

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Využití kondenzátoru jako záložního zdroje pro nouzové
osvětlení**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Richard MICHALICA**
Osobní číslo: **E13N0027K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Využití kondenzátoru jako záložního zdroje pro nouzové osvětlení**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište princip kondenzátoru, zaměřte se na superkapacitor.
2. Popište princip funkce LED a principy jejího řízení napájení a spotřeby.
3. Popište legislativu určující parametry a potřeby nouzového osvětlení.
4. Navrhněte prototyp decentralizovaného nouzového osvětlení na principu akumulace do kapacitoru.
5. Zhodnoťte, zda je tato technologie pro danou aplikaci použitelná a ekonomicky konkurenceschopná.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.


Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Emil Dvorský, CSc.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2014

Termín odevzdání diplomové práce: 11. května 2015


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá teoretickým návrhem napájení nouzového svítidla pomocí superkapacitoru jako i porovnáním navrhovaného řešení s běžně používaným systémem napájení.

Úvodní část práce přináší náhled do problematiky akumulace elektrické energie pomocí elektrochemické reakce a přímého ukládání elektrického náboje v superkapacitorech. Následující části této práce seznamují se základními parametry LED světelných zdrojů, jejich složením, konstrukcí a funkcí jako i s požadavkem norem a předpisů, které ukládají požadavky na nouzové osvětlení a stanovují jeho parametry.

V samotné části návrhu napájení nouzového svítidla pomocí superkapacitoru jsou uvedeny jednotlivé výpočty, které vedou k návrhu funkčního nouzového svítidla s autonomním zdrojem elektrické energie – superkapacitorem. Dále je provedeno porovnání parametrů dvou systému napájení nouzového svítidla jako i jejich ekonomické zhodnocení.

Hlavním cílem diplomové práce je poukázat na vhodnost a za určitých podmínek i velkou výhodnost použití superkapacitoru jako nouzového zdroje elektrické energie pro systém nouzového osvětlení.

Klíčová slova

Systém nouzového osvětlení, nouzové svítidlo, autonomní zdroj, superkapacitor, kapacita superkapacitoru, LED dioda, ekonomické porovnání.

Abstract

The thesis deals with the theoretical proposal of the power supply to the emergency luminaires using superkapacitor, as well as by comparing the proposed solution with the commonly used system power supply.

The initial part of the lever brings insight into the issue of accumulation of electric energy through an electrochemical reaction and direct storage of electrical charge in the superkapacitor. The following parts of this work are acquainted with the basic parameters of LED light sources, their composition, structures and functions, as well as with the requirement of standards and regulations, which impose requirements for emergency lighting and set its parameters.

In the parts of the design of the power supply to the emergency luminaires using superkapacitor are given individual calculations that lead to the design of a functional emergency lighting with an autonomous source of electrical energy – superkapacitor. Furthermore, it is done by comparing the parameters of two of the power system emergency lighting fixtures, as well as their economic evaluation.

The main goal of this thesis is to highlight the suitability and, under certain conditions, a great advantage of the use of superkapacitor as the emergency source of electrical power for the emergency lighting system.

Key words

The system of emergency lighting, emergency lighting, the autonomous source, superkapacitor, the capacity of the superkapacitor, LED diode, economic comparison.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce. Byly uvedeny všechny literární prameny, publikace a podklady, ze kterých jsem při vypracování práce čerpal.

.....
podpis

V Plzni dne 6.5.2015

Bc. Richard Michalica

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Doc. Ing. Emilovi Dvorskému CSc. za metodické vedení, cenné rady a doporučení při vypracovávání této diplomové práce.

Obsah

1	ÚVOD.....	11
2	Akumulace energie	12
2.1.1	Olovené akumulátorové baterie (Pb-PbO ₂) [13].....	12
2.1.2	Nikl – kadmiové baterie (NiCd) [14]	13
2.1.3	Nikl – metal hydridové baterie (NiMH) [15]	14
2.1.4	Lithium – iontové baterie (Li-ion) [16]	14
2.2	Akumulace energie pomocí elektrického pole.....	16
2.2.1	Superkapacitor	16
2.2.2	Nabíjení a vybíjení superkapacitorů	18
2.2.3	Samovybíjení superkapacitorů	20
2.2.4	Spojování Superkapacitorů.....	21
2.2.5	Vliv vlhkosti na životnost superkapacitoru	23
2.2.6	Vliv tlaku na parametry superkapacitoru.....	23
2.2.7	Polarita superkapacitoru	23
3	LED	24
3.1	Barva světelného paprsku [17]	26
3.2	Bílé LED [17]	27
3.3	Svítivost LED [17].....	27
3.4	Konstrukční uspořádání LED [17].....	28
3.5	Důležité parametry LED [17]	28
3.6	V-A charakteristika LED [17].....	29
3.7	Vyzařovací charakteristika LED [17].....	32
3.8	Vliv teploty na diody LED [17].....	32
4	Normativní požadavky na činnost nouzového osvětlení	34
4.1	Nouzové osvětlení.....	34
4.1.1	Rozdělení nouzového osvětlení	34
4.2	Požadavky normy ČSN EN 1838 na nouzové osvětlení.....	35
4.3	Požadavky na světelně technické charakteristiky nouzového osvětlení	36
4.3.1	Bezpečnostní značky	37
4.3.2	Svítilna pro nouzové osvětlení	37
4.4	Napájení nouzového osvětlení	38
4.4.1	Centrální napájecí systém [5]	38
4.4.2	Svítilna s autonomním zdrojem elektrické energie [2].....	41

4.4.3	Baterie pro svítidla s autonomním zdrojem elektrické energie [2]	42
5	Návrh decentralizované soustavy nouzového osvětlení napájené z autonomního zdroje elektrické energie za pomoci použití superkapacitoru.....	45
5.1	Obecný popis možností napájení:	45
5.1.1	Centrální akumulátorová baterie	46
5.1.2	Autonomní akumulátor ve svítidle	46
5.1.3	Monitoring nouzového osvětlení	46
5.2	Výpočet parametrů stávajícího systému	47
5.2.1	Popis objektu	47
5.2.2	Popis stávajícího systému nouzového osvětlení.....	47
5.2.3	Výpočet parametrů stávajícího systému	48
5.3	Návrh napájení LED nouzového svítidla za pomoci superkapacitoru.....	50
5.3.1	Výpočet kapacity superkapacitoru. [11].....	50
5.3.2	Návrh elektronické části nouzového svítidla	52
5.3.3	Návrh nabíjecího obvodu superkapacitoru	53
5.3.4	Spínaný stabilizovaný napájecí zdroj	54
5.3.5	Integrovaný obvod LTC4425.....	55
5.3.6	Nastavení vstupního a výstupního napětí inteligentní nabíječky	55
5.3.7	Nastavení nabíjecího proudu	56
5.3.8	Indikátor provozního stavu.....	56
5.3.9	DC/DC konvektor LTC3490 [10].....	56
6	Technicko-ekonomické zhodnocení návrhu	58
6.1	Výpočet nákladů stávajícího systému.....	58
6.1.1	Výpočet celkových nákladů.....	59
6.2	Výpočet nákladů na systém napájen superkapacitorem.....	60
6.2.1	Výpočet nákladů na pořízení jednoho svítidla	60
6.2.2	Výpočet celkových nákladů.....	61
6.3	Porovnání celkových nákladů	62
	Závěr.....	63
	Seznam použité literatury	65
	Přílohy	1
	Příloha číslo 1: Katalogový list svítidla FORMULA 65 LED	1
	Příloha číslo 2	3

Seznam zkratk a symbolů

Zkratky:

ČSN	Česká technická norma
ČSN EN	Česká technická norma s návazností na evropskou normu
EDLC	Elektrochemický dvouvrstvý kondenzátor
ESR	Ekvivalentní sériový odpor
GaAlAs	Gallium aluminium arsenide
GaAs	Gallium arsenide
GaAsP	Gallium arsenide Phosphide
GaN	Gallium nitride
GaP	Gallium phosphide
IEC	International Electrotechnical Commission
InGaAlP	Indium gallium aluminium Phosphide
ISO	International Organization for Standardization
LDO	Režim nabíjení superkapacitoru stanoveným výstupním napětím
LED	Light emitting diode
Li-ion	Lithium-iontový
NiCd	Nikl-kadmiový
NiMh	Nikl-metal hydridový
Pb	Olovený
PWM	Pulsně šířková modulace
SiC	Silicon carbide
SMD	Součástka pro povrchovou montáž plošných spojů
VRLA	Ventilem řízené olovené akumulátory

Symboly:

A	[m ²]	Povrch elektrody
C	[F]	Kapacita superkapacitoru
C'	[F]	Kapacita jednoho superkapacitoru
C _{dt}	[F]	Kapacita elektrické dvouvrstvy
D _n	[-]	Difuzní konstanta elektronů
D _p	[-]	Difuzní konstanta děr
dt	[s]	časový krok
dU	[V]	Změna napětí superkapacitoru
E	[lx]	Osvětlenost
E _c	[eV]	Dolní okraj vodivostního pásu
E _g	[eV]	Energie fotonů emitovaných s polovodiče
eU	[V]	Energie pole
E _v	[eV]	Horní okraj vodivostního pásu
hν	[eV.s]	Planckova konstanta
I	[A]	Jmenovitý proud
i	[A]	Proud superkapacitoru
I _c	[A]	Konstantní vybíjecí proud
I _F	[A]	Propustný stejnosměrný proud
I _{FM}	[A]	Propustný špičkový proud
I _{MAX}	[A]	Maximální odebíraný proud ze superkapacitoru
I _{max}	[A]	Maximální spotřeba proudu
I _{min}	[A]	Minimální spotřeba proudu
I _{NAB.}	[A]	Nabíjecí proud superkapacitoru

$I_{\text{prům}}$	[A]	Průměrná spotřeba proudu
I_R	[A]	Závěrný proud
I_V	[cd]	Svítivost
k	[-]	Koeficient bezpečnosti stárnutí baterie
L_n	[mm]	Difuzní délka elektronů
P	[W]	Dodávaný výkon
$P_{\text{cpř}}$	[VA]	Celkový příkon soustavy
P_m	[W]	Výkonová ztráta
P_{MAX}	[W]	Maximální příkon LED diod
P_{pt}	[VA]	Příkon svítidla
Q	[Ah]	Kapacita baterie
$R_{\text{CELK.}}$	[Ω]	Celkový vnitřní ekvivalentní odpor superkapacitoru
R_{ESR}	[Ω]	Vnitřní ekvivalentní odpor
R_{FB1}	[Ω]	První rezistor výstupního odporového děliče inteligentní nabíječky
R_{FB2}	[Ω]	Druhý rezistor výstupního odporového děliče inteligentní nabíječky
R_{KUS}	[ks]	Počet použitých kusů superkapacitorů
R_{PAR}	[Ω]	Rezistivita superkapacitorů v paralelním zapojení
R_{PF1}	[Ω]	První rezistor vstupního odporového děliče inteligentní nabíječky
R_{PF2}	[Ω]	Druhý rezistor vstupního odporového děliče inteligentní nabíječky
R_{PROG}	[Ω]	Externí rezistor programující nabíjecí proud superkapacitoru
R_{SER}	[Ω]	Rezistivita superkapacitorů v sériovém zapojení
S	[ks]	Počet svítidel
t	[min]	Čas provozu baterie
t_e	[m]	Tloušťka elektrody
T_{OPR}	[$^{\circ}\text{C}$]	Rozsah provozních teplot
U	[V]	Jmenovité napětí
U_0	[V]	Počáteční napětí nabitého superkapacitoru
U_{ESR}	[V]	Úbytek napětí na vnitřním ekvivalentním odporu
U_{ESRMAX}	[V]	Maximální úbytek napětí na superkapacitoru
U_F	[V]	Napětí na superkapacitoru 5 sekund po odpojení zátěže
U_{MIN}	[V]	Minimální využitelné napětí na superkapacitoru s připojenou zátěží
U_{min}	[V]	Minimální provozní napětí
U_R	[V]	Napětí v závěrném směru
U_{Rmax}	[V]	Maximální povolené závěrné napětí
V_0	[V]	Velikost napětí na superkapacitoru v čase $t = 0$ [min]
V_{1H}	[V]	Velikost napětí na superkapacitoru v čase $t = 60$ [min]
V_{FB}	[V]	Velikost zpětnovazebního napětí inteligentní nabíječky
V_{OUT}	[V]	Výstupní napětí inteligentní nabíječky
W_0	[J]	Velikost elektrické energie na superkapacitoru v čase $t = 0$ [min]
W_{1H}	[J]	Velikost elektrické energie na superkapacitoru v čase $t = 60$ [min]
W_{max}	[J]	Maximální využitelné množství energie ze superkapacitoru
ΔU	[V]	Povolená ztráta napětí na superkapacitoru
ε	[Fm ⁻¹]	Permitivita prostředí
η	[%]	Účinnost DC/DC převodníku a napájení
η_{SYS}	[%]	Účinnost systému nouzového svítidla
λ	[nm]	Vlnová délka
μ_n	[-]	Hybnost elektronů
μ_p	[-]	Hybnost děr
τ	[s]	Doba života elektronu a děr

1 ÚVOD

Předmětem této diplomové práce na téma: „Napájení nouzového osvětlení pomocí superkapacitorů“ je návrh napájení nouzového svítidla s autonomním zdrojem pomocí superkapacitoru a změna projekčního řešení nouzového napájení pomocí centrálního bateriového systému za systém napájení s autonomním zdrojem. Práce se rovněž zabývá návrhem nabíjecího a vybíjecího obvodu superkapacitoru použitého v typovém, dnes běžně používaném, svítidle. Celkové zhodnocení bude pozůstat z porovnání technických kladů a záporů obou variant napájení jako i ekonomického zhodnocení pořízení a provozu obou systémů. V dnešní době plné technických pokroků nastal velký pokrok i v oblasti akumulace energie. Posledních pár let je značné úsilí věnováno vývoji superkapacitorů, které díky nové technologii výroby uhlíkové dvouvrstvy, dokáží při relativně malém rozměru dosahovat kapacitu řádově tisíců farad [F].

V současné době je na trhu se součástkami dostatečné množství již předpřipravených obvodů pro nabíjení a vybíjení superkapacitorů pracujících jako zdroj pro LED, které po malé úpravě parametrů lze použít i pro napájení LED světelného zdroje běžně používaných nouzových svítidel. S použitím superkapacitoru jako záložního zdroje energie pro nouzové svítidlo, odpadájí provozovateli osvětlení pravidelné výměny elektrochemických napájecích zdrojů nebo údržba baterií se systémem centrálního bateriového systému, které ukládá norma ČSN EN 1838. Provozovatel proto může ušetřit na nákladech spojených s údržbou nouzového osvětlení, protože výrobce superkapacitorů udává životnost minimálně 10 let. Akumulační kapacita superkapacitorů již dnes dosahuje hodnot, které jsou dostačující pro energeticky náročnější aplikace a při tendenci snižování ceny superkapacitorů bude mít toto řešení i velký ekonomický potenciál.

Nouzová osvětlovací soustava je ucelený systém prvků (tj. svítidel, elektrických a ovládacích rozvodů, napájecích a monitorovacích systémů), které svým výstupním prvkem – světelným zdrojem, produkuje v požadovaném místě světelné prostředí pro bezpečné opuštění prostoru v případě nouzového stavu. Hlavním požadavkem na nouzové osvětlení je zajištění dostatečné intenzity osvětlení únikových cest sloužících k opuštění daného prostoru, jako i k určení směru úniku a označení míst s protipožárními a bezpečnostními zařízeními. Systém nouzového osvětlení tvoří jen malou část celé osvětlovací soustavy a to jak svým rozsahem, tak i finančním objemem. Patří ale mezi nejdůležitější části této osvětlovací soustavy z hlediska evakuace a bezpečnosti při ochraně lidí.

2 Akumulace energie

Nejstarším a dnes nejběžnějším typem akumulátorů jsou bezpochyby elektrochemické akumulátorové baterie. Pracují na elektrochemickém principu, tudíž procházející proud vyvolává vratné chemické změny, které se projeví rozdílem elektrochemického potenciálu na elektrodách akumulátoru. Z elektrod se následně čerpá na úkor těchto změn elektrická energie zpět. Z důvodu poměrně malých napětí na elektrochemických článcích (cca 1,2 – 3,7V) jsou tyto články sdružovány do sériových zapojení pro dosažení vyššího napětí. V současné době je možnost výběru z více druhů elektrochemických akumulátorových baterií. V následujících podkapitolách jsou uvedeny základní charakteristiky dnes nejpožívanějších typů elektrochemických akumulátorových baterií.

2.1.1 Olověné akumulátorové baterie (Pb-PbO₂) [13]

Existence tohoto typu baterie se datuje od roku 1850. Jedná se o galvanický článek s elektrodami na bázi olova, jehož elektrolytem je kyselina sírová. Díky jednoduchosti svojí konstrukce byly tyto baterie v minulosti produkovány ve velkých množstvích a jsou tudíž nejrozšířenějším typem baterií. Konstrukce akumulátoru je na obr. 1.1. Omezení olověného akumulátoru spočívá v tom, že v případě setrvání po delší dobu ve stavu i částečného vybití, dochází na elektrodách k prakticky nevratným změnám tzv. sulfataci, která výrazně snižuje kapacitu baterie. Podle technologie provedení můžeme tyto akumulátory rozdělit na :

- akumulátory se zaplavenými elektrodami (elektrolyt je volně nalitá kapalina mezi elektrodami).
- VRLA z anglického Valve Regulated Lead Acid – ventilem řízené olověné akumulátory. Jedná se o zapouzdřené akumulátory se zamezením ztrát elektrolytu.
 - AGM – elektrolyt nasáknut ve skelné vatě mezi elektrodami
 - Gelové – elektrolyt zahuštěný ve formě gelu

Konvenčně vyráběné olověné baterie jsou konstruovány na vysoký výkon (více než 750W/kg) a jsou často upřednostňovány z důvodu své nízké výrobní ceny, vysoké bezpečnosti a spolehlivosti. Nevýhodami těchto baterií je nízká měrná energie (30 až 40 Wh/kg), malý výkon za nízkých teplot a malá životnost. Účinnost ukládání energie se pohybuje nad 80%.



Obrázek 1 - Olověný akumulátor [20]

2.1.2 Nikl – kadmiové baterie (NiCd) [14]

Nikl – kadmiové baterie jsou používány v mnoha elektronických zařízeních, přestože byly na začátku vyvíjeny pro použití v automobilovém průmyslu. Vyrábí se jednak se zaplavenými elektrodami a kapalným elektrolytem a jednak jako hermetizovány pro různé přístroje a nářadí. Mají vyšší měrný výkon (40 až 60 Wh/kg) a i jejich životnost je oproti olověným akumulátorům vyšší (2000 cyklů). Jejich nevýhodou je vyšší pořizovací cena, na které se také podílí i cena následného recyklování kadmia, které je velmi toxické. Nepříjemným aspektem je také vysoká hodnota samovybití, která může dosáhnout hodnoty až 10 % za měsíc. Dalším problémem nikl-kadmiových baterií je jejich



Obrázek 2 - Nikl-kadmiový akumulátor [21]

paměťový efekt. Ten se vyznačuje tím, že pokud se dobíjí zcela nevybitá baterie, tak se energetická kapacita baterie snižuje. Je tedy zapotřebí příležitostně tuto baterii zcela vybit. Naopak jejich výhodou je v možnosti skladování ve vybitém stavu a s tím související odolnost vůči hlubokému vybití.

2.1.3 Nikl – metal hydridové baterie (NiMH) [15]

Baterie NiMH patří na počátku 21. století k jednomu z nejčastěji používaných typů elektrochemických akumulátorových baterií, který je ve velké míře běžně používán ve spotřební elektronice. Měrný výkon je obdobný jako u nikel-kadmiových baterií, avšak měrná energie je přibližně dvojnásobná ve srovnání s Nikl-Kadmium akumulátory (60 až 120 Wh/kg). Další negativní vlastností je zvýšená teplotní citlivost, která v praxi při aplikaci například v nouzovém osvětlení instalovaném na stropě, kde je nejvyšší teplota v



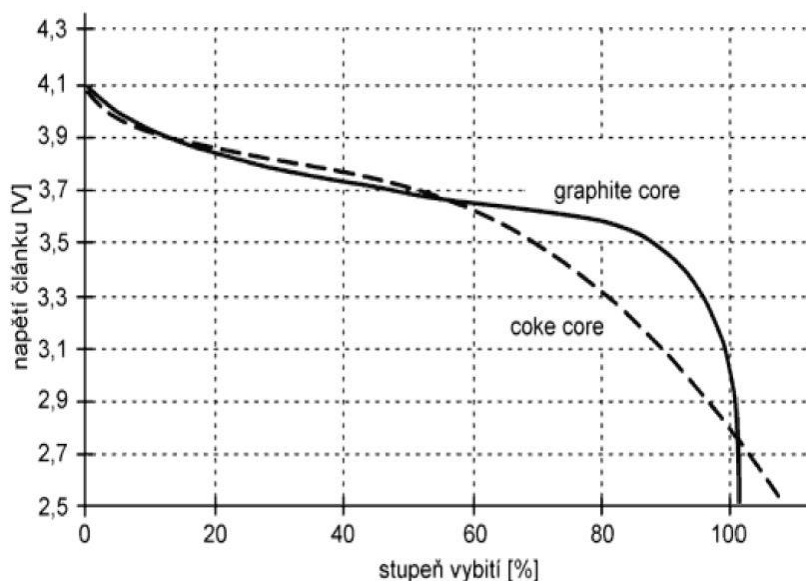
Obrázek 3 - Nikl-metal hydrid akumulátor [21]

daném prostoru, může způsobovat pokles kapacity a také pokles životnosti baterií. Při porovnání s NiCd bateriemi jsou baterie NiMH výrazně náchylnější k paměťovému efektu. Výraznou nevýhodou je vysoké procento samovybití, které dosahuje hodnoty cca 20-30% během jednoho měsíce při pokojové teplotě. Recyklovatelnost NiMH baterií je z důvodu absence kadmia o mnoho lepší než u NiCd baterií. Životnost NiMH baterií se pohybuje v rozpětí 500 – 1000 cyklů.

2.1.4 Lithium – iontové baterie (Li-ion) [16]

V praxi se dnes dá setkat se dvěma typy Li-ion akumulátorů, které se liší provedením záporné elektrody (u akumulátorů je to anoda). V obou případech je to uhlík, v prvním jako „koks“, v druhém ve formě grafitu. Akumulátory s „coke“ anodou používají

mikrokrytalickou formu uhlíku, která se dříve označovala také jako „amorfní uhlík“. Je shodná s grafitem, ale na rozdíl od něj má jen nepatrné a neorientované krystaly. Tyto akumulátory se liší tvarem vybíjecí křivky, nabíjecím napětím a napětím, při kterém je třeba ukončit vybíjení. Typická vybíjecí křivka je na obr. č. 4. Pro úplnost je třeba uvést, že se vyrábějí i akumulátory s grafitovou anodou, které mají díky upravené technologii výrobu nabíjecí napětí 4,2 V a vybíjecí 2,5 V.



Obrázek 4 - Vybíjecí křivka Lithium-iontového akumulátoru [22]

Akumulátory Li-ion jsou velmi kvalitním zdrojem energie, jsou malé, lehké a výkonné. Mají malé samovybití a jednoduše se nabíjejí. Je však třeba s nimi zacházet šetrněji než s akumulátory NiCd nebo NiMH. Hodí se pro přístroje s malým a středním odběrem.



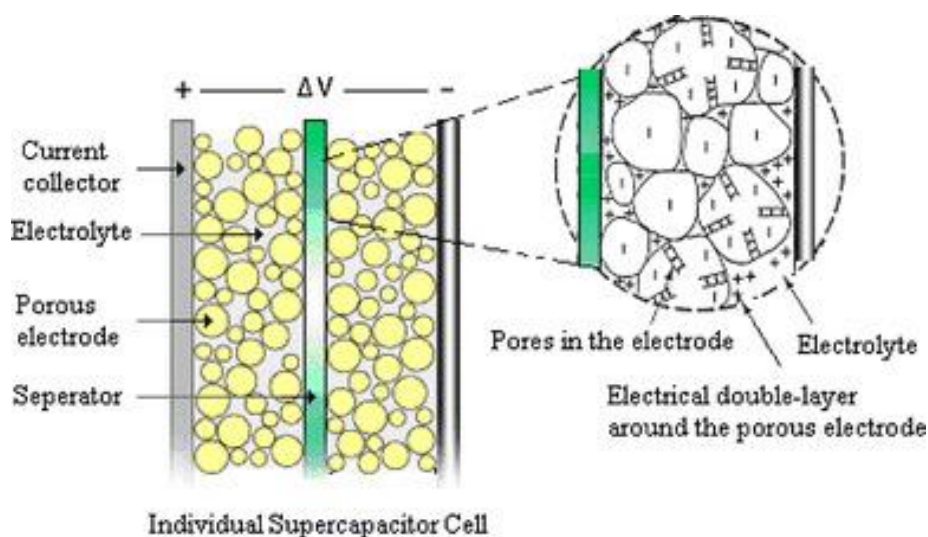
Obrázek 5 - Lithium-iontový akumulátor [22]

2.2 Akumulace energie pomocí elektrického pole.

Kondenzátor je prakticky jediná součástka, která je schopná akumulovat energii přímo v elektrické formě. U všech ostatních typů akumulátorů se energie uchovává v mechanické anebo chemické formě. Jeví se tedy jako nejvýhodnější zdroj pro akumulaci elektrické energie, jelikož není nutné před samotnou akumulací energie tuto energii transformovat do jiné formy. Dnes běžně vyráběný elektrolytický kondenzátor vzhledem k své nízké měrné energii, která se pohybuje kolem hodnoty 0,01 Wh/kg, není pro akumulaci elektrické energie vhodný. V posledních letech se ale intenzivně pracuje na konstrukci superkapacitorů, který má měrnou energii až 100 x vyšší.

2.2.1 Superkapacitor

Princip uchování elektrické energie, který využívá superkapacitor, je znám už od 19. století, kdy jej popsal K. Hemholtz. Jedná se o vytvoření elektrochemické dvouvrstvy po přiložení napětí na elektrody ponořené ve vodivé tekutině. Proto je superkapacitor nazýván i Electrochemical Double Layer Capacitor EDLC (elektrochemický dvouvrstvý kondenzátor). Stejně jako u klasického kondenzátoru je u superkapacitoru energie uchovávána v elektrostatickém poli.



Obrázek 6 - Struktura superkapacitoru [16]

V nenabitém stavu jsou částice s nenulovým nábojem (ionty) rovnoměrně rozloženy ve vodivé tekutině, elektrolytu, nacházejícího se mezi elektrodami. Po přivedení vnějšího napětí se kladně nabitě ionty přesouvají k záporné elektrodě a záporně nabitě

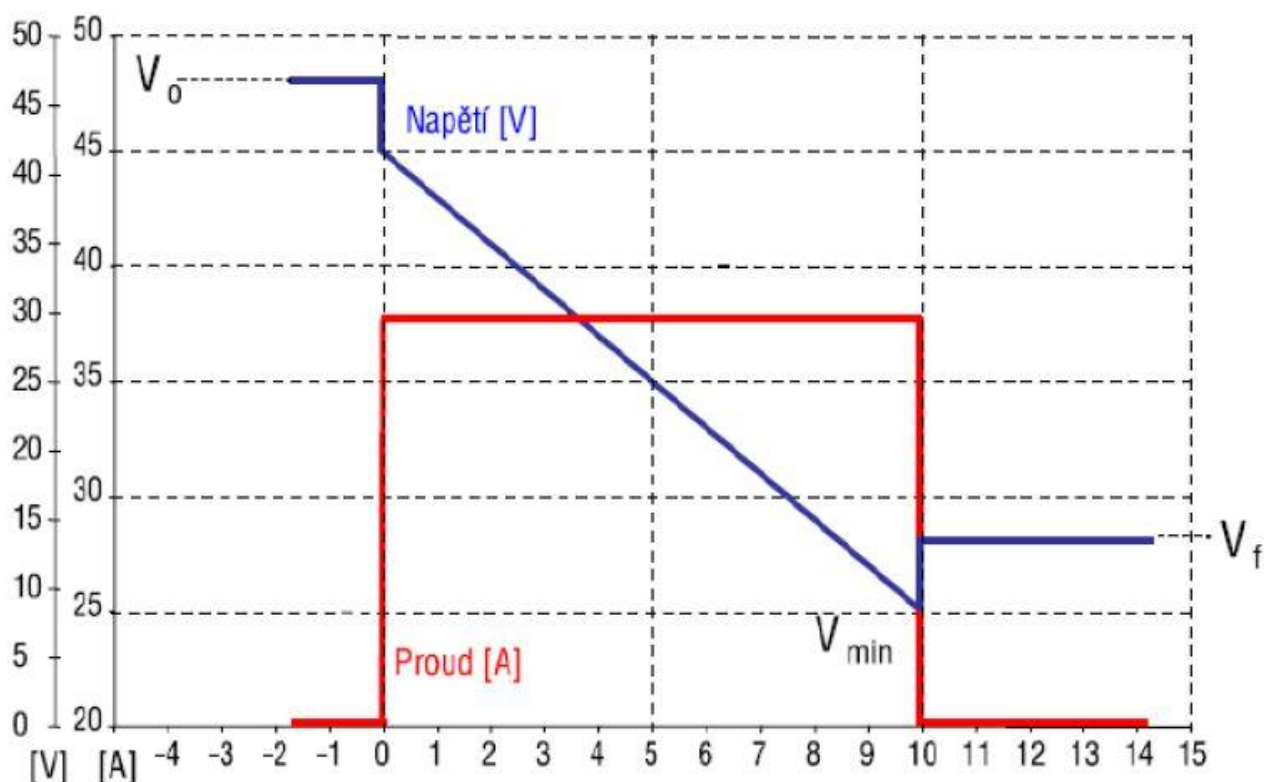
ionty ke kladné elektrodě. Tímto způsobem vznikají dvě vrstvy, na nichž se uskladní elektrický náboj. Tím vzniká velká kapacita superkapacitorů, která může dosahovat i několik tisíc faradů. Použitelné napětí je omezeno hodnotou disociačního napětí. Při jeho překročení dochází k vývinu vzduchu a ke zničení kondenzátoru. U elektrolytu na bázi vody je tato hranice 1,2V, zatímco u elektrolytů na bázi organických rozpouštědel se pohybuje v rozmezí 2-3V. Využitím elektrostatického vázání energie je docíleno, že proces nabíjení a vybíjení je velice rychlý v porovnání například s klasickými bateriemi, a zároveň je možné opakovat tyto procesy až milionkrát. Superkapacitor se jeví jako dva do série zapojené kondenzátory oddělené separátorem (oddělovačem).

Materiálem vhodným pro elektrody je aktivní uhlík z důvodu velké dosažitelnosti plochy skutečného povrchu (vysoká poréznost), elektrické vodivosti, vysoké teplotní stability, odolnosti proti korozi a relativně nízké ceny. Díky tomu lze dosáhnout povrchu elektrody až kolem $3000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ (aktivní plocha se může ještě zvětšit použitím nanomateriálů). Tloušťka elektrické dvojvrstvy se pohybuje kolem 10nm. Díky těmto vlastnostem lze vyrobit superkapacitor s kapacitou v řádu tisíců Faradů. Elektrody superkapacitoru jsou vytvořeny paralelním propojením porézních uhlíkových „plátů“, ponořených ve vysoce vodivém organickém elektrolytu. Elektrické připojení je realizováno spojením uhlíkového plátu s hliníkovou fólií. Jednotlivé elektrody jsou navzájem odděleny tenkými separátory z papíru, polymerů nebo skleněných vláken. Elektrické vlastnosti superkapacitorů jsou zachovány při nízkých teplotách do -40°C a maximální provozní teplotě do 65°C . [8]

V praxi je nutné dodržovat při provozu a údržbě určité zásady vyplývající z vlastností superkapacitorů. Jelikož v této práci je superkapacitor použit jako zdroj energie pro nouzové osvětlení, budou popsány i další poznatky k jejich provozu. Problém nastává zejména při jejich spojování v sériovém řazení do kondenzátorových baterií, které je nutné pro nízké napětí jednoho elementu (cca 2,5V). Na superkapacitorech zapojených do série se napětí rozdělí podle velikosti kapacity jednotlivých článků. Po delší době je napětí na jednotlivých člancích ovlivněno zbytkovým proudem každého z článků. Předpokládejme např. baterii 10-ti superkapacitorů nabitou na 25 V. Pokud články mají shodnou kapacitu, bude každý článek nabitý na 2,5 V. Jestliže mají články různou kapacitu, články s vyšší kapacitou budou nabity na nižší napětí a články s nižší kapacitou na vyšší napětí. Průměrné napětí na člancích bude 2,5 V.

2.2.2 Nabíjení a vybíjení superkapacitorů

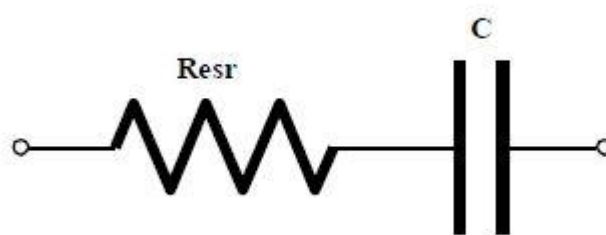
Velikost potřebné kapacity pro napájení nouzového svítidla vychází z vybíjecí charakteristiky superkapacitoru. Vybíjecí průběh je dán napěťovou a proudovou křivkou. Hodnota vnitřní kapacity je negativně ovlivňována vnitřním ekvivalentním odporem. Světelný zdroj bude napájen konstantním proudem o velikosti 350mA. Napětí na kondenzátoru bude snižováno přibližně lineárně v závislosti na aktuální velikosti odebíraného proudu. [8]



Obrázek 7 - Vybíjecí charakteristika superkapacitoru [7]

Charakteristické veličiny při procesu vybíjení superkapacitoru:

- U_0 – počáteční napětí nabitého superkapacitoru
- U_{ESR} – úbytek napětí na vnitřním ekvivalentním odporu
- U_{MIN} – minimální využitelné napětí na superkapacitoru s připojenou zátěží
- U_F – napětí na superkapacitoru 5 sekund po odpojení zátěže
- t_D – doba vybíjení superkapacitoru z napětí U_0 na napětí U_F
- I_C – konstantní vybíjecí proud



Obrázek 8 - Náhradní schéma skutečného superkapacitoru

Průběh vybíjecí charakteristiky můžeme odvodit z náhradního schématu skutečného superkapacitoru. Skutečný superkapacitor je charakterizován dvěma parametry (vnitřní kapacitou a ESR). ESR při procesu vybíjení vyvolává úbytek napětí U_{ESR} , jenž můžeme popsat: [12]:

$$U_{ESR} = \frac{U_F - U_{MIN}}{I_C} = R_{ESR} \cdot I_C \quad [V] \quad (1)$$

Úbytek napětí U_{ESR} snižuje maximální možné využitelné množství energie odebírané ze superkapacitoru dle vzorce: [12]:

$$\Delta W_{max} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot [U_0^2 - (U_{MIN} + U_{ESR})^2] \quad [J] \quad (2)$$

Velikost celkového odporu superkapacitoru závisí na volbě použitého typu, počtu zapojených superkapacitorů dle vztahu: [12]

$$R_{CELK.} = R_{KUS} \frac{R_{SER}}{R_{PAR}} \quad [\Omega] \quad (3)$$

Maximální úbytek napětí U_{ESRMAX} vznikne působením nejvyššího odebíraného proudu ze superkapacitoru, který protéká uzavřeným obvodem samostatného nouzového svítidla při minimálním využitelném napětí na superkapacitoru (U_{MIN}). Ve výpočtu je zohledněná účinnost měniče a přenosu elektrické energie.

V návrhu samostatného nouzového svítidla s autonomním zdrojem bude ekvivalentní sériový odpor zanedbatelný z důvodu minimálního odebíraného pracovního proudu. Tím i úbytek napětí bude menší. [12]

$$U_{ESRMAX} = R_{CELK.} \cdot I_{MAX} \quad [V] \quad (4)$$

$$U_{ESRMAX} = R_{KUS} \cdot \frac{P_{MAX}}{U_{MIN}} \cdot \frac{1}{\eta_{SYS}} \quad [V] \quad (5)$$

2.2.3 Samovybíjení superkapacitorů

Samovybíjení je jev, který se projevuje ztrátovým vybíjením zdroje elektrické energie, i když není na svorkách zdroje přivedena žádná zátěž. Proces samovybíjení snižuje a negativně ovlivňuje životnost superkapacitoru, ale projevuje se také u všech dalších konvenčních akumulátorových článků. Závisí na typu použitého materiálu elektrolytu, stavu aktuálního nabití, hodnoty nabíjecího proudu, okolní teplotě a dalších fyzikálně-chemických faktorech. Skladováním a provozováním superkapacitorů v nižších teplotách jsou snižovány ztráty způsobené samovybíjením.

Klasické elektrolytické kondenzátory jsou vybíjeny tímto ztrátovým jevem velice rychle. Snahou výrobců superkapacitorů je maximalizovat omezení týkající se ztrátového jevu. V současné době používaný technologický postup výroby ovšem proces samovybíjení nevyřešil a hodnoty jsou výrazné oproti konvenčním zdrojům používaných ve svítidlech nouzového osvětlení (NiCd – 15 - 20 % za měsíc, NiMH – 2 - 3% za měsíc).

Za hodinu podle údajů od výrobců ztratí superkapacitor samovybíjením přibližně 3% své akumulované energie. Největší ztráty vznikají ihned po vypnutí napájecího obvodu. [11], [13], [14]

$$\Delta U_{1H} = \frac{V_0 - V_{1H}}{V_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (6)$$

$$\Delta U_{1H} = \frac{2,67 - 2,63}{2,67} \cdot 100 = 1,5 \quad [\%] \quad (7)$$

Pro úbytek naakumulované energie po jedné hodině naprázdno můžeme psát:

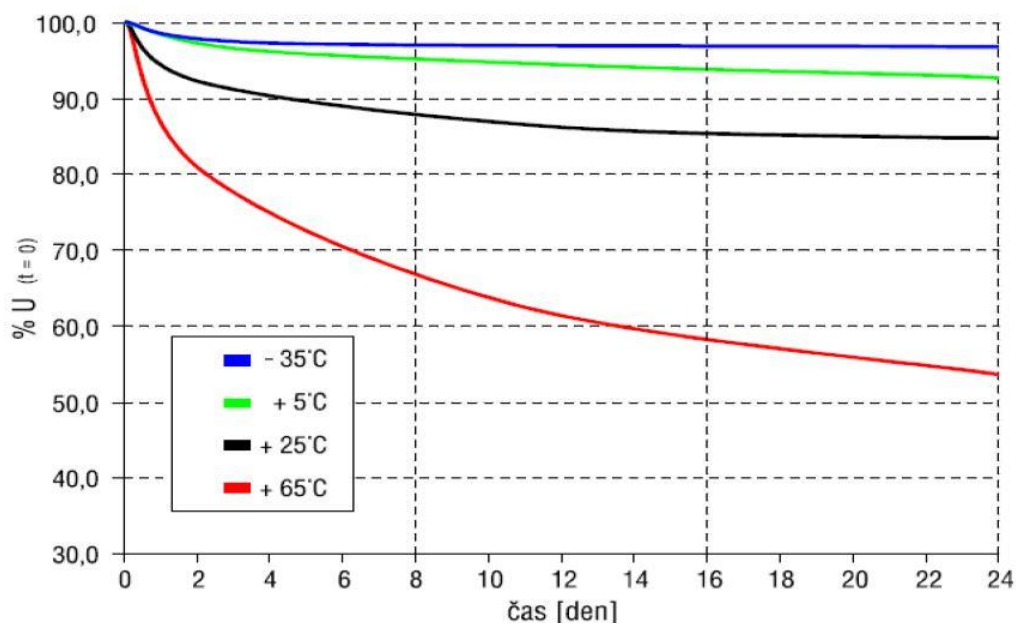
$$\Delta W_{1H} = \frac{W_0 - W_{1H}}{W_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (8)$$

$$\Delta W_{1H} = \frac{2,67^2 - 2,63^2}{2,67^2} \cdot 100 = 2,97 \quad [\%] \quad (9)$$

2.2.3.1 Teplotní závislost samovybíjení superkapacitoru

Samovybíjení je jev ztrátový, který je závislý převážně na teplotě (obecně platí, že čím nižší provozní nebo skladovací teplota, tím pozvolnější je křivka úbytku napětí v závislosti na teplotě). Matematicky můžeme průběh závislosti poklesu napětí na čase popsat přibližně exponenciálně s největším poklesem v prvních fázích procesu samovybíjení. Použitím autonomního záložního zdroje pro nouzové svítidlo (superkapacitor) při uvažované provozní teplotě (kolem 25–30 °C) je proces samovybíjení nezanedbatelný. U samostatného nouzového svítidla s autonomním zdrojem za použití superkapacitoru se ovšem nepředpokládá hluboký stav nabití a vybití, který je dán

aktuálním odběrem a nabíjecím proudem. Předpokládaný průměrný pokles 3% za hodinu neohrozí funkčnost vybíjení záložního zdroje v době nouzového stavu. Nabíjecí obvod superkapacitoru v případě výraznějšího poklesu automaticky začne dobíjet energetickou ztrátu způsobenou samovybíjením. [7],



Obrázek 9 - Teplotní závislost samovybíjení superkapacitoru [7]

2.2.4 Spojování Superkapacitorů

Spojování superkapacitorů má skoro stejné zásady jako propojování všech zdrojů velkých proudů. Je tedy nutné zajistit malý elektrický odpor všech vodivých spojení a dobrou mechanickou pevnost spojů, která odolá mechanickým otřesům a popřípadě i tepelné roztažnosti. [16]

Při spojování superkapacitorů je třeba dodržovat tyto zásady: [16]

- Nízký odpor spojů: Povrch spojovaných dílů musí být čistý, šroubové spoje utaženy, kontaktní plocha by měla být co největší.
- Ošetření povrchu spojů: Oxidace má negativní vliv na odpor spojů, proto se doporučuje spoje ošetřit elektrickou vodivou pastou.

- Tepelná roztažnost: Při spojení materiálu s různou tepelnou roztažností, může dojít k povolení spojů, a tudíž dochází k následnému zvětšování elektrického odporu, zvětšení ohřívání a tím dochází k zhoršení parametrů superkapacitoru.
- Plocha propojovacích vodičů: plocha propojovacích vodičů musí být navržena na největší očekávané proudy s koeficientem bezpečnosti 1,5. Takto jsou spoje dimenzovány i proti případnému zkratu.
- Elektrická izolace: fólie, kterou je opatřen povrch superkapacitorů, nemusí být dostatečnou elektrickou izolací při montáži do bloků a musí být navržena přídavná izolace mezi jednotlivými superkapacitory a nebo mezi blokem a montážní konstrukcí. Materiál a tloušťka izolace musí být navržena s ohledem na pracovní napětí bloku superkapacitorů.
- Galvanická koroze spojů: pro spojování superkapacitorů se doporučuje zvolit materiál s co nejmenší galvanickou aktivitou proti hliníku, jelikož dochází ke korozi vlivem různých elektrochemických potenciálů obou materiálů.
- Mechanické namáhání: spoje a celá konstrukce musí být navržena tak, aby dokázala minimalizovat případné mechanické namáhání od různých nárazů a chvění, nebo aby se zabránilo poškození izolace.
- Tepelná ochrana: správná teplota pro obvyklou funkčnost superkapacitoru by se měla pohybovat v rozmezí -40°C až 60°C , proto je nutné v některých případech přidat chladicí zařízení, které bude odvádět teplo do okolí. Používáním superkapacitorů při nižších teplotách se dosáhne delší životnosti. Provozní teplota by však neměla klesnout pod -40°C . Dochází k mrznutí elektrolytu.
- Dodržování bezpečnosti: jako při všech elektrických měřeních je třeba dodržovat bezpečnost úměrnou hodnotám používaných napětí. Všechny elektrické vodiče musí být dimenzovány na očekávané hodnoty proudu a izolovány na používaná napětí. Při dlouhodobých testech by měl být superkapacitor ochlazován, aby jeho teplota nepřesáhla dovolenou pracovní teplotu



Obrázek 10 - Spojování superkapacitorů [7]

2.2.5 Vliv vlhkosti na životnost superkapacitoru

Supercapacitor je schopen fungovat i při poměrně velké vlhkosti, je ovšem nutné zabezpečit, že nedojde během provozu superkapacitoru ke kondenzaci par. Supercapacitory jsou během přepravy skladovány ve vakuových kontejnerech. Důsledkem toho je, že se na kontaktech superkapacitorů nevytváří koroze. [11].

2.2.6 Vliv tlaku na parametry superkapacitoru

Při vystaveném mírnému podtlaku se o žádný problém nejedná, protože nedochází k žádným negativním účinkům tlaku nižšího než atmosférického na funkci superkapacitoru. Tlak vyšší než atmosférický se ovšem projevuje negativně a to v podobě deformace nanostruktur u elektrod. V některých případech mohou být poničeny supercapacitory jako celek [11].

2.2.7 Polarita superkapacitoru

Jak již bylo zmíněno, obě elektrody superkapacitorů jsou vyrobeny ze stejného materiálu. Svorčky jsou tudíž v jistém ohledu zaměnitelné. Každý výrobce už při výrobě rozliší polaritu svorek, proto by se měl brát ohled na polarizaci, kterou vyznačil výrobce. Po přepólování superkapacitoru nedochází k jeho zničení nebo dokonce výbuchu. Výkon a životnost superkapacitoru se ale snižuje. [11]

3 LED

Název odvozen s názvu Light Emitting Diode, což v překladu znamená dioda, která vyzařuje optické záření. Využívá princip elektroluminiscence, při které PN přechodem je vyzařováno optické záření. Přiložením napětí v propustném směru dochází k injekci minoritních nosičů elektrického náboje přes PN přechod. Dochází k rekombinaci elektronů s dírami a vlivem přiloženého elektrického pole přešly elektrony na vyšší energetickou hladinu. Elektron zůstává na vyšší hladině různě dlouho, podle toho jak stabilní bude jeho stav. Po této době tuto hladinu opustí a vyzaří elektromagnetické kvantum. Hovoříme o spontánní emisi záření.

Rekombinace jsou pochody, kdy volné elektrony ztrácejí energii a dostávají se na oběžné dráhy atomů. Rekombinuje-li elektron s dírou, odevzdává atom energii zhruba rovnou šířce zakázaného pásu. Při každé rekombinaci se uvolní určité kvantum energie. Vlnová délka energie ve formě fotonu je dána rozdílem energií nosiče elektrického náboje před a po rekombinaci. Čím větší je tato energie, tím má vyzařovaný světelný paprsek kratší vlnovou délku. Pravděpodobnost zářivé rekombinace roste se zvětšující se šířkou zakázaného pásu. Například u křemíku se šířkou zakázaného pásu 1,1 eV je uvolňovaná energie převážně absorbovaná v krystalu, ze kterého je odváděna přes pouzdro diody do okolního prostředí. Dioda vyrobená z GaAs, který má již šířku zakázaného pásu 1,34 eV, bude již určitá část energie rekombinace vyzařena ve formě fotonů o příslušné vlnové délce, která však ještě spadá do oblasti infračerveného záření. Při kombinaci tohoto materiálu s fosforem získáme již materiál GaAsP, který, je-li z něj vytvořen PN přechod, vyzařuje již červené viditelné záření. [17]

Energie fotonů emitovaných z polovodiče je rovna rozdílu energií vodivostního a valenčního pásu,

$$E_g \approx E_c - E_v \approx h \quad [\text{eV}] \quad (10)$$

kde h je Planckova konstanta. Tato energie je též nazývána zakázaný pás (*angl. band gap*), a v mnoha publikacích se setkáme i se značením W_g . Vztah odvodil Albert Einstein. V ideální diodě by tento vztah znamenal, že každý elektron injektovaný do aktivní oblasti generuje foton.



Obrázek 11 - Pásový model: a) izolant b) polovodič c) monovalentní kov d) bivalentní kov [23]

Zákon o zachování energie proto vyžaduje, aby energie, se kterou byl elektron injektován, byla rovna energii fotonu. Tento stav je popsán rovnicí,

$$eU = h\nu \quad (11)$$

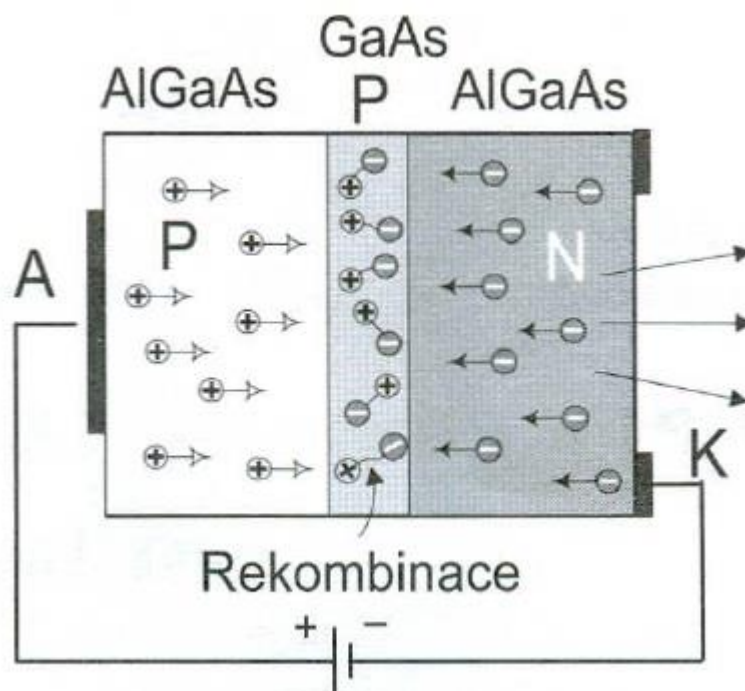
kde součin eU je energie pole (e značí elektrický náboj, U značí přiložené napětí, resp. rozdíl potenciálů). Existuje zde několik příčin, které mohou změnit tento ideální stav. Distribuce volných nosičů náboje v PN přechodech z homogenního materiálu závisí na difuzní konstantě samotných nosičů. Tuto konstantu není jednoduché změřit. Mnohem častější je měření hybnosti volných nosičů. Difuzní konstanta může být odvozena z hybnosti nosičů Einsteinovým vztahem: [17]

$$D_n = \frac{kT}{e} \mu_n \quad a \quad D_p = \frac{kT}{e} \mu_p \quad (12);(13)$$

kde D_n a D_p jsou difuzní konstanty elektronů a děr, je Boltzmannova konstanta, T je termodynamická teplota, μ_n a μ_p jsou hybnosti elektronů a děr. Střední vzdálenost minoritního nosiče difundovaného před rekombinací se nazývá difuzní délka. Elektrony injektované do oblasti typu p budou difundovat s difuzní délkou L_n , dokud nedojde k rekombinaci s dírami. Difuzní délka je popsána vzorcí: [17]

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n} \quad a \quad L_p = \sqrt{D_p \tau_p} \quad (14);(15)$$

τ značí dobu života elektronů a děr. V typických polovodičích jsou difuzní délky v jednotkách až desítkách mikrometrů. Například difuzní délka elektronů v polovodiči typu P u arzenidu galitého (*GaAs*) je přibližně 15 μ m. Princip pohybu polovodičů je lépe patrný z obrázku.



Obrázek 12 - PN přechod [17]

Energie E_g je pro různé polovodiče odlišná. Je to dáno tím, že pro emitování vlnových délek o vyšších frekvencích je nutné dodat i vyšší energie, aby byla překonána bariéra nutná k uskutečnění difúze nosičů.

3.1 Barva světelného paprsku [17]

Diody LED mohou vyzařovat paprsky v různých vlnových délkách, v infračervené, ve viditelné nebo ultrafialové oblasti. Barvu vyzařovaného optického záření určuje použitý materiál. LED diody vyrobené na bázi sloučeniny $\text{GaAs}_{0,35}\text{P}_{0,65}$ mají energie zakázaného pásu 1,95 eV a svítí červeně, diody $\text{GaAs}_{0,15}\text{P}_{0,85}$ mají energii zakázaného pásu 2,1 eV a svítí žlutě. Nejčastěji používané materiály k výrobě LED diod jsou sloučeniny prvků III. a V. skupiny periodické soustavy prvků, například GaP, GaAsP, GaAlAs, GaN, SiC apod., používané pro vytvoření různých barev emitovaného světelného záření. Barva LED se

často udává v nm, což je jednotka pro vlnovou délku λ . Barvu LED určíme ze spektrální charakteristiky, která udává poměrnou svítivost diody v závislosti na vlnové délce. Šířku spektra udáváme pro poměrnou svítivost 0,5 (50% maximální svítivosti).

3.2 Bílé LED [17]

Pro osvětlovací techniku je i v nouzovém osvětlení v dnešní době ve velké míře používána LED dioda vyzařující bílé světlo. Nejčastějším způsobem realizace bílé LED je hlavně z cenových důvodů kombinace modré LED a luminoforu. Podle použitého druhu luminoforu může mít optické záření odstín od nažloutlé po namodralou barvu. Generování bílého optického záření může probíhat dvěma způsoby:

Využitím více barev LED:

- Modrá a žlutá LED
- Modrá, zelená a červená LED
- Modrá, zelená, žlutá a červená LED

Bílé diody jsou nejmladším typem diod, v dnešní době však nejvíce využívané pro světelné zdroje a svítidla.

Kombinací LED a luminoforu:

Dnes již běžnější metoda pro své uspořádání, jednoduchost a v dnešní době i nižší cenou. Nejčastěji používané kombinace jsou:

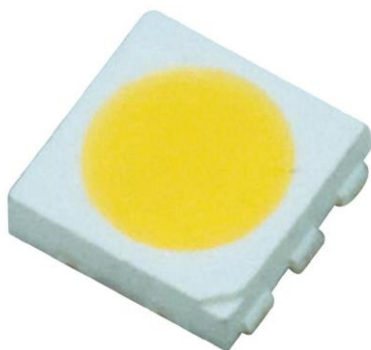
- Modrá LED a žlutý luminofor
- UV LED a červený, zelený nebo modrý luminofor
- Kombinace modré a červené případně jiných barev s luminoforem

3.3 Svítivost LED [17]

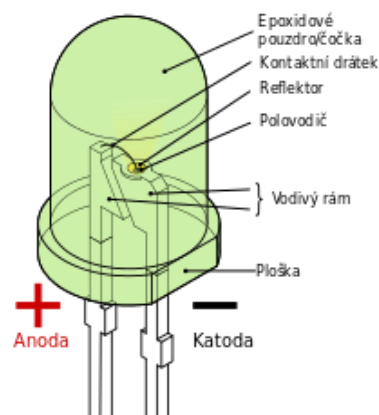
Svítivost LED diod je závislá na mnoha faktorech jako jsou například provedení čipu, typ PN přechodu, použitý materiál diod a pouzdra a je dán pro určitý proud procházející diodou v přímém směru. Svítivost se většinou udává pro proud $I_F = 20\text{mA}$. Standardní LED mají svítivost v rozsahu 3-30 mcd/10mA, LED se zvýšenou svítivostí v rozsahu 100 – 1000 mcd/20mA a tzv. supersvítivé LED dosahují svítivosti větší než 1000 mcd/20mA. Údaje ve jmenovateli (mA) určují proud diodou pro daný údaj svítivosti.

3.4 Konstrukční uspořádání LED [17]

LED diody jsou standardně vyráběny ve dvou provedeních, klasickém a SMD provedení s čířým nebo difúzním pouzdrém v různých rozměrech. Konstrukčně představují LED součástku, v níž je kontaktovaný čip (nebo kombinace čipů) zastříknut materiálem s požadovanými optickými vlastnostmi (LED se vyrábějí v bodovém či rozptylném provedení, s různým vyzařovacím úhlem). Kontakty mohou být provedeny pro povrchovou montáž (SMD) nebo ve tvaru ohebných či poddajných přívodů. Takovým diodám se taktéž někdy říká diody LED s „drátovými“ vývody nebo též standardní diody. Sestavy více diod LED, které jsou zapouzdřeny společně, mohou mít samostatně vyveden každý čip, společnou anodu či katodu nebo jiný systém kontaktování dle zamýšleného užití (například dvojbarevné diody).



Obrázek 13 - SMD LED dioda [24]



Obrázek 14 - Klasické provedení LED diody [24]

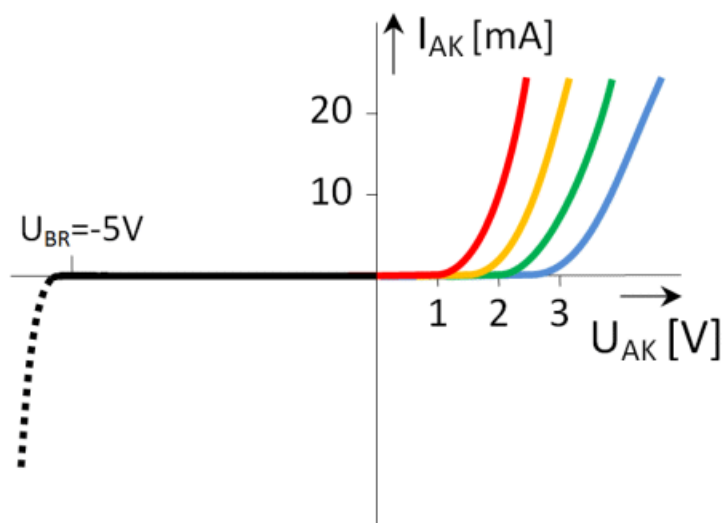
3.5 Důležité parametry LED [17]

- I_F propustný proud stejnosměrný – trvalý proud, při kterém dioda emituje optické záření
- I_{FM} propustný proud špičkový – maximální velikost propustného proudu je omezena na hodnotu I_{FM} , aby nedocházelo ke zvyšování tepla průchodem proudu.

- U_R napětí v závěrném směru – při konstrukci LED není sledována velikost povoleného závěrného napětí U_{Rmax} . Toto napětí může nabývat hodnot i více než deseti voltů. Proto se doporučuje při $U_R > 3$ V použít ochranný obvod.
- P_m výkonová ztráta – při zvýšení teploty dochází ke zvýšení teploty a zmenšení spolehlivosti diody
- T_{OPR} rozsah provozních teplot – rozsah teplot, při kterých dioda pracuje při zaručených hodnotách I_F
- I_R závěrný proud – proud protékající po přiložení závěrného napětí
- I_V svítivost – intenzita optického záření v mcd
- λ vlnová délka – hodnota, při které vykazuje dioda největší intenzitu záření.

3.6 V-A charakteristika LED [17]

Průběh charakteristiky LED diody odpovídá průběhu klasické diody, ale s rozdílem napětí mezi anodou a katodou U_F v propustném směru. Protože u diody je napětí logaritmičticky vztaženo k proudu, lze toto napětí, ve kterém LED pracuje, považovat za konstantní. Tedy se dá říct, že je spotřebovaná energie prakticky jen funkcí proudu. Pokud chceme zajistit stálý odběr energie s ohledem na různé charakteristiky napájení a LED, tak bychom měli použít pro napájení diod proudový zdroj. Pokud nevyžadujeme vysokou účinnost zapojení (například u různých indikátorů), můžeme se přiblížit proudovému zdroji tím, že připojíme LED v sérii s rezistorem omezujícím protékající proud ke zdroji stálého napětí (v tomto případě změny napětí vyvolají menší změny proudu). Tento způsob je běžně používán. Většina LED má navíc nízké průrazné napětí, takže mohou být zničeny přiložením závěrného napětí i o výši jen několika voltů. Protože někteří výrobci nedodržují standardy označení uvedené výše, tak by mělo být v katalogovém listu vždy uvedeno, jak je to se zapojením konkrétního typu diody.

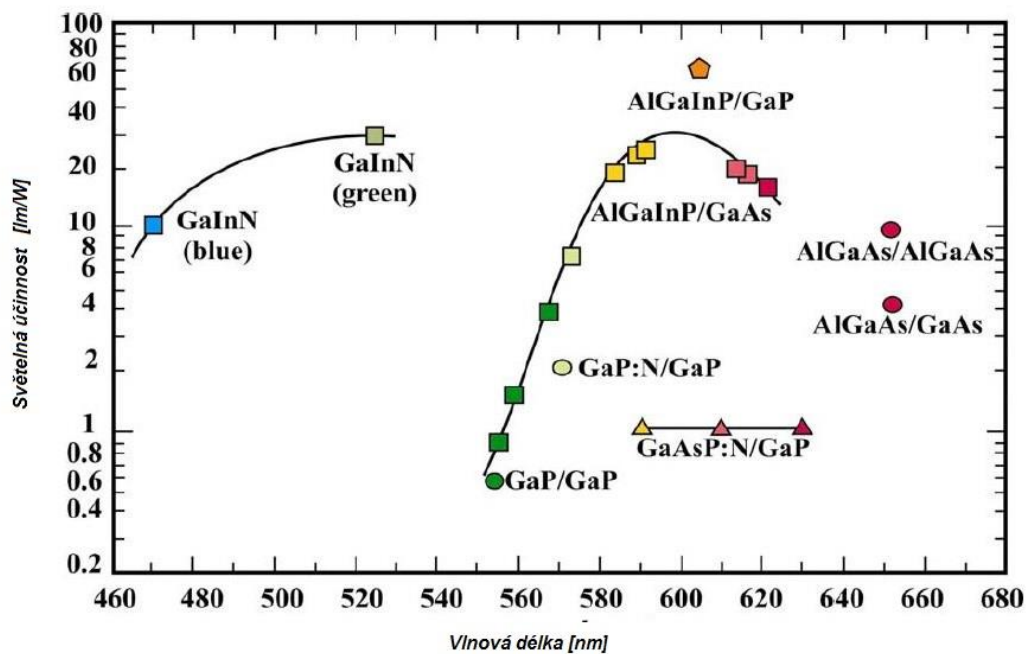


Obrázek 15 - V-A charakteristika pro zvolené barvy LED diod [17]

K regulaci jasu LED je možné použít jednoduchý regulátor s tranzistorem, až po trochu složitější pulzně šířkový modulátor (PWM). LED diodou protékají krátkodobé impulzy proudu. Tyto impulzy se přivádějí v daleko vyšší frekvenci, než je lidské oko schopné zachytit, takže LED vypadá jako by svítila trvale. Změnou třídy pak měníme jas. Pokud máme dostatečně velké napětí, můžeme propojit několik LED do série pouze s jedním omezujícím rezistorem. Paralelní zapojení se obvykle nepoužívá. LED musí být stejného typu, aby měly co nejpodobnější prahové napětí. LED diody skoro nelze použít k usměrňování, protože mají malé závěrné napětí i malý propustný proud. Každá svítivá dioda má stanovený maximální proud, který se nesmí překročit, jinak by se mohla zničit. Zde se tedy opět uplatní sériový odpor jako faktor omezující proud. Červená LED má menší napětí U_F než modrá LED nebo zelená LED. Velikost napětí U_F v propustném směru je závislá na použitém materiálu diody, na její konstrukci, na proudu I_F a na teplotě okolí. Se zvyšující teplotou velikost napětí U_F klesá. Závislost U_F na barvě diody a použitém materiálu je zřejmá z tabulky č. 1. Bílá barva zahrnuje všechny vlnové délky z viditelného spektra barev, neurčuje se u ní vlnová délka, ale barevná teplota v kelvinech.

Tabulka 1 - Materiál LED diod

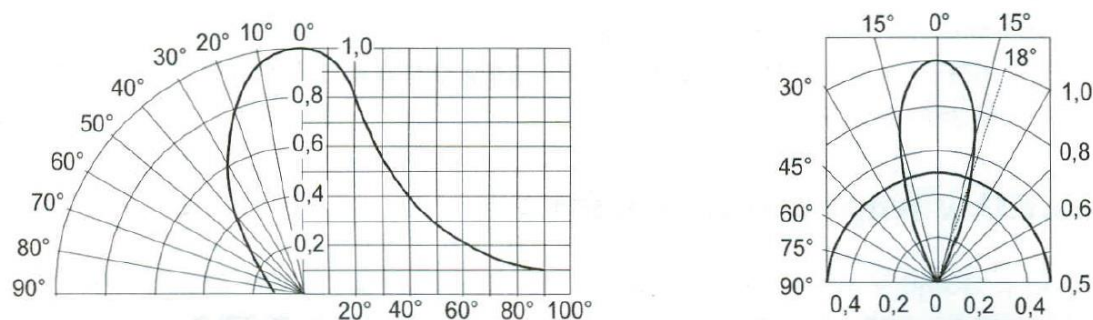
Vlnová délka λ [nm]	Barva	UF [V] při IF=20mA	Svítivost při IF=20mA [mcd]	Materiál LED
940	infračervená	1,5		GaAlAs/GaAs
880	infračervená	1,7		GaAlAs/GaAs
660	červená	1,8	200	GaAlAs/GaAs
633	červená	2	3500	InGaAlP
612	oranžová	2,2	6500	InGaAlP
592	žlutá	2,2	7000	InGaAlP
585	žlutá	2,1	100	GaAsP/GaP
555	zelená	2,1	80	GaP
525	zelená	3,5	10000	SiC/GaN
470	modrá	3,6	3000	SiC/GaN
4500 K	bílá	3,6	2000	SiC/GaN
8000 K	bílá	3,6	6000	SiC/GaN



Obrázek 16 - Materiál LED diod pro různé barvy emitovaného světla [24]

3.7 Vyzařovací charakteristika LED [17]

Podle konstrukčního uspořádání LED diody a provedení jejího pouzdra může mít vyzařovací charakteristika diody různou šířku a různý tvar. Vyzařovací charakteristika vyjadřuje, jak se v závislosti na odchylce od osy diody mění relativní svítivost diody. Největší hodnota relativní svítivosti je 1. U dnes používaných LED pro osvětlovací techniku můžou použité LED diody dosahovat vyzařovacího úhlu 30° až 120° a umí tak v kombinaci s odrazovou plochou svítidla vytvořit jak bodové, tak i prostorové osvětlení. Křivku svítivosti lze popsat způsob a intenzitu vyzařování zdroje. Na způsob vyzařování do prostoru má značný vliv použití optických prvků, např. čoček nebo difuzorů.



Obrázek 17 - Vyzařovací charakteristika LED diod [17]

3.8 Vliv teploty na diody LED [17]

Rostoucí teplota PN přechodu resp. chipu LED totiž způsobuje nižší světelný tok LED diod a urychluje degradaci samotného chipu. Maximální přípustná teplota chipu LED by měla být uvedena v každém katalogovém listu daného produktu. Tato teplota je ovlivněna třemi parametry:

- teplotou okolí v bezprostřední blízkosti LED
- tepelnou cestou (tepelný odpor) mezi PN přechodem a vnějším okolím
- množstvím energie, kterou dioda LED nevyzáří v podobě světla

Aby se zabránilo překročení maximálních přípustných provozních teplot, je nutné navrhnout takový systém, který je schopen odvést přebytečné teplo. U diod LED se stejně jako u ostatních polovodičových součástek využívá různých chladících zařízení. V drtivé

většině případů se užívá pasivní způsob chlazení. U diod LED s vlastní spotřebou v řádech miliwattů není nutné mít chladicí systém, protože diody se dokáží uchladiť sami. Ovšem diod power LED je již odvod tepla důležitý, protože spotřebovávaný výkon je již v řádech wattů.

4 Normativní požadavky na činnost nouzového osvětlení

Již dlouho existuje povinnost zřizovat nouzové osvětlení v prostorách, jako jsou například kina, divadla a jiné prostory s vysokým výskytem osob. Tato povinnost se později rozšířila i na objekty jako jsou administrativní objekty, nákupní centra, ale i výrobní podniky a další. Jedná se tedy o prostory charakterizované velkou koncentrací lidí a ne zcela jednoduchými podmínkami pro únik. Jsou to právě únikové cesty, kde dochází k největší koncentraci osob v případě evakuace objektu. Nejdramatičtějším důvodem evakuace objektu bývá požár, který bývá spojen s výpadkem normálního osvětlení. Pokud nejsou při výpadku normálního osvětlení únikové cesty dostatečně osvětleny, může docházet k dezorientaci unikajících osob, vzniku paniky, jejichž důsledkem mohou být různá zranění, nebo i ztráty na životech. Proto je důležité, aby při výpadku normálního osvětlení bylo bezchybně funkční nouzové osvětlení. [19]

4.1 Nouzové osvětlení

Nouzovým osvětlením se rozumí osvětlení, které se zřizuje pro případy selhání normálního osvětlení. Hlavním účelem nouzového osvětlení je umožnit bezpečný odchod z daného prostoru při výpadku normálního osvětlení. Důvody selhání normálního osvětlení jsou různá, od požáru, přes výpadek napájecí sítě až po zapůsobení prvku ochrany. Proto je nezbytné nutné realizovat napájení nouzového osvětlení z jiného zdroje než je ten, který napájí normální osvětlení.

4.1.1 Rozdělení nouzového osvětlení.

- Náhradní osvětlení

Funguje jako přímá náhrada normálního osvětlení. Umožňuje pokračování v běžné činnosti. Zásadním problémem je dodávka dostatečného množství energie s jiného zdroje přiměřeného výkonu, než je zdroj pro normální osvětlení.

- Nouzové osvětlení únikových cest

Jeho účelem je poskytnout při výpadku normálního osvětlení bezpečný odchod z daných prostor tím, že se jim poskytnou vhodné světelné podmínky a zároveň se určí

směr úniku. Na vhodných místech se tímto osvětlením též zajistí snadné dosažení a použití protipožárních a bezpečnostních zařízení.

- Protipanicové osvětlení

Jeho účelem je omezit nebezpečí paniky a umožnit unikajícím osobám bezpečný pohyb směrem k únikovým cestám. Je používáno hlavně v halách a v prostorech s podlahovou plochou větší než 60m², nebo v menších prostorech s přídatným rizikem, jako je velké množství lidí. Směr světla na únikových cestách a ve veřejných prostorech má být dolů k pracovní rovině, osvětleny však mají být i všechny překážky do výšky 2m nad touto plochou.

- Osvětlení prostorů s velkým rizikem.

Jeho účelem je zajistit bezpečnost lidí při potenciálně nebezpečných procesech nebo situacích a umožnit jim řádné ukončení činností uskutečňovaných pro bezpečnost ostatních uživatelů těchto prostorů. [19]

4.2 Požadavky normy ČSN EN 1838 na nouzové osvětlení

Základní normou týkající se nouzového osvětlení je norma ČSN EN 1838, která stanovuje požadavky na nouzové osvětlení a předpokládá použití tomu účelu určených svítidel. Tato svítidla musí splňovat obecné normativní požadavky, jako i požadavky normy ČSN EN 60598-2-22.

Svítidla nouzového osvětlení splňující požadavky ČSN EN 60598-2-22, musí být podle ČSN EN 1838 umístěna tak, aby zajišťovala dostatečnou osvětlenost v blízkosti všech únikových dveří a v místech, kde se musí zdůraznit možné nebezpečí, nebo zdůraznit bezpečnostní zařízení. Jedná se hlavně o: [19]

1. Dveře určené pro nouzový východ
2. Schodiště
3. Změna úrovně
4. Nařízené únikové východy a bezpečnostní značky
5. Změna směru
6. Křížení chodeb
7. Východ na volné prostranství
8. Místo první pomoci
9. Hasící prostředek a požární hlásič

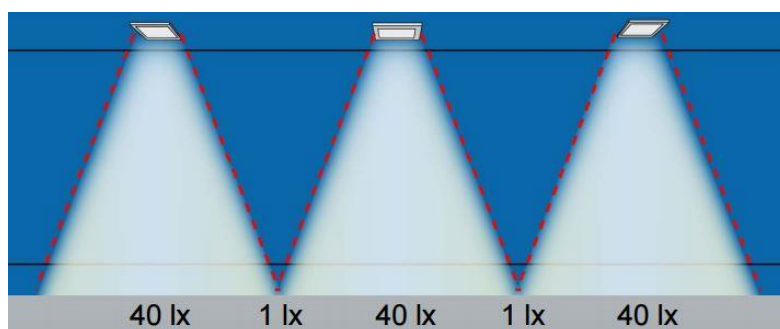
Nouzové svítidlo musí být umístěné blíže než 2m od uvedených míst. Pokud místa první pomoci nebo hasicí zařízení nejsou přímo na únikové cestě nebo v prostoru s intenzivnějším protipanickým osvětlením, musí být osvětlena minimálně intenzitou 5lx na úrovni podlahy.



Obrázek 18- Vybrané prostory podle EN 1838 pro instalaci nouzového osvětlení [18]

4.3 Požadavky na světelně technické charakteristiky nouzového osvětlení.

Podle ČSN EN 1838 platí, že pro únikové cesty do šířky 2m nesmí horizontální osvětlenost na podlaze v ose únikové cesty klesnout pod 1lx. Zároveň středový pás široký alespoň polovinu šíře únikové cesty musí být osvětlen minimálně na 50 % této hodnoty. Širší únikové cesty jsou uvažovány jako více 2 m širokých pásů, nebo mohou být opatřeny protipanickým osvětlením. Podíl maximální a minimální osvětlenosti podél únikové cesty nesmí být větší než 40:1. [1]



Obrázek 19 - Minimální osvětlenost podél únikové cesty [18]

ČSN EN 1838 určuje minimální dobu svícení únikového osvětlení na 1 hodinu (doba funkčnosti pro jednotlivé prostory je za podmínek požárů různá). Nouzové osvětlení únikových cest musí dosáhnout 50% požadované osvětlenosti do 5 sekund a plné

požadované osvětlenosti do 60 sekund.

V prostorech s velkým rizikem (prostory s potencionálně nebezpečnými procesy) se u nouzového osvětlení požaduje: [1]

1. Udržení osvětlenosti na srovnávací rovině nejméně 10% požadované udržované osvětlenosti pro danou činnost, přitom však nejméně 15lx.
2. Rovnoměrnost nouzového osvětlení alespoň 0,1
3. Minimální doba svícení musí být rovna době trvání nebezpečí
4. Poskytnutí požadované osvětlenosti při výpadku normálního osvětlení bez přerušení nebo do 0,5s.

4.3.1 Bezpečnostní značky

Bezpečnostní značky jsou nedílnou součástí bezpečnostního informačního systému. Prostřednictvím normalizovaných piktogramů a barev poskytují sdělení bezpečnostních informací. Právním předpisem stanovujícím jejich vzhled a umístění je nařízení vlády č. 11/2002 Sb. a normativní úpravy obsažené v souboru norem, z nichž nejdůležitější jsou ISO 3864 a ISO 3864-1. Strategickým umístěním bezpečnostních značek lze velmi účinně zmírnit pocity úzkosti a zmatku vyvolané přítomným anebo hrozícím nebezpečím. Značky musí být osvětleny a umístěny na všech východech a podél únikových cest, tak aby jednoznačně ukazovaly cestu úniku k bezpečnému místu. Osvětlení bezpečnostních značek musí vyhovovat EN 1838. [1]



Obrázek 20 - Bezpečnostní značka - směr úniku [18]

4.3.2 Svítidla pro nouzové osvětlení

Na svítidla se vztahuje norma EN 60598-2-22, která definuje požadavky a parametry svítidel pro nouzové osvětlení. Norma rozlišuje typy nouzových svítidel: [19]

1. Svítidlo pro trvalé nouzové osvětlení – má světelné zdroje pro nouzové osvětlení v činnosti po celou dobu, po kterou je potřebné normální nebo nouzové osvětlení
2. Svítidlo pro dočasné nouzové osvětlení – má světelné zdroje pro nouzové osvětlení v činnosti pouze když je přerušeno normální napájení.
3. Kombinované svítidlo pro nouzové osvětlení – má dva anebo více světelných zdrojů, ze kterých je alespoň jeden v činnosti při nouzovém osvětlení a ostatní jsou v činnosti při normálním napájení. Kombinované svítidlo se vyrábí pro trvalé nebo dočasné nouzové osvětlení.
4. Samostatné svítidlo pro nouzové osvětlení – má všechny součásti jako je baterie, světelný zdroj, ovládací jednotky, zkušební a monitorovací zařízení.



Obrázek 21 – Nouzové svítidlo Formula 65 LED [25]

4.4 Napájení nouzového osvětlení

Požadavky na napájení nouzového osvětlení jsou obsaženy v ČSN 33 2000-5-56, která platí pro zařízení sloužící pro bezpečnostní účely, mimo jiné tedy i pro napájení nouzového únikového osvětlení. Systémy nouzového únikového osvětlení mohou být napájeny: [19]

- Z centrálního napájecího systému
- Z nouzových svítidel s autonomním zdrojem elektrické energie

4.4.1 Centrální napájecí systém [5]

Centrální napájecí systém je systém, jenž v případě nouzového provozu svítidel poskytuje požadovanou energii těmto svítidlům, aniž by omezoval jejich výstupní výkon.

Centrální napájecí systém musí vyhovět požadavkům ČSN EN 50171. K tomu, aby se vyhovělo různým požadavkům a výkonům osvětlovacích soustav, jsou třeba různé typy centrálních napájecích systémů.

Pro systémy napájející nouzové osvětlení z centrálního napájecího systému platí:

1. V případě požáru zachovávají napájení od zdroje napětí ke svítidlům po požadovanou dobu (použitím kabelů s odolností vůči účinkům požáru nebo kabelů s funkčností při požáru)
2. Uvnitř požárního úseku se musí pro napájení svítidel používat kabely s vysokou odolností proti požáru nebo kabelů s funkční schopností při požáru, což závisí na druhu prostoru ve kterém jsou svítidla umístěná. Tyto prostory vymezuje řada norem ČSN 73 08...
3. Pokud je nouzové osvětlení napájeno z oddělených obvodů, musí být nadproudové ochranné přístroje navrženy tak, aby přerušily napájení pouze jednoho obvodu a nepřerušily napájení sousedních svítidel v požárním prostoru nebo svítidel v sousedních prostorech
4. Z koncového obvodu smí být napájeno maximálně 20 svítidel, přitom jejich celkové zatížení nesmí převýšit 60 % jmenovitého proudu nadproudového ochranného prvku
5. Žádné přístroje pro rozvod, řízení nebo ochranu nesmí narušit celistvost obvodu

4.4.1.1 Nezajištěný a zajištěný způsob napájení. [5]

- **Nezajištěný způsobu napájení** – uskutečňuje se pomocí přepínacího provozu centrálního napájecího systému. Nouzové osvětlení se aktivuje automaticky při selhání normálního osvětlení. Pokud je opětovně obnoveno normální napájení, musí se nouzové osvětlení v nezajištěném provozu automaticky vypnout.
- **Přepínací provoz** - při němž je nouzové osvětlení napájeno přímo ze systému. Pokud se napětí zátěže liší od napětí systému, použijeme k přizpůsobení napětí oddělovací transformátor. Jestliže selže přívod energie, přepne hlídač napětí napájení na baterii. Řízené nabíječe baterií zajišťují jejich nabíjení a trvalé dobíjení.

Řídicí a sběrníkové systémy pro nouzové osvětlení musí být nezávislé na řídicích a

sběrníkových systémech normálního osvětlení. Propojení těchto dvou systémů se dovoluje pouze, pokud je použito rozhraní, které zajistí rozpojení/odpojení obou systémů od sebe. Porucha v řídicím a sběrníkovém systému pro normální osvětlení nesmí mít na funkci nouzového osvětlení žádný vliv.

4.4.1.2 Nabíječe baterií a usměrňovače [5]

Nabíječe a usměrňovače musí být konstruovány a zkoušeny podle EN 60146-1-1 a EN 50272-2. Nabíječe baterií musí automaticky nabíjet baterie po jejich vybití tak, aby tyto baterie byly schopné provozu po dobu 80% své stanovené doby do 12 hodin od zahájení nabíjení. V případě nepřerušovaného provozu, kdy je zátěž napájena z nabíječe, musí jmenovitý výstupní proud odpovídat minimálně 110% součtu jmenovitých proudů dodávaných zátěží a proudu dodávaného do baterie. Nabíječe baterií musí být navrženy tak, aby poskytovaly svůj jmenovitý výkon pro rozsah teplot okolí, jestliže pracují při síťovém napájecím napětí. Pokud výrobce baterií požaduje automatickou kompenzaci napětí pro nabíjení baterií, musí být tato kompenzace provedena v závislosti na změnách napájecího napětí.

4.4.1.3 Spínací a ochranné přístroje [5]

Automatické přepínače a elektronické přístroje musí vyhovovat EN 60947-4-1 a EN 50272-22 a musí být kategorie odpovídající zatížení. Pro zátěž nouzového osvětlení musí spínací meze odpovídat EN 60598-2-22. Tyto meze se musí uplatnit na automatické přepínače a jakékoliv monitory koncového obvodu a řídicí spínače.

4.4.1.4 Centrální střídače [3]

Centrální střídač, jejich baterie, nabíječe a další řídicí přístroje musí být navrženy jako kompatibilní systém a to zvláště s ohledem na kmitočet, tvar vlny napětí, výkon zátěže a účinník. Výstupní napětí centrálních střídačů musí odpovídat požadavkům zátěže a musí být regulovatelné v rozsahu $\pm 6\%$ jmenovitého napětí systému a při zatížení od 20% do 100% po celou dobu vybíjení. Pro rychlé změny zatížení jsou přípustné odchylky $\pm 10\%$ po dobu 5 sekund. Střídače musí být také schopné dodávat 120% požadovaného zatížení po stanovenou dobu. Musí vyhovět požadavkům EN 1838 na dodávku plného zatížení do systému, který byl předtím nezatížený v čase odpovídajícímu v EN 1838. Kmitočet centrálních střídačů musí odpovídat zatížení. Jeho maximální hodnota je 500 Hz

a povoleny odchylky jsou v rozsahu $\pm 2\%$ jmenovitého kmitočtu při plném napětí baterie a rozsahu zatížení. Střídač musí být schopný odpojit kterýkoliv připojený jištěný koncový nebo distribuční obvod, aniž by došlo k odpojení nebo přerušení jeho výstupní pojistky. Funkce střídače se musí obnovit a výstup musí být opět normální do 5 sekund od okamžiku zapůsobení pojistky.

4.4.1.5 Baterie pro centrální napájecí systém [3]

Baterie musí vyhovovat příslušné normě podle typu baterie:

- EN 60285 – Nikl kadmiové válcové baterie neprodyšné uzavřené akumulátorové články
- EN 60622-1 – Uzavřené nikl kadmiové hranolové články – část 1:Všeobecné požadavky a zkušební metody
- EN 60623 – Uzavřené větrané nikl kadmiové hranolové akumulátorové články
- EN 60896-1 – Staniční olovené akumulátory – Všeobecné požadavky a zkoušky – Část 1: uzavřené typy
- EN 60896-2 - Staniční olovené akumulátory – Všeobecné požadavky a zkoušky – Část 2: Ventilem řízené typy

Pro baterie centrálního napájecího systému musí být deklarovaná životnost alespoň 10 let při okolní teplotě 20°C. Baterie a celý systém musí být schopné splňovat uváděné parametry na začátku, v průběhu a na konci stanovené životnosti. Při zrychleném nabíjení baterií, nesmí při teplotě okolí 25°C povrchová teplota v jakémkoliv místě baterie přesáhnout 35°C. Na konci stanovené životnosti systému nesmí výstupní napětí být menší než 90% jmenovitého napětí.

4.4.2 Svítidla s autonomním zdrojem elektrické energie [2]

Svítidlo s autonomním zdrojem pro nouzový provoz musí mít přilehlé nebo v sobě zabudované zařízení pro nabíjení baterie z normálního napájecího zdroje a zřetelně viditelný indikátor, například světelný zdroj, který indikuje stav:

- Baterie se nabíjí
- Spojení obvodu je realizováno prostřednictvím světelného zdroje nouzového osvětlení

Použitý indikátor musí splňovat požadavky na barvu podle IEC 60073. Pokud zajišťuje indikátor dvojí funkci, je vhodné použití buď červené anebo zelené barvy.

Vnitřní zapojení a elektrické obvody ve svítidlech s autonomním zdrojem musí být chráněny proti nadměrným vybíjecím proudům, které se mohou vyskytovat během poruchových stavů, zařazením ochranného zařízení mezi baterii a elektronické obvody. Mezi baterií a světelným zdrojem pro nouzové osvětlení nesmí být zařazen jiný spínač než přepínací zařízení. Porucha jednoho nebo několika světelných zdrojů u svítidel s autonomním zdrojem nesmí přerušit nabíjecí proud k bateriím a nesmí způsobit přetížení, které by mohlo negativně ovlivnit činnost baterie. Funkce svítidla s autonomním zdrojem nesmí být v nouzovém režimu ovlivněna zkratem, dotykem s uzemněním nebo přerušením vodičů normálního napájení.

4.4.3 Baterie pro svítidla s autonomním zdrojem elektrické energie [2]

Ve svítidlech s autonomním zdrojem elektrické energie musí být umístěna baterie, která má dobu životnosti stanovenou nejméně na 4 roky normálního provozu. Tato baterie se musí používat pouze na funkce, vztahující se na nouzový stav uvnitř svítidla nebo jeho přidruženého svítidla. Baterie umístěná ve svítidlech s autonomním zdrojem elektrické energie musí být jedním z následujících typů:

- a) Nikl kadmiové akumulátorové baterie neprodyšně uzavřené
- b) Olověné akumulátorové baterie ventilem řízené
- c) Jiné typy baterií jsou přípustné za předpokladu, že odpovídají příslušným normám z hlediska bezpečnosti a použitelnosti, jakož i požadavkům normy ČSN EN 60598-2-22.

Kapacita baterie musí být zvolena tak, aby svítidlo splňovalo svou funkci až do doby výměny baterie.

4.4.3.1 Nikl kadmiové baterie [2]

Akumulátorové články určené pro trvalé nabíjení za zvýšených teplot musí vyhovět IEC 60285. Baterie ve svítidlech musí být provozovány v rozsahu těchto mezních podmínek:

- Maximální trvalá teplota vzduchu okolí, měřená termočlánkem ve vzdálenosti do 5 mm od článků v baterii svítidla, avšak bez jejich přímého dotyku, musí být 50°C
- Nejvyšší hodnota nabíjecího proudu při trvalém nabíjení smí být 0,08 C₅A (při 1,06 násobku jmenovitého napětí sítě)
- Minimální nepřetržitá okolní teplota článků uvnitř svítidla musí být 5°C (při

příležitostném výpadku 0°C)

- Maximální hodnota vybíjecího proudu (kromě náběhového úseku) musí být: pro 1h: 0,6 C₅A a pro 3h: 0,25 C₅A. Maximální vybíjecí proudy mohou být stanoveny interpolací těchto hodnot.

4.4.3.2 Olověné akumulátorové baterie ventilem řízené [2]

Baterie musí splňovat požadavky podle IEC 60896-2 a IEC 61056-1. Provoz baterií musí být v rámci následujících mezních podmínek:

- Maximální trvalá teplota vzduchu okolí, měřená termočlánkem ve vzdálenosti do 5 mm od článků v baterii svítidla, avšak bez jejich přímého dotyku, musí být:
 1. 30°C s teplotní kompenzací nabíjecího napětí záložní baterie, které má normální hodnotu mezi -3mV/článek/°C a -4mV/článek/°C, nebo podle doporučení výrobce článků
 2. 25°C bez teplotní kompenzace. Nabíjecí napětí záložní baterie při 25°C se musí pohybovat mezi 2,22V/článek a 2,4V/článek, jak doporučuje výrobce článků
- Maximální dobíjecí proud musí být 0,4 C₂₀
- Maximální vybíjecí proud musí být pro 1h: 0,4 C₂₀ a pro 3h: 0,17 C₂₀ (kromě náběhového úseku)
- Maximální zvlnění efektivní hodnoty proudu nesmí být vyšší než 0,1 C₂₀
- Minimální trvalá teplota okolí článků ve svítidle musí být 5°C (při příležitostném výpadku 0°C)

4.4.3.3 Ochrana proti přepólování článků [2]

Všechna svítidla s autonomním zdrojem elektrické energie používající olověné akumulátorové baterie nebo nikl kadmiové baterie se třemi nebo více články v sérii, musí být chráněna proti přepólování jednotlivých článků. Tato ochrana se docílí začleněním elektrického systému, který omezuje další vybíjení baterie na hodnotu uvedenou níže, pokud napětí baterie poklesne na V_{min}

- Olověné akumulátorové baterie: 10⁻⁵ x C₂₀A, kde C₂₀ je kapacita baterie v ampérhodinách při 20-ti hodinovém vybíjení konstantním proudem
- Nikl kadmiové baterie: 0,0015 x C₅A, kde C₅ je kapacita v ampérhodinách při 5-ti hodinovém vybíjení konstantním proudem

- $V_{min} = X \cdot n$
kde n = počet článků
- pro olověné akumulátorové baterie:
 $X = 1,6V$ pro dobu provozu 1h a menší
 $X = 1,7V$ pro dobu provozu delší než je 1h
- pro nikl kadmiové baterie
 $X = 0,8V$ pro všechny hodnoty doby provozu

5 Návrh decentralizované soustavy nouzového osvětlení napájené z autonomního zdroje elektrické energie za pomoci použití superkapacitoru.

5.1 Obecný popis možností napájení:

Nouzové osvětlení bývá pro mnohé architekty a designéry jenom „nutným zlem“, kdy se musí ve svých návrzích smířit s těmito neforemnými krabicemi se zeleným panáčkem. Ovšem v každé veřejné budově tvoří nouzové osvětlení životně důležitou funkci, kdy právě toto nouzové osvětlení umožňuje průběh nezbytně nutných procesů a bezpečné opuštění osob v případě vzniku nebezpečí a výpadku elektrické energie. Tak jako v jiných oborech, tak i v nouzovém osvětlení je nedílnou součástí výzkum a vývoj nových typů svítidel a forem jejich napájení elektrickou energií. V méj diplomové práci provedu srovnání systému nouzového osvětlení napájeného centrálním zdrojem elektrické energie a systémem autonomních nouzových svítidel napájených za pomoci superkapacitoru umístěných přímo ve svítidle.

Normativní požadavky kladené na nouzové osvětlení byly popsány v kapitole č. 4, rovněž podmínky umístění nouzového osvětlení jsou uvedeny v kapitole č. 4, kde bylo popsáno osvětlení a označení únikových cest.

Z hlediska napájení se nouzové soustavy osvětlení dělí na dvě hlavní skupiny:

1. Soustavy, které jsou napájeny autonomními akumulátory umístěnými v jednotlivých svítidlech.
2. Soustavy, které jsou napájeny z centrálního akumulátorového zdroje.

V obou těchto případech by svítidla měla být napojena na centrální monitorovací systém, kterým je umožněno z jednoho bodu svítidla řídit a současně provádět a vyhodnocovat periodické testy funkčnosti a autonomie a zjišťovat možné poruchy na svítidlech. Na otázku, který způsob napájení zvolit, neexistuje jednoduchá a univerzální odpověď. Oba systémy mají svoje klady i zápory, které je při zpracování projektu potřeba brát v úvahu. Rozhodují především tyto faktory:

- Typ objektu
- Velikost objektu
- Funkce a procesy, které v objektu probíhají

- Pohyb a počet osob, které v případě potřeby musí budovu opustit
- Předpokládaný počet nouzových svítidel

I při velkém množství faktorů vplývajících na konečné rozhodnutí o použitém systému je možné uvést výhody a nevýhody obou těchto systémů

5.1.1 Centrální akumulátorová baterie

Výhody:

- Údržba centrálního zdroje – mění se jenom jedna akumulátorová baterie přibližně jednou za deset let
- Vyšší světelný výkon nouzového svítidla

Nevýhody:

- Při přerušení napájecího okruhu pro nouzová svítidla je tento okruh nefunkční
- Nutnost používat kabely s funkční schopností při požáru
- Nutnost používat kabelové trasy s funkční schopností při požáru
- Nutnost používat požárně odolné patrové rozváděče
- Vysoká pořizovací cena

5.1.2 Autonomní akumulátor ve svítidle

Výhody:

- Svítí vždy, když dostane pokyn bez ohledu na stav napájecího vedení
- Jednoduchá instalace
- Variabilita
- Připojení z patrového rozváděče standardními kabely
- Nízká pořizovací cena

Nevýhody:

- Údržba - přibližně každé tři roky výměna akumulátoru v každém svítidle
- Nižší světelný výkon svítidel – nutnost použití většího množství svítidel

5.1.3 Monitoring nouzového osvětlení

Obecně lze říct, že soustava nouzových svítidel je monitorována obdobným způsobem, ať použijeme centrální bateriový systém, anebo decentralizovaný systém s autonomními zdroji ve svítidle. Každé svítidlo má vlastní adresu a údaje o jeho stavu,

případných poruchách a výsledky testů jsou vizualizovány v PC obsluhy. Při použití centrální baterie je možná ještě ekonomická varianta monitoringu, tzv. okruhový monitoring. V praxi to znamená, že monitorovací centrála neidentifikuje poruchu v konkrétním svítidle, ale pouze na konkrétním okruhu. Je pak na obsluze příslušný okruh prověřit najít porouchané svítidlo.

5.2 Výpočet parametrů stávajícího systému

5.2.1 Popis objektu

Návrh změny nouzového osvětlení s centralizovaného systému na decentralizovaný systém s autonomními zdroji elektrické energie s použitím superkapacitorů je prováděn ve výrobním objektu, který je dispozičně rozdělen na dva menší objekty LST I a LST II. Celý objekt tvoří jedno podlaží podzemní a tři nadzemní podlaží s jednotlivými výrobními prostory, skladovacími prostory, sociálními a odpočinkovými prostory pro zaměstnance. Nouzové osvětlení je navrženo v souladu s normou ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty. V této normě se předepisuje nutnost zřízení elektrického nouzového osvětlení na chráněných únikových cestách typu B,C a na chráněných únikových cestách typu A, pokud slouží k úniku více než 300 osob. Samotné nouzové osvětlení se navrhuje podle ČSN EN 1838. Nouzové osvětlení musí být funkční i v případě požáru v objektu a to u chráněných únikových cest typu A nejméně po dobu 15 minut, typu B po dobu 30 minut a typu C po dobu 45 minut. Chráněné únikové cesty sloužící současně jako vnitřní zásahové cesty musí mít nouzové osvětlení funkční nejméně po dobu 60 minut. Proto pro návrh nouzového osvětlení v našem případě byla zvolena, jako minimální doba funkčnosti systému 60 minut, kterou je dodržen i požadavek daný normou ČSN EN 1838. [6]

5.2.2 Popis stávajícího systému nouzového osvětlení

Pro náš návrh decentralizovaného nouzového osvětlení použijí jako systém k porovnání parametrů jak technických, tak ekonomických, systém centrálního nouzového osvětlení od firmy Beghelli V05-KOMBI-14, který obsahuje centrální jednotku pro nouzové osvětlení CBS PRÄZISA, typ NZBVE-Z 230/2/38/14/1/KC, dobíječ a baterie 216 V, DC, 38Ah. Katalogový list je zobrazen v příloze číslo 1. Funkční schéma nouzového osvětlení s centrálním bateriovým systémem, jako i rozmístění jednotlivých okruhů nouzových svítidel je v příloze č. 2. V příloze č. 2 jsou taky popsány vazby mezi

monitoringem výpadku sítě a spínáním jednotlivých okruhů nouzového osvětlení.

Použité svítidlo od firmy Beghelli, Formula 65 je systémové svítidlo a nouzové systémové svítidlo s piktogramem v elegantním designu vhodné pro vestavnou, stropní a nástěnnou montáž. Má možnost volby zdroje LED nebo zářivky T5. Symetrický plastový reflektor umožňuje rovnoměrnou distribuci světelného toku. Díky vysokému krytí IP 65 a odolné konstrukci z polykarbonátu je svítidlo Formula65 vhodné pro použití i v náročných provozních podmínkách. Použité svítidlo se zdrojem T5 8W se světelným výkonem 140 lm

		1.PP	1. NP	2. NP	3. NP	celkem LST I		1. NP	2. NP	3. NP	celkem LST II
N - Svítidlo nouzové, IP65 (Beghelli)											
Formula65, TB92405E, 1x8W, pro CBS - okruhový monitoring, přisazené, 230V AC / 220V DC	ks	32,00	15,00	35,00	12,00	94,00		24,00	30,00	3,00	57,00
N1 - Svítidlo nouzové, IP65 (Beghelli)											
Formula65, TB92405E + FB19044, 1x8W, pro CBS - okruhový monitoring, přisazené, s piktogramem 230V AC / 220V DC	ks	23,00	14,00	25,00	2,00	64,00		17,00	16,00	2,00	35,00
N2 - Svítidlo nouzové, IP54 (Beghelli)											
Formula 65, T92362E, 1x8W, pro CBS - okruhový monitoring, nástěnné, oboustranné, s oboustranným piktogramem 230V AC / 220V DC	ks	2,00	4,00	2,00	0,00	8,00		3,00	1,00	0,00	4,00
N3 - Svítidlo nouzové, IP65 (Beghelli)											
Formula65, TB92405E + E16040Nkit-F65 + FB19041, 1x8W, pro CBS - okruhový monitoring, vestavné, oboustranné, s oboustranným piktogramem 230V AC / 220V DC								1,00	0	0	1,00
N4 - Svítidlo nouzové, IP65 (Beghelli)											
Formula65, TB92405E + FB19041, 1x8W, pro CBS - okruhový monitoring, vestavné, 230V AC / 220V DC	ks	1,00	35,00	2,00	0,00	38,00		2,00	0,00	0,00	2,00
N5 - Svítidlo nouzové, IP65 (Beghelli)											
Formula65, TB92405E + E16040Nkit-F65 + FB19041 + FB19044, 1x8W, pro CBS - okruhový monitoring, vestavné, s piktogramem 230V AC / 220V DC	ks	3,00	18,00	0	0	21,00		0	0	0	0

Obrázek 22: Tabulka svítidel a jejich počtu v jednotlivých objektech

a příkonem 13,2 VA. Počet svítidel pro jednotlivá podlaží v objektech LST I a LST II jsou uvedeny v tabulce na obrázku č. 22

5.2.3 Výpočet parametrů stávajícího systému

Celkový počet svítidel: $S = 324ks$

Příkon jednoho svítidla: $P_{př} = 13,2 VA$

Celkový příkon soustavy : $P_{c př} = P_{př} \cdot S = 13,2 \cdot 324 = 4276,8 VA$ (16)

$$P = U \cdot I \quad (17)$$

$$I = \frac{P_{př}}{U} = \frac{4276,8}{216} = 19,8 \text{ A} \quad (18)$$

$$Q = I \cdot t \cdot k = 1,3 \cdot 19,8 \cdot 1 = 25,74 \text{ Ah} \quad (19)$$

Koeficient bezpečnosti stárnutí baterie: $k = 1,3$

Každý olověný akumulátor má omezený počet cyklů. S každým jedním použitím neboli cyklem (vybití a opětovné nabití) jeho kapacita klesá. Pokles kapacity je přímo úměrný hloubce vybití akumulátoru. Pokud např. budeme akumulátor celý rok pravidelně vybit každý den do 0% kapacity (tedy jeho uloženou energii vždy zcela vyčerpáme), pak po roce používání (365 cyklů) bude takový akumulátor na odpis, a jeho zbytková kapacita se bude pohybovat okolo 20–30%. Nebo např. po 100 cyklech (během 3 let) bude mít akumulátor přibližně 60 – 70% zbytkové kapacity (takže ze 100Ah zbude akumulátor s kapacitou 70Ah).

Z těchto důvodů se vždy dimenzujete akumulátor tak, aby v prvních letech životnosti nebylo nutné akumulátor vybit až do nuly, a měli jsme tak rezervu, a až při dalším postupném používání a s pokračujícími cykly jsme se teprve dostali na původně zamýšlenou úroveň doby provozu. Je-li to možné s ohledem na hmotnost akumulátoru! Např. při požadovaném výkonu 100Ah na dobu provozu 2 hodin, použijeme raději 130Ah, který po 100 cyklech bude sloužit jako 100Ah baterie. zbytkové kapacity.

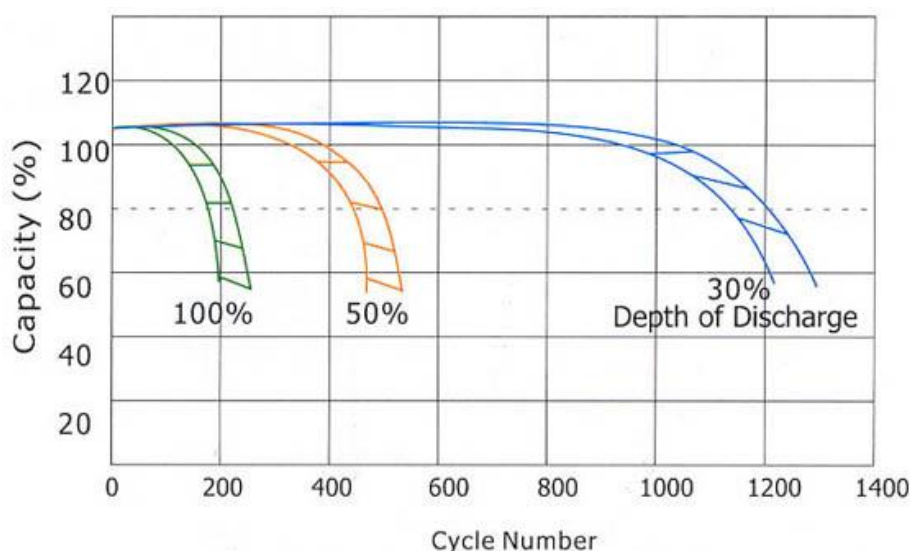


Figure 8: Cycle Life Vs Depth of Discharge
For Standard Series FP, LFP Types

Obrázek 23 - Vliv počtu cyklů spínání na úbytek kapacity akumulátoru [26]

Z tohoto důvodu i v našem případě byla navržena baterie s kapacitou 38 Ah. Rezerva kapacity baterie byla volena i s ohledem na případné rozšíření nouzového osvětlení bez nutnosti výměny baterie.

5.3 Návrh napájení LED nouzového svítidla za pomoci superkapacitoru.

Použité svítidlo od firmy Beghelli Formula 65 LED, které splňuje požadavky mezinárodních bezpečnostních standardů s využitím nejnovější technologie LED. Díky vysokému krytí IP 65 a odolné konstrukci z polykarbonátu je svítidlo Formula65 LED vhodné pro použití i v náročných provozních podmínkách. Vysoce účinný optický systém a velmi jednoduchá instalace řadí tato svítidla mezi nejekonomičtější produkty na trhu. Uvnitř tělesa z bílého polykarbonátu jsou umístěny dvě série velmi výkonných LED (vyšší než 100 lm/W). Pro náš návrh použijeme svítidlo Formula 65 LED s autotestem o výkonu 11W s autonomním zdrojem elektrické energie pro nouzový provoz na 1 hodinu. Toto svítidlo je původně osazeno baterií NiCd 4,8V, 0,75Ah. Obsahuje 20ks LED světelných zdrojů se jmenovitým světelným tokem 140 lm a celkovým příkonem 0,7W a napájenými konstantním proudem 350mA. Technické parametry svítidla jsou uvedeny na katalogovém listu v příloze číslo 1. Díky množství světelného toku můžeme toto svítidlo použít pro osvětlení únikové cesty delší než 10m. Životnost LED modulů v nouzovém svítidle je určena na 1000 hodin provozu svítidla.

Pro toto svítidlo navrhujeme zdroj energie pro nouzový provoz za pomoci superkapacitoru. Pro funkčnost celého systému je nutná správná volba LED modulů jako i vhodného DC/DC převodníku, protože při vybíjení superkapacitoru dochází k poklesu napětí. Při volbě převodníku je důležité sledování minimálního provozního napětí U_{\min} , kterým se stanoví množství využitelné energie s kondenzátoru pro použitý měnič. Použitý měnič musí mít co největší účinnost na požadovaný výstupní proud v závislosti na vstupním napětí. Pro udržení konstantního světelného toku LED, je nutné udržovat konstantní výstupní proud. Na základě vlastností použitých LED modulů pak rozhodujeme o použitém superkapacitoru, případně o použití více superkapacitorů, což vede ke zvýšení napětí v obvodu a ke snížení proudu a vnitřních ztrát. Naopak při použití více superkapacitorů s nižší kapacitou se zvedá jejich cena.

5.3.1 Výpočet kapacity superkapacitoru. [11]

Naakumulovaná energie v superkapacitoru dodávaná ke světelnému zdroji je

limitovaná minimálním pracovním napětím měniče, které je stanoveno na 0,9V. Z toho vyplývá, že pro danou aplikaci je možné využít pouze přibližně 2/3 celkové naakumulované energie. Dovolený pracovní pokles napětí superkapacitoru je tedy dán rozdílem maximálního počátečního napětí nabitého článku a minimálním pracovním napětím měniče. Pro případ použitého superkapacitoru Maxwell BCAP3000 je rozdíl spočítán na 1,8V

Minimální napětí na superkapacitoru:

$$U_{\min} = 0,9V$$

Počáteční napětí na nabitým superkapacitoru:

$$U_0 = 2,7V$$

Povolená ztráta napětí na superkapacitoru:

$$\Delta U = U_0 - U_{\min} = 2,7 - 0,9 = 1,8V \quad (20)$$

Dodávaný výkon:

$$P = 0,7W$$

Účinnost DC/DC převodníku a napájení:

$$\eta = 0,8$$

Průměrná spotřeba proudu:

$$I_{\text{prům}} = \frac{I_{\max} + I_{\min}}{2} = \frac{1}{\frac{0,9 \cdot 0,8}{2} + \frac{2,7 \cdot 0,8}{2}} = 0,925A \quad (21)$$

Činitel stárnutí superkapacitoru (pokles kapacity za 10 let)

$$k = 0,7$$

Doba napájení světelného zdroje LED

$$t = 3600 \text{ s}$$

Vybíjecí charakteristika superkapacitoru:

$$dU = i \cdot \frac{dt}{C} + i \cdot R_{\text{esr}} \quad (22)$$

Podle výše uvedených vztahů zanedbáme ztrátu napětí na vnitřním odporu superkapacitoru. Vzhledem k tomu, že proud je při vybíjení lineární, okamžitý proud můžeme nahradit proudem průměrným a vyjádřit potřebnou kapacitu superkapacitoru.

$$C' = \frac{I_{\text{prům}} \cdot t}{\Delta U} = \frac{0,925 \cdot 3600}{1,7} = 1959,76F \quad (23)$$

Tuto rovnici musíme upravit s ohledem na koeficient stárnutí superkapacitoru k.

$$C = \frac{C'}{k} = \frac{1959,76}{0,7} = 2799,66 F \quad (24)$$

S dnes dostupných superkapacitorů byl zvolen superkapacitor s kapacitou 3000 F typu BCAP3000 od firmy Maxwell. Vyšší kapacita byla zvolena s ohledem na stárnutí

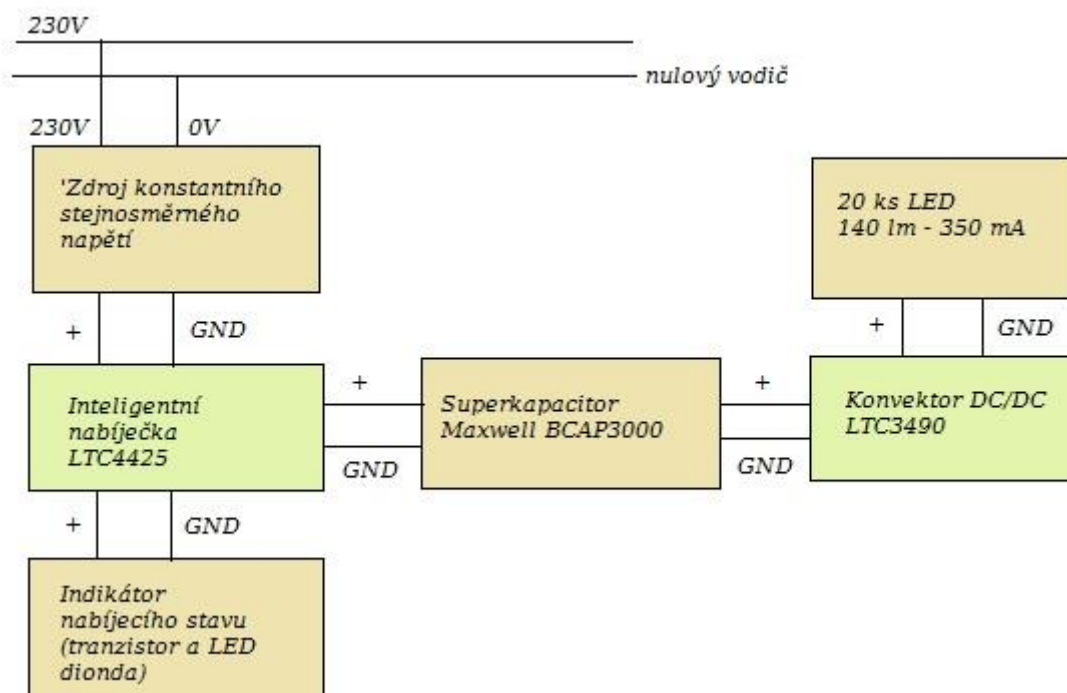
superkapacitoru, dodržení uvažované doby životnosti 10 let, jako i na teplotní závislost a samovybíjení superkapacitoru.



Obrázek 24 - Superkapacitor Maxwell BCAP3000 [8]

5.3.2 Návrh elektronické části nouzového svítidla.

V dnešní době je na trhu dostatečné množství součástek s požadovanými parametry a funkcí pro návrh systému samostatného nouzového svítidla napájeného superkapacitorem. Správný návrh vhodných prvků do obvodu nouzového svítidla jsou zásadní pro stabilitu, funkčnost a efektivní předání elektrické energie v systému. [11]



Obrázek 25- Blokové schéma elektronické části nouzového svítidla

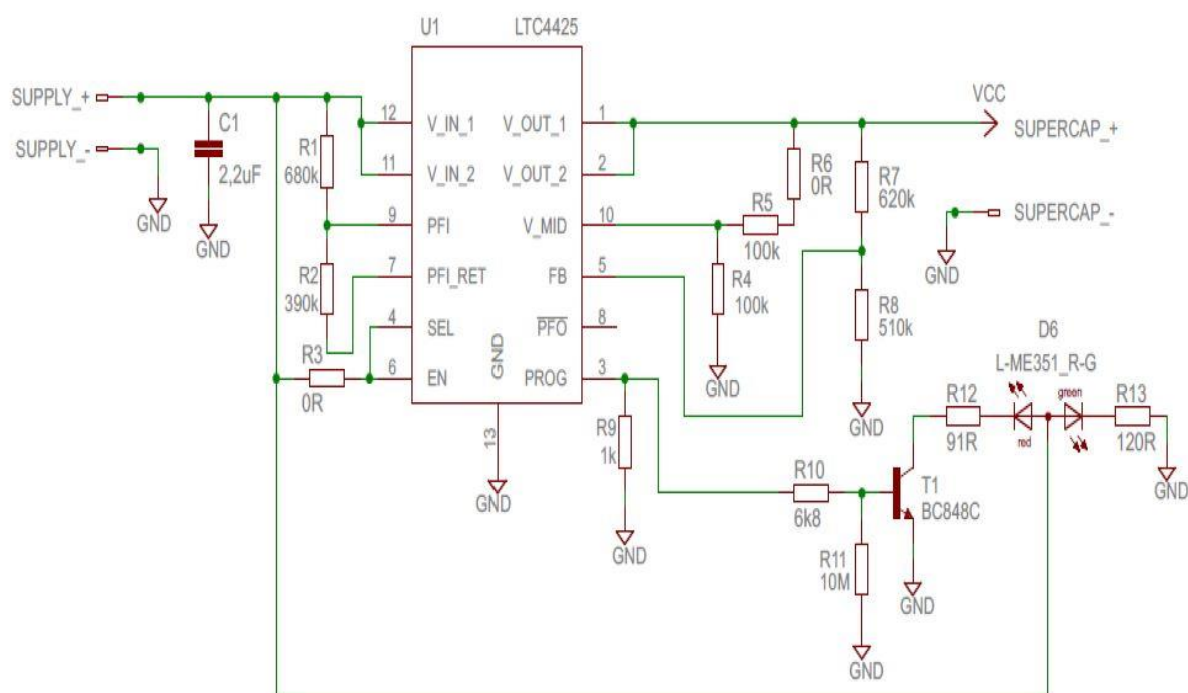
5.3.3 Návrh nabíjecího obvodu superkapacitoru

Z přírodních svorek tj. fázového a nulového vodiče je napájen nabíjecí obvod vybaven stabilizovaným zdrojem napětí, přičemž napětí tohoto zdroje je ideálně konstantní při proměnlivém odebíraném proudu. Při návrhu nabíjecího obvodu je důležité navrhnout obvod, jenž bude automaticky řídit a regulovat napětí a proud za pomoci dalších součástek. Případné přebíjení má významný vliv na životnost superkapacitoru. Nabíjecí proud je nutno řešit s ohledem na ČSN EN 50172. Jakmile superkapacitor dosáhne jmenovitého limitního napětí, obvod automaticky vypne nabíjecí režim. Indikace nabíjecího a provozního stavu je zobrazen na pomocných LED diodách odlišných barev.

Nejdůležitějším aspektem při návrhu nabíjecího obvodu je maximální doba nabíjení, která je normou ČSN EN 60598-2-22 stanovena pro svítidla s autonomním napájením na 24 hodin. Základem nabíjecího obvodu je integrovaný obvod LTC4425 od firmy Linear Technology, který je primárně určen na nabíjení superkapacitorů. Pro jeho správnou funkci jsou zapotřebí další pasívní součástky, kterými obvod řídí maximální nabíjecí proud, maximální výstupní napětí a indikaci provozního stavu. Nabíjecí obvod se tedy bude skládat z následujících částí:

- Integrovaný obvod LTC4425
- Spínaný stabilizovaný zdroj
- Napěťové děliče

- Filtrovací kondenzátor
- Tranzistor NPN
- dvoubarevná indikační LED dioda
- vstupní a výstupní konektory



Obrázek 26 - Schéma nabíjecího obvodu

5.3.4 Spínaný stabilizovaný napájecí zdroj

Spínaný stabilizovaný zdroj určený pro napájení superkapacitorů musí být charakterizován hlavně svojí vysokou účinností a nízkou vlastní spotřebou. Zdroj bude vybaven automatickou zkratovou, přepětovou ochranou a ochranou vypínající obvod před ztrátou zatížení.

Tabulka 2 - Parametry stabilizovaného napájecího zdroje (49)

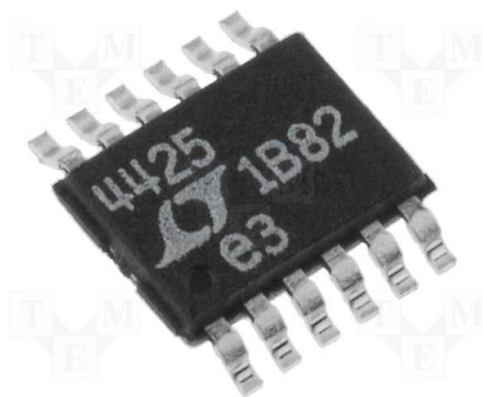
Parametr	Hodnota	Jednotka
Rozměr	69 x 27 x 38	Mm
Provozní teplota	0 - 40	°C
Frekvence napětí	50	Hz

Vstupní napětí	100-240 AC	V
Výstupní proud	2000	mA
Výstupní napětí	3,3 DC	V
Výstup	Stabilizovaný	-

5.3.5 Integrovaný obvod LTC4425

LTC4425 je proudově-napěťová konstantní lineární nabíječka, která slouží pro nabíjení akumulátorových článků, kondenzátorů a superkapacitorů. Integrovaný obvod nabízí dva provozní režimy nabíjení. Režim normál a režim LDO.

V normálním režimu nabíjecího proudu se nabíjí kapacitní články stejnou hodnotou jako vstupní napětí s nabíjecím proudem, který je udržován v závislosti na vstupně výstupním rozdílu napětí. V režimu LDO jsou nabíjeny kapacitní články pevně stanoveným výstupním napětím prostřednictvím odporového děliče s konstantním nabíjecím proudem, který je na plošném spoji pevně nastaven pomocí velikostí externího rezistoru. Integrovaný obvod LTC4425 je vybaven teplotní regulací k ochraně před nadměrným přehříváním. Pro nabíjení superkapacitoru v našem návrhu bylo použito režimu LDO, který umožňuje regulovat výstupní napětí superkapacitoru na požadovanou hodnotu a nastavení maximálního omezení nabíjecího proudu. [9]



Obrázek 27 - Integrovaný obvod LTC 4425 [9]

5.3.6 Nastavení vstupního a výstupního napětí inteligentní nabíječky

Výrobce doporučuje použití externích dělicích rezistorů nastavovat v limitu 40k až 1M. Vnitřními procesy v integrovaném obvodu je hodnota zpětnovazebního napětí udržována na 1,2V. Tímto napětím se monitoruje požadované výstupní napětí, které je

nastaveno podle použitého superkapacitoru na 2,7V. [9]

$$V_{OUT} = V_{FB} \cdot \left(1 + \frac{R_{FB1}}{R_{FB2}}\right) [k\Omega] \quad (25)$$

Při výpočtu byla zvolena hodnota $R_{FB1} = 620k\Omega$ a hodnota R_{FB2} se spočítá rovnicí:

$$R_{FB2} = \frac{R_{FB1}}{\frac{V_{OUT}}{V_{FB}} - 1} [k\Omega] \quad (26)$$

$$R_{FB2} = \frac{620000}{\frac{2,7}{1,2} - 1} = 496000 \rightarrow 510 [k\Omega] \quad (27)$$

Stejným postupem je řešen i výpočet vstupního pracovního napětí pro inteligentní nabíječku superkapacitoru. Výsledné hodnoty rezistoru $R_{PF1} = 680k\Omega$ a $R_{PF2} = 390 k\Omega$.

5.3.7 Nastavení nabíjecího proudu

Přes externí odpor, který přivedeme na programovací pin integrovaného obvodu LTC4425 bude nastavena hodnota maximálního nabíjecího proudu superkapacitoru.

$$R_{PROG} = 1000 \cdot \frac{1}{I_{NAB.}} [k\Omega] \quad (28)$$

$$R_{PROG} = 1000 \cdot \frac{1}{1} = 1000 = 1 [k\Omega] \quad (29)$$

Vypočtená hodnota pro externí odpor je dostačující pro nabití superkapacitoru Maxwell BCAP3000 v průběhu požadované doby dané normou. [9]

5.3.8 Indikátor provozního stavu

Normou ČSN EN 60598-2-22 je požadováno, aby každé nouzové svítidlo napájené z autonomního zdroje elektrické energie bylo opatřeno indikátorem provozního stavu. Tranzistorem na bázi NPN je připojen pin monitorovacího proudu, na kterém je napětí 1V za předpokladu, že je superkapacitor nabíjen integrovaným obvodem LTC4425. Pro indikaci je použit tranzistor BC848C, který má otevřený přechod kolektor – emitor za předpokladu, že je na bázi připojeno napětí minimálně 0,6V. Na emitor je připojena červená LED dioda, která indikuje nabíjecí stav superkapacitoru. Nabíjecí obvod je také vybaven zelenou LED diodou, která indikuje režim napájení ze sítě střídavého napětí. [9]

5.3.9 DC/DC konvektor LTC3490 [10]

Konvektor LTC3490 poskytuje konstantní výstupní proud 350mA a omezuje výstupní napětí na 4,7V. Integrovaná logika signalizuje vybití superkapacitoru při poklesu vstupního napětí pod 1V. Při hodnotě 0,85V se obvod konvektoru LTC3490 vypíná.

Hlavními parametry jsou:

- Konstantní výstupní proud 350mA
- Účinnost až 90%
- Pevně nastavená frekvence 1,3 MHz
- Nízká hodnota vypínacího proudu $<50\mu\text{A}$
- Rozsah vstupního napětí 1V-3,2V
- Podpěťová ochrana baterie
- Rozměry: 3mm x 3mm



Obrázek 28 - Konvektor DC/DC - LTC 3490 [10]

6 Technicko-ekonomické zhodnocení návrhu

Jak už bylo popsáno v kapitole 4, každý dnes používaný systém napájení nouzového osvětlení má svoje klady i zápory. Mezi největší výhody systému nouzového osvětlení s autonomními zdroji patří nepochybně jeho pořizovací cena, která je oproti systému s centrálním napájecím systémem nižší o prvky s protipožárními vlastnostmi tj. kabelů, rozváděčů a samotného prostoru ve kterém je umístěn systém s bateriemi. Tato problematika u svítidel s autonomním zdrojem odpadá. Největší výhodou řešení s centrálním bateriovým systémem je nepochybně jeho životnost, která je normou stanovena na minimálně 10 let, možnost centrálního autotestu svítidel a v neposlední řadě snadná údržba bateriového systému. Pro ekonomické posouzení návrhu nouzového svítidla s autonomním zdrojem elektrické energie za pomoci superkapacitoru budeme vycházet s cen materiálu, svítidel a centrálního bateriového systému poskytnutých buď přímo výrobcem (centrální bateriový systém a svítidla), nebo prodejcem elektroinstalačního materiálu (kabely, rozváděče a jiný materiál). Dalším parametrem zahrnutým do srovnání obou systémů napájení bude cena montáže a „oživení“ celého systému jako i cena následných kontrol a výměny zdrojů elektrické energie po uplynutí stanovené doby životnosti. Tyto ceny budou poskytnuty firmou zabývající se elektro montážními pracemi obdobného charakteru.

6.1 Výpočet nákladů stávajícího systému

Celková cena řešení s centrálním bateriovým systémem pozůstává s ceny centrální jednotky pro nouzové osvětlení CBS PRÄZISA, typ NZBVE-Z 230/2/38/14/1/KC včetně dobíječ a baterie 216 V, DC, 38Ah, kabeláže s funkční schopností při požáru splňující požadované parametry dle příslušných norem a patrových rozváděčů s příslušnými protipožárními parametry. V tabulce č. 3 jsou uvedeny celkové náklady na použitý materiál v objektech LST I a LST II.

6.1.1 Výpočet celkových nákladů

Tabulka 3 - Náklady na pořízení centrálního bateriového systému

	jednotka množství	Cena celkem za všechny položky
Kabeláž B2caS1d0	[m]	2 350 000 Kč
Rozváděč EI 60min. vč. přístrojů	[ks]	455 000 Kč
Svítidlo Formula 65 LED vč. bezpečnostních značek	[ks]	1 004 400 Kč
NZBVE-Z 230/2/38/14/1/KC včetně dobíječ a baterie	[ks]	340 000 Kč
Třífázový monitor sítě DS 3 UV	[ks]	24 000 Kč
Přídavný materiál (přichytky, ucpávky, instalační krabice)	[ks]	430 000 Kč
Náklady celkem	[Kč]	4 603 400 Kč

V tabulce č. 4 jsou uvedeny ceny montážních prací jako i cena pravidelné kontroly a výměny baterie po uplynutí doby její živostnosti stanovené na 10 let.

Tabulka 4 - Náklady na montáž centrálního bateriového systému

	Jednotka množství	Celková cena za všechny položky
Montáž kabelů a svítidel	[hod]	616 000 Kč
Pravidelná kontrola 1x ročně po dobu 10 let	[hod]	600 000 Kč
Výměna baterie po 10 letech	[]	270 000 Kč
Náklady celkem	[Kč]	1 986 000 Kč

Celkové náklady na pořízení řešení s centrálním bateriovým systémem jsou součtem celkových nákladů na pořízení zařízení a materiálu pro propojení systému a celkových nákladů na montážní práce a servis zařízení.

Celkové náklady na systém s centrálním bateriovým zdrojem jsou 6 089 400Kč.

6.2 Výpočet nákladů na systém napájen superkapacitorem

Celková cena řešení napájení nouzových svítidel za pomocí superkapacitoru bude zahrnovat cenu samotných svítidel, která bude navýšena o náklady spojené s pořízením a nahrazením superkapacitoru, nabíjecího obvodu a DC/DC konvektoru do obvodu nouzového svítidla. Dále budou započteny náklady na kabeláž od patrových rozvaděčů, cena patrových rozvaděčů a celkový počet třífázových monitorů sítě pro okruhový monitoring nouzových svítidel. Obecně platí, že světelný výkon nouzových svítidel napájených s autonomního zdroje elektrické energie je nižší. Z tohoto důvodu bude i celkový počet svítidel navýšen s původních 324 svítidel o 10% na 356 svítidel. V tabulce číslo 5 jsou uvedeny celkové předpokládané náklady na použitý materiál v objektech LST I a LST II.

6.2.1 Výpočet nákladů na pořízení jednoho svítidla

Samotné svítidlo je sestaveno se svítidla, které bylo použito v původním návrhu nouzového osvětlení s centrálním napájecím zdrojem, Formula 65 LED. V tomto svítidle jsme nahradili konvenční zdroj elektrické energie pro nouzový režim superkapacitorem. Pro optimální nabíjení superkapacitoru a udržení konstantního proudu pro napájení LED jsme obvod doplnili o inteligentní nabíječku LTC4425 a LED driver LTC3490. Cena svítidla bude sestavena jako součet cen všech potřebných součástí a cen za práci nutnou k sestavení svítidla.

Na stránkách jednoho s předních distributorů elektronických komponentů, MOUSER ELECTRONICS, jehož stránky jsou www.mouser.com, byla cena superkapacitoru stanovena na:

Superkapacitor Maxwell BCAP3000 P270 K04	1480 Kč
--	---------

Ceny dalších potřebných součástí byly dodány z různých webových portálů distributorů elektronických součástí.

Inteligentní nabíječka LTC4425	160 Kč
--------------------------------	--------

LED driver LTC3490	125 Kč
--------------------	--------

Stabilizovaný stejnosměrný zdroj	155 Kč
----------------------------------	--------

Ostatní součástky, konektory a kabeláž	340 Kč
--	--------

Práce nutná k úpravě svítidla (4 hodiny na jedno svítidlo)	800 Kč
--	--------

Cena svítidla byla poskytnuta výrobcem BEGHELLI – ELPLAST a.s.

Formula 65 LED autotest vč. bezpečnostních značek	3100 Kč
---	---------

Celkové náklady na jedno svítidlo

6160 Kč

Do celkových investičních nákladů je potřeba započítat i náklady na dopravu všech komponent, jako i náklady na vývoj a příslušnou certifikaci konečného výrobku. Ceny se pak budou lišit i v závislosti na množství dodaných součástí.

6.2.2 Výpočet celkových nákladů

Tabulka 5 - Náklady na pořízení systému autonomního napájení pomocí superkapacitoru

	Jednotka množství	Cena celkem za všechny položky
Rozváděč EI 60min. vč. přístrojů	[ks]	455 000 Kč
Svítidlo Formula 65 LED vč. bezpečnostních značek	[ks]	2 192 960 Kč
Třífázový monitor sítě DS 3 UV	[ks]	24 000 Kč
Kabeláž	[m]	520 000 Kč
Náklady celkem	[Kč]	2 891 960 Kč

V tabulce č. 6 jsou uvedeny celkové ceny za montáž svítidel, jako i cena periodické kontroly všech svítidel a funkčnosti baterií. Výměna baterie je v tomto případě i u svítidel s autonomním zdrojem stanovena na 10 let s ohledem na větší počet spínacích cyklů superkapacitoru.

Tabulka 6 - Náklady na montáž svítidel s autonomním zdrojem

	Jednotka množství	Celková cena za všechny položky
Montáž kabelů a svítidel	[hod]	230 000 Kč
Pravidelná kontrola 1x ročně po dobu 10 let	[hod]	1 250 000 Kč
Výměna baterie po 10 letech	[]	670 000 Kč
Náklady celkem	[Kč]	2 350 000 Kč

Celkové náklady pro variantu systému nouzového osvětlení s decentralizovaným

nouzovým napájením pomocí superkapacitorů jsou 5 241 960 Kč

6.3 Porovnání celkových nákladů

Jak je vidět z výše uvedených sumarizací nákladů pro obě varianty systému nouzového osvětlení, systém s decentralizovaným zdrojem elektrické energie má celkové náklady nižší i vzhledem k vyšším pořizovacím nákladům na jednotlivé svítidlo. Vyšší pořizovací náklady jsou dány hlavně cenou samotného superkapacitoru, jako i cenou práce nutné na jeho zabudování do svítidla. Naopak díky tomu, že kabelové trasy není nutné od centrálního zdroje elektrické energie vést v protipožární úpravě jsou náklady na materiál jako i na samotnou montáž nižší i při vyšším počtu svítidel. Jak již bylo uvedeno, životnost superkapacitoru je ovlivněna hlavně nabíjecím napětím a provozní teplotou. Výrobce superkapacitoru, firma Maxwell, uvádí při splnění provozních požadavků snížení kapacity za 12 let průměrně o 20%. Tím se náklady na provoz, údržbu a výměnu zdrojů přiblíží nákladům v systému centralizovaného zdroje. Při využití superkapacitoru k napájení nouzového svítidla není nutná výměna zdroje každé 4 roky, jak se uvádí v normě ČSN EN 1838. Při tendenci zvýšené poptávky a tím i produkce superkapacitorů nastává tendence snižování ceny superkapacitorů. Tím se nepříznivý rozdíl v ceně výměny zdroje s pohledu superkapacitoru bude postupně snižovat a využití superkapacitoru v systémech nouzového osvětlení bude i s ekonomického hlediska příznivější.

Závěr

Diplomová práce se zabývá teoretickým návrhem zdroje elektrické energie pro nouzové svítidlo s autonomním zdrojem řešeného novými technologiemi v oblasti akumulace elektrické energie – superkapacitorem.

Práce porovnává dva, dnes běžně používané způsoby napájení nouzového osvětlení a to systém s centrálním bateriovým zdrojem elektrické energie a systém s autonomním zdrojem elektrické energie, který se dnes provádí pomocí elektrochemických akumulátorů a v této diplomové práci bude nahrazen ve stávajícím svítidle novým akumulacním prvkem – superkapacitorem. Pro normou udávanou minimální dobu svícení nouzového svítidla byla vypočtena potřebná kapacita pro akumulaci elektrické energie ve formě elektrického náboje velikosti 2799 F. Po provedení výpočtu byla ověřena vhodnost použití superkapacitoru pro napájení nouzového osvětlení. Na základě výpočtů byl zvolen superkapacitor Maxwell BCAP3000 s kapacitou 3000F, přičemž byl zohledněn i koeficient opotřebení za dobu používání 10 let.

Samotný návrh elektronické části svítidla, která je složená z nabíjecího a napájecího obvodu, z indikačního obvodu a LED driverem (DC/DC konvektor). Nabíjecí obvod je řízen dostupným integrovaným obvodem LTC4425, který pomocí externích součástek nabíjí superkapacitor na požadovanou hodnotu napětí 2,7 a za dobu nepřekračující maximální dobu nabíjení, která je normou stanovena na 24 hodin. Napájecí obvod LED je tvořen také dostupným integrovaným obvodem LTC3490. Úlohou tohoto driveru je napájet LED světelný zdroj konstantním proudem při klesajícím napětí dodávaným ze superkapacitoru.

Pro porovnání technicko-provozních parametrů byli použity technické parametry obou systému napájení nouzových svítidel, jejich uvažovaná živostnost, pořizovací náklady, náklady na instalaci systému nouzového osvětlení jako i náklady spojené s pravidelným servisem a údržbou systému a výměnou akumulacních prvků po skončení doby jejich živostnosti. S dostupnými integrovanými obvody a dnes dosahovanou kapacitou superkapacitorů není po technické stránce využití superkapacitoru v nouzovém svítidle s autonomním zdrojem problém. Jak ale vyplývá s ekonomického zhodnocení návrhu napájení pomocí superkapacitoru, není tento systém ekonomicky výhodný natolik, aby byl využíván ve větším počtu instalovaných systému, hlavně s důvodu ceny stávajícího svítidla.

Při návrhu a vývoji nouzového svítidla, které by bylo již od začátku koncipováno s nouzovým napájením pomocí superkapacitoru, by se cena svítidla podstatně snížila a celý systém by byl ekonomicky výhodnější.

Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN 1838. Světlo a osvětlení – Nouzové osvětlení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014
- [2] ČSN EN 60 598-2-22. Svítidla – Část 2-22: Zvláštní požadavky – Svítidla pro nouzové osvětlení. Praha: Český normalizační institut, 1999
- [3] ČSN EN 50272-2. Bezpečnostní požadavky pro akumulátorové baterie a akumulátorové instalace – Část 2:Staniční baterie. Praha: Český normalizační institut, 2002
- [4] ČSN EN 50172. Systém nouzového únikového osvětlení. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [5] ČSN EN 50171. Centrální napájecí systémy. Praha: Český normalizační institut, 2001
- [6] ČSN EN 73 0804. Požární bezpečnost staveb – Výrobní objekty. Praha: Český normalizační institut , 2002
- [7] DUDA, Vlastimil. Využití superkapacitoru v trakčních pohonech. Pardubice 21.5.2010. Diplomová práce. Univerzita Pardubice Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce doc. Ing. Stanislav Gregora,Ph.D.
- [8] Datasheet K2 Series Supercapacitors. www.Maxwell.com [on-line]. 2015 [cit. 8.4.2015].Dostupné:http://www.maxwell.com/products/ultracapacitors/docs/datasheet_k2_series_1015370.pdf
- [9] LTC4425 Datasheet. Linear Technology [on-line]. 2015 [cit. 8.4.2015]. Dostupné: <http://www.linear.com/docs/Datasheet/3490fa.pdf>
- [10] LTC3490 Datasheet Linear Technology [on-line]. 2015 [cit. 8.4.2015]. Dostupné: <http://www.linear.com/docs/Datasheet/3490fa.pdf>

- [11] Maxwell SuperCap. www.maxwell.com [on-line] 2005 [cit. 8.4.2015]. Dostupné: http://www.maxwell.com/products/ultracapacitors/docs/1014627_boostcap_product_guide.pdf
- [12] Carbol Zbyněk, Novák Tomáš, Hrbáč Roman, Sokanský Karel. Autonomous emergency LED luminaires powered by supercapacitor. Ostrava 2011. VŠB-TU Ostrava.
- [13] Olověný akumulátor. In.: Wikipedia: the free encyclopedia [on-line], 2001-2015 [cit. 8.4.2015]. Dostupné: http://cs.wikipedia.org/wiki/Olov%C4%9Bn%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [14] Nikl-kadmiový akumulátor. In.: Wikipedia: the free encyclopedia [on-line], 2001-2015 [cit. 8.4.2015]. Dostupné: http://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl-kadmiov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [15] Nikl-metal Hydridový akumulátor. In.: Wikipedia: the free encyclopedia [on-line], 2001-2015 [cit. 8.4.2015]. Dostupné: http://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl-metal_hydridov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [15] Lithium-iontový akumulátor. In.: Wikipedia: the free encyclopedia [on-line], 2001-2015 [cit. 8.4.2015]. Dostupné: http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-iontov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [16] Superkapacitory. www.ecom.cz [on-line], 2005 [cit. 8.4.2015]. Dostupné: <http://www.ecom.cz/files/documents-news/108.pdf>
- [17] Doleček, Jaroslav. Moderní učebnice elektroniky – 3. Díl. Nakladatelství BEN – technická literatura, Praha 2005. ISBN 80-7300-184-5
- [18] Katalog nouzového osvětlení: www.eatonelektrotechnika.cz [on-line]. 2014 [cit. 8.4.2015]. Dostupné: http://www.eatonelektrotechnika.cz/lightandsafety-nouzove_osvetleni

- [19] Kříž Michal. Důvod zřizování nouzového osvětlení. www.in-el.cz [on-line] 2011 [cit. 8.4.2015]. Dostupné: <http://in-el.cz/?t=201&p=102514>
- [20] DKPOWER. www.dkpower.cz. [on.line], 2015 [citované 1.5.2015] Dostupné: <http://www.dkpower.cz/web/dk-power/cz/olovene-akumulatory-baterie/>
- [21] TME. www.tme.eu [on-line]. 2015 [cit. 1.5.2015]. Dostupné: http://www.tme.eu/html/CZ/akumulatorove-baterie-pro-nouzova-osvetleni/ramka_902_CZ_pelny.html
- [22] Jaroslav Belza. Akumulátory Li-ion a jejich nabíjení. www.golias.cz [on-line]. 2015. [citované 1.5.2015] Dostupné: <http://www.golias.cz/index.php?modul=audio&sub=clanky&page=clanek&id=521>
- [23] Fyzika polovodičů. www.trunky.cz [on-line] 2000 [citované 1.5.2015] Dostupné: <http://www.trunky.cz/bp/fypolo/4.htm>
- [24] LED. In.: Wikipedia: the free encyclopedia [on-line], 2001-2015 [cit. 8.4.2015]. Dostupné: <http://cs.wikipedia.org/wiki/LED>
- [25] Katalog nouzového osvětlení. www.beghelli.cz [on-line].2015 [citované 1.5.2015]. Dostupné:<http://www.beghelli.cz/e-katalog/standardni-svitidla-vc-verzi-autotest/standardni-svitidla-vc-verzi-autotest/formula65-led>
- [26] General characteristics- Battery life. www.ashiinternational.in [on-line]. 2015 [citované 1.5.2015]. Dostupné: <http://www.ashiinternational.in/tech5.html>

Přílohy

Příloha číslo 1: Katalogový list svítidla FORMULA 65 LED



Formula65 LED

LED nouzové svítidlo a nouzové svítidlo s piktogramem, které splňuje požadavky mezinárodních bezpečnostních standardů s využitím nejnovější technologie LED. Díky vysokému krytí IP 65 a odolné konstrukci z polykarbonátu je svítidlo Formula65 LED vhodné pro použití i v náročných provozních podmínkách. Vysoce účinný optický systém a velmi jednoduchá instalace řadí tato svítidla mezi nejekonomičtější produkty na trhu. Uvnitř tělesa z bílého polykarbonátu jsou umístěny dvě série velmi výkonných LED (vyšší než 100 lm/W).

Symbole a homologace viz str. 198; technické specifikace viz str. 185

Technická data

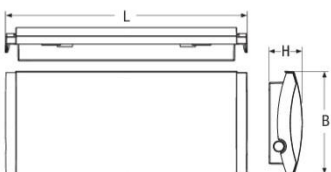
Montáž: na strop, na stěnu a na vestavný box

Těleso: samozhášivý plast (standard EN 60598-1, UL 94)

Difuzér: polykarbonátový

Jmenovité napětí: 230 V/50 Hz

Specifikace: dostupné v provedení SA (stále svítící) a SE (nouzové svítící)



W**	• Rozměry (mm) •	Zdroj
	L B H	
6-8-11-24	354 152 48,5	LED

** Referenční výkon pro účely porovnání se zářivkami

Pozorovací vzdálenost DV	
Signalizační tabulka	26 m
Difuzér s piktogramem Bandiera	28 m



PŘÍSLUŠENSTVÍ: DODÁVANO VČETNĚ		
Kód	Popis	Ks
19040	vestavný box s rámečkem	1
19044*	signalizační tabulky vlevo/vpravo/dolů	1

* Piktogramy jsou dodávány jen pro provedení SA (stále svítící).

PŘÍSLUŠENSTVÍ: NUTNO OBJEDNAT ZVLÁŠT		
Kód	Popis	Ks
19041	držáky pro montáž do podhledového stropu	1
19042	difuzér s piktogramem šipka vlevo, vpravo Bandiera	1
19043	difuzér s piktogramem šipka dolů Bandiera	1
19044	signalizační tabulky vlevo/vpravo/dolů	1
19045	konzole pro vlnkovou montáž na stěnu	1

MONTÁŽ NA STĚNU S VODOVÁHOU



19040 vestavný box s rámečkem, dodáváno se svítidlem

MONTÁŽ NA STROP



VESTAVNÁ MONTÁŽ



19040 vestavný box s rámečkem, dodáváno se svítidlem

VLAJKOVÁ MONTÁŽ NA STĚNU



19045 konzole pro vlnkovou montáž na stěnu, nutno objednat zvlášť
19042 difuzér s piktogramem šipka vlevo, vpravo Bandiera, nutno objednat zvlášť
19043 difuzér s piktogramem šipka dolů Bandiera, nutno objednat zvlášť

Nouzová svítidla a svítidla s bezpečnostními značkami včetně verzí AT

MONTÁŽ DO PODHLEDOVÉHO STROPU



19041 držáky pro montáž do podhledového stropu, nutno objednat zvlášť

MONTÁŽ DO PODHLEDOVÉHO STROPU



19041 držáky pro montáž do podhledového stropu, nutno objednat zvlášť
19042 difúzér s piktogramem šipka vlevo, vpravo Bandiera, nutno objednat zvlášť
19043 difúzér s piktogramem šipka dolů Bandiera, nutno objednat zvlášť

AutoTest

W	Kód	Typ	Verze	Samostatnost	Baterie	LED	Jmen. sv. tok SE*	Jmen. sv. tok SA*	Příkon	Kg	Baleni/ks
6	19220	F65 LED 6 W IP65 AT SE 1H/RM	SE	1 h	NiCd 4,8 V 0,75 Ah	10 ks	70 lm	–	0,7 W	0,4	12
6	19221	F65 LED 6 W IP65 AT SE 3H/RM	SE	3 h	NiMH 4,8 V 1,7 Ah	10 ks	70 lm	–	1,5 W	0,4	12
8	19222	F65 LED 8 W IP65 AT SE 1H/RM	SE	1 h	NiCd 4,8 V 0,75 Ah	16 ks	112 lm	–	0,7 W	0,6	12
8	19223	F65 LED 8 W IP65 AT SE 3H/RM	SE	3 h	NiMH 4,8 V 1,7 Ah	16 ks	112 lm	–	1,5 W	0,6	12
8	19224	F65 LED 8 W IP65 AT SA 1H/RM	SA	1 h	NiCd 4,8 V 0,75 Ah	16 ks	112 lm	56 lm	1,4 W	0,6	12
8	19225	F65 LED 8 W IP65 AT SA 3H/RM	SA	3 h	NiMH 4,8 V 1,7 Ah	16 ks	112 lm	56 lm	2,7 W	0,6	12
11	19226	F65 LED 11 W IP65 AT SE 1H/RM	SE	1 h	NiCd 4,8 V 0,75 Ah	20 ks	140 lm	–	0,7 W	0,6	12
11	19227	F65 LED 11 W IP65 AT SE 3H/RM	SE	3 h	NiMH 4,8 V 1,7 Ah	20 ks	140 lm	–	1,5 W	0,6	12
11	19228	F65 LED 11 W IP65 AT SA 1H/RM	SA	1 h	NiCd 4,8 V 0,75 Ah	20 ks	140 lm	70 lm	1,6 W	0,6	12
11	19229	F65 LED 11 W IP65 AT SA 3H/RM	SA	3 h	NiMH 4,8 V 1,7 Ah	20 ks	140 lm	70 lm	2,9 W	0,6	12
24	19230	F65 LED 24 W IP65 AT SE 1H/RM	SE	1 h	NiCd 2× 4,8 V 0,75 Ah	32 ks	224 lm	–	0,9 W	0,8	12
24	19231	F65 LED 24 W IP65 AT SE 3H/RM	SE	3 h	NiMH 2× 4,8 V 1,7 Ah	32 ks	224 lm	–	2,2 W	0,8	12
24	19232	F65 LED 24 W IP65 AT SA 1H/RM	SA	1 h	NiCd 2× 4,8 V 0,75 Ah	32 ks	224 lm	112 lm	2 W	0,8	12
24	19233	F65 LED 24 W IP65 AT SA 3H/RM	SA	3 h	NiMH 2× 4,8 V 1,7 Ah	32 ks	224 lm	112 lm	3,7 W	0,8	12

* Minimální garantovaný světelný tok podle EN 60598-2-22

Standard

W	Kód	Typ	Verze	Samostatnost	Baterie	LED	Jmen. sv. tok SE*	Jmen. sv. tok SA*	Příkon	Kg	Baleni/ks
6	19200	F65 LED 6 W IP65 SE 1H	SE	1 h	NiCd 4,8 V 0,75 Ah	10 ks	70 lm	–	0,7 W	0,4	12
6	19201	F65 LED 6 W IP65 SE 3H	SE	3 h	NiMH 4,8 V 1,7 Ah	10 ks	70 lm	–	1,5 W	0,4	12
8	19202	F65 LED 8 W IP65 SE 1H	SE	1 h	NiCd 4,8 V 0,75 Ah	16 ks	112 lm	–	0,7 W	0,6	12
8	19203	F65 LED 8 W IP65 SE 3H	SE	3 h	NiMH 4,8 V 1,7 Ah	16 ks	112 lm	–	1,5 W	0,6	12
8	19204	F65 LED 8 W IP65 SA 1H	SA	1 h	NiCd 4,8 V 0,75 Ah	16 ks	112 lm	56 lm	1,4 W	0,6	12
8	19205	F65 LED 8 W IP65 SA 3H	SA	3 h	NiMH 4,8 V 1,7 Ah	16 ks	112 lm	56 lm	2,7 W	0,6	12
11	19206	F65 LED 11 W IP65 SE 1H	SE	1 h	NiCd 4,8 V 0,75 Ah	20 ks	140 lm	–	0,7 W	0,6	12
11	19207	F65 LED 11 W IP65 SE 3H	SE	3 h	NiMH 4,8 V 1,7 Ah	20 ks	140 lm	–	1,5 W	0,6	12
11	19208	F65 LED 11 W IP65 SA 1H	SA	1 h	NiCd 4,8 V 0,75 Ah	20 ks	140 lm	70 lm	1,6 W	0,6	12
11	19209	F65 LED 11 W IP65 SA 3H	SA	3 h	NiMH 4,8 V 1,7 Ah	20 ks	140 lm	70 lm	2,9 W	0,6	12
24	19210	F65 LED 24 W IP65 SE 1H	SE	1 h	NiCd 2× 4,8 V 0,75 Ah	32 ks	224 lm	–	0,9 W	0,8	12
24	19211	F65 LED 24 W IP65 SE 3H	SE	3 h	NiMH 2× 4,8 V 1,7 Ah	32 ks	224 lm	–	2,2 W	0,8	12
24	19212	F65 LED 24 W IP65 SA 1H	SA	1 h	NiCd 2× 4,8 V 0,75 Ah	32 ks	224 lm	112 lm	2 W	0,8	12
24	19213	F65 LED 24 W IP65 SA 3H	SA	3 h	NiMH 2× 4,8 V 1,7 Ah	32 ks	224 lm	112 lm	3,7 W	0,8	12

* Minimální garantovaný světelný tok podle EN 60598-2-22

