiálu na dřevěnou konstrukci (dub – 21000 Kč za 1 m ³)	700 Kč
Cena za odvedenou práci	1300 Kč
Celková suma	4 526,5 Kč

Celý systém tedy vyšel na 4526,5 Kč. Baterie je schopna zvládnout více než 800 nabíjecích cyklů. Nebude-li systém používán denně, tak se jeho životnost značně prodlouží. Když porovnáme tento autonomní systém se stejným světelným zdrojem LED o ceně cca 400 Kč, který bude připojen k síti pomocí prodlužovacího kabelu o ceně cca 500 Kč a vezmeme v úvahu i stejnou oblast, kde bude systém provozován, konkrétně Vysočinu s tarifem D25d, tak nemůžeme diskutovat o nějaké návratnosti investice při používání onoho autonomního systému. Peníze vložené do autonomního systému by se nevrátili v době životnosti systému.

Avšak nespornou výhodou je mobilita systému, možnost umístit ho de facto kdekoliv, protože je nezávislý na elektrické síti.



Obr. 5-7 Realizace autonomního osvětlovacího systému

Ovšem, když porovnáme velký autonomní osvětlovací systém čítající několik jednotek s jemu podobným tradičním veřejným osvětlením po dobu provozu dvaceti let, tak lze tvrdit, že autonomní osvětlením nám uspoří určitou sumu peněz. Rozdíl je zejména v ceně zemních prací a kabeláže. U autonomního osvětlovacího systému využívající solární panel, jako zdroj elektrické energie, není třeba provádět značné zemní práce a připojovat ho k elektrické síti. A další rozdíl je samozřejmě v nákladech na elektřinu. Pro větší názornost je zde uvedena ukázková kalkulace návratnosti solární lampy společnosti Regam [15]. Kalkulace je provedena pro osvětlovaný úsek o délce 600 m, počet lamp je 20 kusů a vzdálenost přípojného místa od první lampy je 500 m. Příkon světelného zdroje u tradičního veřejného osvětlení je předpokládán 80 W. Autonomní osvětlovací systém je osazen indukčními výbojkami¹⁶ o příkonu 40 W. Doba provozu celého systému je 20 let. Olověná baterie s kapacitou 100 Ah.

¹⁶ Indukční výbojka je relativně drahý světelný zdroj, cenově přijatelnější by byl LED světelný zdroj.

Tab. 5-6 Ukázková kalkulace návratnosti autonomního solárního osvětlení za 20 let provozu (ceny bez DPH) [15]

	Tradiční veřejné osvětlení (připojeno k elektrické síti)		Autonomní solární osvětlení (životnost baterií 10 let)	
	Investiční náklady	Cena osvětlení	242 000 Kč	Cena osvětlení s Pb baterií
Instalace a zapojení		95 000 Kč	Instalace a zapojení	180 000 Kč
Délka kabel. přípojky vč. osvětl. trasy v metrech		1 100 m	Délka kabel. přípojky vč. osvětl. trasy	-
Kabeláž a zemní práce		1 230 000 Kč	Kabeláž a zemní práce	0 Kč
Investiční náklady celkem		1 567 000 Kč	Investiční náklady celkem	1 440 000 Kč
Provozní náklady		Náklady na elektřinu	20 000 Kč	Náklady na elektřinu
	Výměna světelných zdrojů	380 000 Kč	Výměna indukční výbojky	75 000 Kč
	Údržba	720 000 Kč	Údržba včetně výměny baterií	420 000 Kč
	Provozní náklady za 20 let	1 120 000 Kč	Provozní náklady za 20 let	495 000 Kč
	Náklady celkem	2 687 000 Kč	Náklady celkem	1 935 000 Kč
Celková úspora při použití autonomního solárního osvětlení				752 000 Kč

5.2 Další návrhy autonomního osvětlovacího systému

V této podkapitole jsou uvedeny další návrhy autonomních osvětlovacích systémů spolu s jejich využitím. Návrh jsou v současné době ve formě nápadů.

Nouzový osvětlovací systém

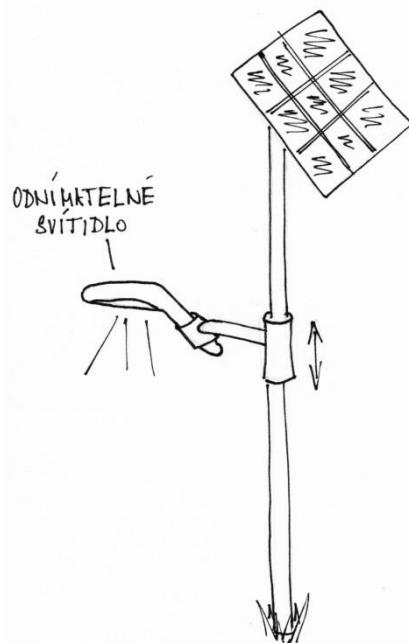
Jedná se o návrh autonomního osvětlovacího systému, který by mohl být použitelný například při přírodních katastrofách (zemětřesení, tsunami). Při takovýchto katastrofách lze předpokládat zhroucení elektrické sítě. Tím pádem by nefungovalo veřejné osvětlení, což může vést ke krádežím a rabování. Navíc osvětlení po takové katastrofě může navodit pocit bezpečí a psychickou pohodu.

Celý systém by měl být sestaven z dostupných materiálů, zároveň by měl být snadno složitelý, skladný a cenově dostupný. Moje představa je taková, že celý model by se skládal z podstavce pro dopravní značku vyrobeného z recyklovaných materiálů, ve kterém by bylo možné zespod upevnit solární panel pro možnost složení celého systému. Solární panel by disponoval přibližně výkonem 40 Wp, byl by umístěn ve výšce přes dva metry na pozinkované,

skládáné trubce, dalo by se využít i dřevěné konstrukce, z této konstrukce by vystupoval výložník se svítidlem osazeným LED světelným zdrojem. Světelný zdroj by byl umístěn ve výšce dva metry, aby dostatečně osvětloval oblast.

Odnímatelný autonomní osvětlovací systém

Dalším návrhem nebo spíše nápadem je svítidlo s LED zdrojem, které by mělo být umístěno v takzvané „dokovací“ stanici, kde by bylo bezdrátově dobíjeno. To znamená, že by svítidlo disponovalo dobíjecí baterií a bylo tak odnímatelné. Bezdrátové dobíjení je zde proto, aby celý systém mohl být uzavřen v jednolitém pouzdře a byl tak odolnější proti poškození. Celý systém by byl napájen solárním panelem. Je pravda, že bezdrátové nabíjení má malou účinnost, je potřeba více energie a delší čas na nabití, ale je to poměrně inovativní řešení a bezkontaktní nabíječky se stále vyvíjejí.



Obr. 5-8 Náskres odnímatelného autonomního osvětlení

6 ZÁVĚR

Vzhledem k neustálému vývoji LED světelných zdrojů a solárních panelů se naskytá možnost k většímu využití autonomních osvětlovacích systémů. Je pravda, že poslední dobou si solární systémy nezískaly příliš pozitivní popularitu díky aférám s fotovoltaickými elektrárnami. Avšak dle mého názoru je autonomní osvětlovací systém jedním ze smysluplných využití technologie fotovoltaických článků. Ovšem nic se nesmí přehánět, je třeba instalovat autonomní osvětlení pouze na vhodných místech, kde jsou podmínky k jeho provozování, a zároveň na místech, kde není k dispozici přípojka k elektrické síti. Tím chci říci, že dle mého názoru není vhodné instalovat toto osvětlení ve městech a v místech s vybudovanou elektrickou sítí. Zde je spíše třeba vyměnit světelné zdroje za úspornější typy. Autonomní osvětlení se skvěle hodí do odlehlých oblastí pro osvětlování vzdálených přechodů a vlakových či autobusových zastávek, odlehlých usedlostí, jako informační osvětlení na dálnicích, případně pro další domácí aplikace.

Při uvážení všech dostupných zdrojů elektrické energie pro autonomní osvětlovací systémy vychází nejlépe solární panely. Jejich konstrukce je kompaktní a nedisponují pohyblivými částmi. Jako doplněk při dnech, kdy je zataženo, je možné použít malé větrné turbíny. Nejvíce využívaným světelným zdrojem v těchto aplikacích jsou LED. Díky jejich neustálému vývoji disponují dobrými parametry včetně nízké spotřeby elektrické energie.

Vlastní návrh autonomního osvětlení je spíše demonstrativním počinem, ale jsou zde názorně zobrazeny jednotlivé komponenty i s technickými údaji, příklad výpočtu pro návrh a výběr jednotlivých komponentů. Konstrukce je tvořena dubovými hranolkami, ty nejsou nijak lakovány, což lze považovat za ekologicky přijatelné. Tento materiál byl zvolen z důvodu dobré dostupnosti. Celá konstrukce je tvořena tak, aby mohla být pohodlně nastavitelná a přemístitelná. Investice vložená do vlastního autonomního osvětlení se nenavrací. Je to malý systém, jde zde především o funkčnost, lze ho použít jako zahradní osvětlení. Konkrétně je využíván při grilování. Ovšem u velkých aplikací lze očekávat určitou úsporu peněz při dlouhodobějším využívání oproti aplikacím připojeným k elektrické síti, viz. Tab. 5-6.

Budoucnost, vzhledem k neustále se rozvíjejícím technologiím světelných zdrojů, baterií a zdrojů elektrické energie, konkrétně pak fotovoltaických článků, je velmi slibná. Existuje velká škála oblastí, kde by se mohly dále uplatnit. Může se jednat o nouzové osvětlení, které může být nápomocno při různých přírodních katastrofách, informativní osvětlení umístěném podél silnic a dálnic, osvětlení nebezpečných přechodů přes silnici, až po domácí aplikace autonomního osvětlení umístěného na zahradách.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] DUNBAR, B. International space station. *NASA* [online]. 2012 [cit. 2012-11-23]. Dostupné z: http://www.nasa.gov/mission_pages/station/main/onthestation/
- [2] BOLLINGER, J. D. *Applications of solar energy to power stand-alone area and street lighting*. University of Missouri-Rolla: 2007. bakalářská práce. University of Missouri-Rolla [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://power.mst.edu/media/academic/power/documents/theses/Thesis_Joshua_Bollinger.pdf
- [3] LIBRA, M. Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. *ELEKTRO* [online]. 2012 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40646
- [4] MASTNÝ, PETR A KOL. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [5] WIKIPEDIE. Watt-peak [online]. 2013, verze 31.3.2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Watt-peak>
- [6] SKYFLY. Kapacita baterie [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.skyfly.cz/pristroj/slovník/kapacitabat.htm>
- [7] WIFI.ASPA. Solární regulátor CARSPA CD1212 12V/12A [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://wifi.aspa.cz/solarni-regulator-carspa-cd1212-12v-12a-z104096/>
- [8] AMMINI. *Solar Street Lighting System (CFL) - Suntron-18W* [online]. 2012 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: <http://www.ammini.com/default.aspx>
- [9] JRC. Interactive maps and animations. *Institute for energy and transport* [online]. 2012, verze 10.2.2012 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/imaps/index.htm>
- [10] SMRŽ, M. Udržitelnost [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.udrizitelnost.cz/soubory/fotovoltaika.pdf>
- [11] ČSN EN 13201. *Osvětlení pozemních komunikací*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. Třídící znak 36 0455.
- [12] ŠMEJKAL, P. *Nápady. 21. Století*. Praha: RF HOBBY, s. r. o. 2013, č. 8, s. 130. ISSN 1214-1097.
- [13] CZE+. Fotovoltaické svítidlo. *CZ-elektronika plus s.r.o.* [online]. 2012 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.pvproducts.info/fotovoltaicke-svitidlo-kontakt.php>

- [14] ČEZ, REGIONY. Osvětlení přechodů. *cezregiony* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.cezregiony.cz/dekujeme/#oprojektu>
- [15] RADOMÍR ŘEHOŘ. *Solární pouliční osvětlení* [PDF]. Jevíčko: Regam s.r.o. 2012 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.regam.cz/solarni-osvetleni.php?lang=cz>
- [16] STEPHEN HEALY, H. O. *Experience with PV Lighting Systems and the adoption of Incorporated Society Model in Tonga*. Sydney: 2001. studie. The University of New South Wales [cit. 2013-20-05]. Dostupné z: <http://www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/tonga/energy.pdf>
- [17] ALIMOV, R. Radioisotope Thermoelectric Generators. In: *Bellona* [online]. 24. 11. 2003 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.bellona.org/english_import_area/international/russia/navy/northern_fleet/incidents/31772
- [18] qr5. *quietrevolution* [online]. 2012 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.quietrevolution.com/qr5/faqs-installation.htm>
- [19] PIERROT. Statistics. *Wind turbines and farms database* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.thewindpower.net/index_statistics_en.php
- [20] DUNLOP, J. *Stand-alone photovoltaic systems*. Florida solar: 2007. A decisions market guide. University of central Florida [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/pdf/FSEC-RR-54-98.pdf>
- [21] HLINICA, P. Fotovoltaické elektrárny - složení. *solarnimoduly* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://solarnimoduly.cz/fotovoltaicke-elektrarny-slozeni.html>
- [22] VARMUŽA, J. *Stanovení spotřeby elektrické energie pro veřejné osvětlení*. Brno: 2011. Diplomová práce. VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky.
- [23] LINDEN, D. *Handbook of batteries*. The McGraw-Hill Companies, Inc, 2002. ISBN 0-07-135978-8.
- [24] CEA. How does a photovoltaic solarcell work? *CEA* [online]. 2012 [cit. 2013-20-05]. Dostupné z: <http://www.cea.fr/var/cea/storage/static/gb/library/Clefs50/pdf/encadred.pdf>
- [25] ČEZ. Obnovitelné zdroje. *ČEZ* [online]. 2013 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/>
- [26] HELIATEK. Organic PV. *Heliatek* [online]. 2013 [cit. 2013-05-28]. Dostupné z: <http://www.heliatek.com/technologie/organische-photovoltaik/?lang=en>

- [27] FICEK, T. *Vliv proměnné intenzity na účinnost fotovoltaického panelu*. Brno: 2012. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta, Katedra fyziky [cit. 2013-04-12]. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/252914/pedf_b/Bakalarska_prace.pdf
- [28] SEVEN, STŘEDISKO PRO EFEKTIVNÍ VYUŽÍVÁNÍ ENERGIE, O.P.S. *Veřejné osvětlení pro města a obce* [PDF]. Praha: SEVEN, 2012 [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.uspornespotrebice.cz/files/manual_verejneho_osvetleni_2010.pdf
- [29] SOKANSKÝ, KAREL A KOL. *Světelná technika*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [30] UNIVERSITY, NORTHWESTERN. What are radioisotope thermoelectric generators? In: *Qualitative Reasoning Group* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: <http://www.qrg.northwestern.edu/projects/vss/docs/power/1-what-are-rtgs.html>

Příloha A

V této příloze jsou fotografie vlastního návrhu autonomního osvětlení.



Obr. A-1 Fotografie autonomního osvětlení vlastní konstrukce



Obr. A-2 Funkčnost autonomního osvětlení za nepříznivých podmínek (déšť)