

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**  
**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Návrh záložního elektrického napájecího systému pro  
středně velký podnik**

*Originál (kopie) zadání BP/DP*

**Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na problematiku záložních napájecích systémů, důležitosti jejich využití v konkrétních objektech a jejich rozdělení z technologického hlediska, a také dle druhů topologií. Práce se dále zabývá využitím těchto systému pro náhradní nouzové osvětlení a jeho dalších specifik. Součástí bakalářské práce je také konkrétní návrh systému záložního napájení pro Ústav organické chemie a biochemie AV ČR (ÚOCHB AV ČR), včetně jednopólového schématu zapojení a výsledné zhodnocení návrhu.

**Klíčová slova**

Záložní napájecí systémy, baterie, setrvačníky, nouzové osvětlení, UPS, dieselagregát

**Abstract**

The bachelor thesis is focused on backup power systems, the importance of their use in specific objects and their distribution from the technological point of view, and also by types of topologies. The study also discusses the use of these systems for alternative emergency lighting and other specifics. Part of my this work is also a concrete design of a backup power system for the Institute of Organic Chemistry and Biochemistry of the Czech Republic, including single-line diagram a final evaluation of the project.

**Key words**

Backup power systems, batteries, flywheels, emergency lighting, UPS, diesel generator

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....

podpis

V Praze dne 31.5.2015

Martin Húdek

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Slukovi a Ing. Karlovi Kuchtovi, CSc. za cenné profesionální rady a připomínky. Dále také vedoucímu bakalářské práce Ing. Milanu Bělíkovi Ph.D., za metodické vedení práce.

## Obsah

<b>OBSAH .....</b>	<b>7</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>2 SYSTÉMY ZÁLOŽNÍHO NAPÁJENÍ.....</b>	<b>10</b>
2.1 PORUCHY V SÍTI .....	10
2.2 ROZDĚLENÍ OBJEKTŮ.....	11
<b>3 PŘEHLED TOPOLOGIÍ UPS.....</b>	<b>13</b>
3.1 PASIVNÍ TOPOLOGIE .....	13
3.2 INTERAKTIVNÍ TOPOLOGIE .....	14
3.3 PASIVNÍ TOPOLOGIE S FERORESONANČNÍM REGULÁTOREM.....	15
3.4 ONLINE TOPOLOGIE S DVOJITOU KONVERZÍ.....	18
3.5 ONLINE TOPOLOGIE S DELTA KONVERZÍ .....	19
<b>4 TECHNOLOGIE UPS.....</b>	<b>22</b>
4.1 BATERIE.....	22
4.2 SETRVAČNÍKY .....	22
<b>5 NOUZOVÉ OSVĚTLENÍ - OBECNĚ .....</b>	<b>25</b>
5.1 ÚVOD.....	25
5.2 NOUZOVÉ ÚNIKOVÉ OSVĚTLENÍ .....	26
5.2.1 <i>Protipanické osvětlení.....</i>	<i>27</i>
5.2.2 <i>Nouzové osvětlení prostorů s velkým rizikem .....</i>	<i>27</i>
5.2.3 <i>Nouzové osvětlení únikových cest .....</i>	<i>28</i>
5.3 NAPÁJENÍ NOUZOVÉHO OSVĚTLENÍ .....	28
<b>6 PRAKTICKÁ ČÁST – NÁVRH ŘEŠENÍ ZÁLOŽNÍHO NAPÁJENÍ .....</b>	<b>30</b>
6.1 VÝCHOZÍ PODKLADY ZADAVATELE.....	30
6.2 VÝPOČETNÍ ČÁST .....	32
6.2.1 <i>Návrh UPS.....</i>	<i>32</i>
6.2.2 <i>Návrh dieselagregátu.....</i>	<i>34</i>
6.3 ZHODNOCENÍ NÁVRHU .....	37

<b>7 ZÁVĚR.....</b>	<b>38</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>39</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>41</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>42</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>43</b>



# 1 Úvod

V dnešní době se můžeme setkat v průmyslu s nepřehledným množstvím různých druhů elektrických zařízení. Spolehlivý chod těchto zařízení je pro provozovatele v mnoha směrech klíčový a přerušení dodávky způsobené nízkou kvalitou napětí je vždy nepříjemné. A to jak ve výrobním průmyslu vyžadujícím kontinuální výrobní proces, tak i v budovách jako jsou divadla a kina, kde jsou osoby shromažďovány v omezených prostorech. Při přerušení dodávky elektrické energie tak může dojít k velkým finančním ztrátám, v případě veřejných prostor a nemocnic i k ohrožení lidských životů.

Valná většina elektrických přístrojů a zařízení, je schopna fungovat pouze za daných podmínek a jejich napájení tak musí splňovat kritéria zahrnující např. jmenovité napětí, frekvenci, nebo fázovou symetrii, stanovená výrobcem. Provoz zařízení mimo tyto mezní hodnoty sebou přináší menší výkonost, nárůst ztrát, popřípadě úplné přerušení chodu zařízení. Pro chod zařízení je tedy kvalita napětí rozhodující.

Návrh záložního elektrického napájecího systému by měl být vždy kompromisem, mezi požadavky spotřebitele na spolehlivost a kvalitu dodávky a mezi finanční stránkou zohledňující úvodní investice i provozní náklady.

Předkládaná práce se ve své praktické části zaměřuje na návrh záložního elektrického napájecího systému pro středně velký podnik, konkrétně se jedná o budovy Ústavu organické chemie a biochemie AV ČR. Práce bude také obsahovat zhodnocení návrhu pro náhradní elektrické napájení jednotlivých částí objektu při použití všech dostupných zdrojů, jako jsou dieselagregáty, UPS, bateriové zdroje atd.

V řešeršní části se budu zabývat základním uvedením do problematiky napájecích systémů, základní rozdělení použitelných zdrojů a jejich využití v praxi na základě požadavků technických předpisů a norem. Společně s tím se také zaměřím na zabezpečení záložního elektrického napájení pro účely nouzového osvětlení, včetně náhradního a protipanického osvětlení. Konkrétně na specifické požadavky týkající se napájení nouzového náhradního osvětlení.

## 2 Systémy záložního napájení

Záložní napájecí systémy musejí být navrženy tak, aby v případě výpadku primárního napájení dokázaly toto napájení nahradit ve stejné, nebo lepší kvalitě. Proto tyto systémy musejí splňovat požadavky a to především na rychlost připojení k zátěži a minimální dobu, po kterou jsou schopny zátěž napájet. Tyto požadavky musí systém splňovat zároveň s ohledem na nízké náklady na instalaci a údržbu. Aktuální technologie sice umožňují sestavit systémy s vysokou kvalitou dodávaného napětí, stejně tak i spolehlivostí dodávky a vysokou kapacitou, i pro zátěže s velkým odběrem, nicméně úvodní investice do takového systému je velmi vysoká a doba finanční návratnosti velice dlouhá, proto se záložní systémy napájení navrhuji jen jako dočasné řešení, které objekt zásobuje el. energií jen po dobu nezbytně nutnou.

### 2.1 Poruchy v síti

Systémy záložního napájení jsou zřizovány, aby zabránily nejčastějším poruchám v síti. Mezi tyto poruchy se řadí:

a) Přepětí

Neboli napětí, které svojí velikostí převyšuje amplitudu jmenovitého napětí. Vyskytovat se mohou různé druhy přepětí, které se mohou lišit původem vzniku, velikostí a časovým průběhem.

b) Podpětí

Opačný jev vůči přepětí, napětí je v tomto případě pod úrovní jmenovitého napětí. Příčinou mohou být poddimenzované průřezy venkovních i vnitřních rozvodů, úbytky napětí na zkorodovaných svorkách atp.

c) Napěťové špičky

Jedná se o krátkodobý nárůst napětí až o desítky procent.

d) Krátkodobý výpadek

Velice krátké přerušení dodávky elektrické energie (dva sinusové cykly a méně).

Důvodem vzniku může být připojení velmi vysoké zátěže do sítě.

e) Úplný výpadek dodávky (Tzv. „blackout“)

f) Změna frekvence

Tato porucha u nás není příliš obvyklá, jedná se o odchylky od frekvence 50 Hz.

g) Harmonické zkreslení

Způsobené velkou nelineární zátěží připojenou v síti. Způsobuje, že napětí nemá ideální sinusový průběh.

#### h) Rušení v síti

Šum v síti mohou způsobovat vadné nebo nevhodně navržené elektrické zařízení.

Ze statistik vyplývá, že nejčastější formou poruch v sítích jsou krátkodobé poruchy s dobou trvání cca 3s způsobené převážně počasím a povětrnostními vlivy. Dlouhodobější poruchy a naprosté výpadky dodávek el. energie jsou tedy zastoupeny v jednotkách procent. [1][2][3]

## 2.2 Rozdělení objektů

Poměrně velkou roli při návrhu má důležitost objektu a jeho částí, pro který záložní napájecí systém realizujeme. Zálohování objektů a jejich částí/zařízení je možné podle důležitosti rozdělit do několika základních kategorií, podle kterých je možné určit vhodný typ zálohování.

### Nízká důležitost

Do kategorie objektů s nízkou důležitostí patří panelové nebo rodinné domy, popř. jiné objekty nebo jejich části, kde sebou dlouhodobější výpadky v řádech desítek minut nenesou výraznější potíže.

### Střední důležitost

V této kategorii nalezneme již velmi důležitá zařízení, jako jsou nouzová osvětlení v průmyslu, nebo veřejných objektech (kina, divadla), ale také napájení výtahů pro dojezd do stanice při výpadku proudu atp.

### Vysoká důležitost

Za objekty s vysokou důležitostí považujeme takové, kde porucha v dodávce el. energie nesmí přesáhnout 1s. Typickým příkladem jsou nemocnice, kde by delší výpadky mohli vést k ohrožení zdraví pacientů

### Velmi vysoká důležitost

Jsou objekty a zařízení, u kterých nesmí dojít k výpadku napájení. Nepřetržitý provoz je bezpodmínečně nutný z hlediska ochrany zdraví osob, nebo jako prevence velkých finančních ztrát. Příkladem mohou být objekty jaderných elektráren, vládní a vojenské objekty atp. [4]

Tab. 1 Kategorie důležitosti objektu dle spolehlivosti [4]

Kategorie důležitosti	Kritéria spolehlivosti
Nízká	Akceptovatelný výpadek v řádech desítek minut
Střední	Přerušeni dodávky akceptovatelné v řádech desítek sekund
Vysoká	Výpadek napájení na dobu max. 1s
Velmi vysoká	V této kategorii nesmí dojít k výpadku napájení

### 3 Přehled topologií UPS

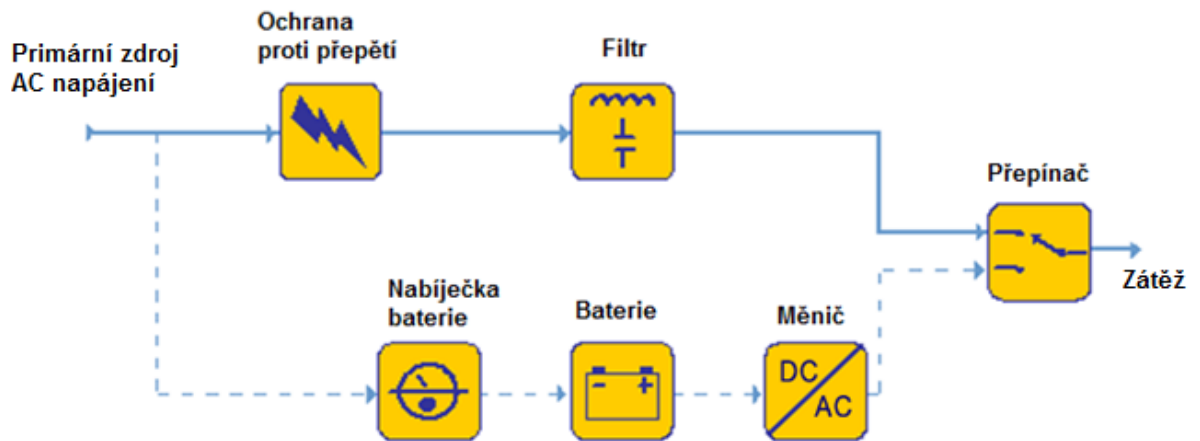
V dnešní době existuje mnoho druhů systému nepřerušitelných zdrojů energie neboli UPS. I přes to, že od některých druhů se v dnešní moderní době začíná upouštět, nedá se říct, že by existoval jeden ideální záložní zdroj pro všechny druhy aplikací. Každý z níže uvedených typů designů má své slabé a silné stránky a je tedy vhodný pro rozdílné druhy aplikací.

Výrobci se dnes produkují obrovské množství typů UPS v nejrůznějších designech, všechna tato zařízení je však možno rozdělit do několika základních topologií, které si rozebereme níže.

- Pasivní topologie
- Interaktivní topologie
- Pasivní topologie s ferorezonančním regulátorem
- Online topologie s dvojitou konverzí
- Online topologie s delta konverzí

#### 3.1 Pasivní topologie

Záložní zdroje využívající pasivní topologii patří mezi nejpoužívanější typ pro zálohování stolních počítačů podobných zařízení s nízkým výkonem. Princip funkce je možné vidět na blokovém schématu na *Obr. 1*, před výstupní zátěž je zapojen přepínač, který jako primární zdroj při normálním chodu využívá střídavé napětí, které je filtrováno. Toto napájení zároveň slouží po průchodu usměrňovačem i pro dobíjení záložních baterií. V případě výpadku primárního napájení přepínač přepne zátěž na záložní zdroj (baterie). Prodleva mezi přepnutím na baterie se pohybuje okolo 10 – 25 ms. Jelikož baterie produkují stejnosměrný napětí, je v obvodu nutný ještě měnič (střídač), který z tohoto napětí vytvoří střídavé. Měnič je tedy v tomto případě neaktivní až do té doby, dokud nenastane porucha primárního napájení, proto je tato topologie nazývána jako pasivní, nebo také offline.



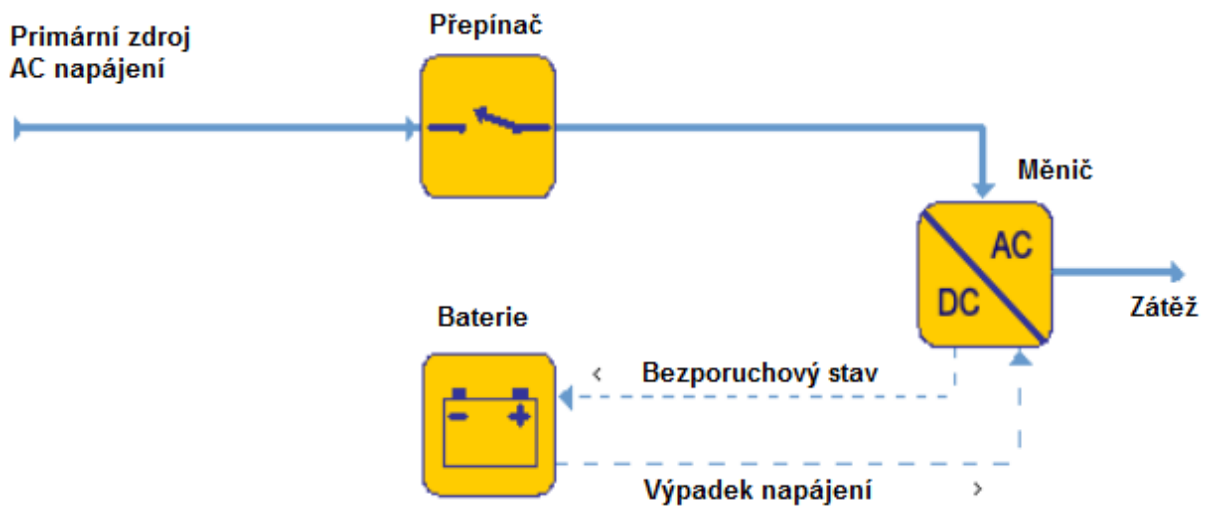
Obr. 1 Blokové schéma pasivní (offline) UPS [5]

Pasivní topologie je nevhodná v případě, kdy má primární zdroj AC napájení nízkou kvalitu (např. elektrorozvodné sítě poblíž průmyslových objektů), protože není schopen úpravy podpětí nebo přepětí, či pokud u něj dochází k častému přerušení. Mezi hlavní výhody tohoto systému patří vysoká účinnost a zároveň zachování malých rozměrů. Při použití kvalitního filtru a přepěťového ochrany, může i tento systém poskytovat solidní ochranu proti přepětí a schopnost filtrovat napětí. Vzhledem k jednoduchosti topologie pak také mezi nesporné výhody patří nízká pořizovací cena. [1] [5] [6] [7]

### 3.2 Interaktivní topologie

Princip interaktivní topologie spočívá ve využití měniče jako aktivního prvku, který je neustále připojen k výstupní zátěži. Za bezporuchového stavu tak měnič funguje jako filtr primárního AC zdroje a také jsou pomocí něj dobíjeny baterie. V případě poruchy dojde k rozepnutí spínače a zátěž začne být napájena z baterií. Doba mezi výpadkem primárního napájení a přepnutím na baterie je v tomto případě okolo 4–10 ms.

V tomto systému také bývá využito prvku pro regulaci vstupního napětí. Tato regulace napětí je velmi důležitá, jelikož v případě poklesu napětí z primárního zdroje by systém UPS přešel automaticky na záložní napájení. Časté připojování záložního zdroje se však negativně odrazí na životnosti baterií. Z tohoto důvodu je často pro regulaci napětí využíváno autotransformátoru s přepínačem odboček. Spolehlivost této topologie může být zvýšena použitím měniče, který je navržen tak, že v případě jeho selhání může primární zdroj stále napájet výstupní zátěž. Tímto je odstraněno jedno z míst potenciální poruchy a zátěž tak má k dispozici dvě nezávislé trasy napájení.



Obr. 2 Blokové schéma interaktivní UPS [5]

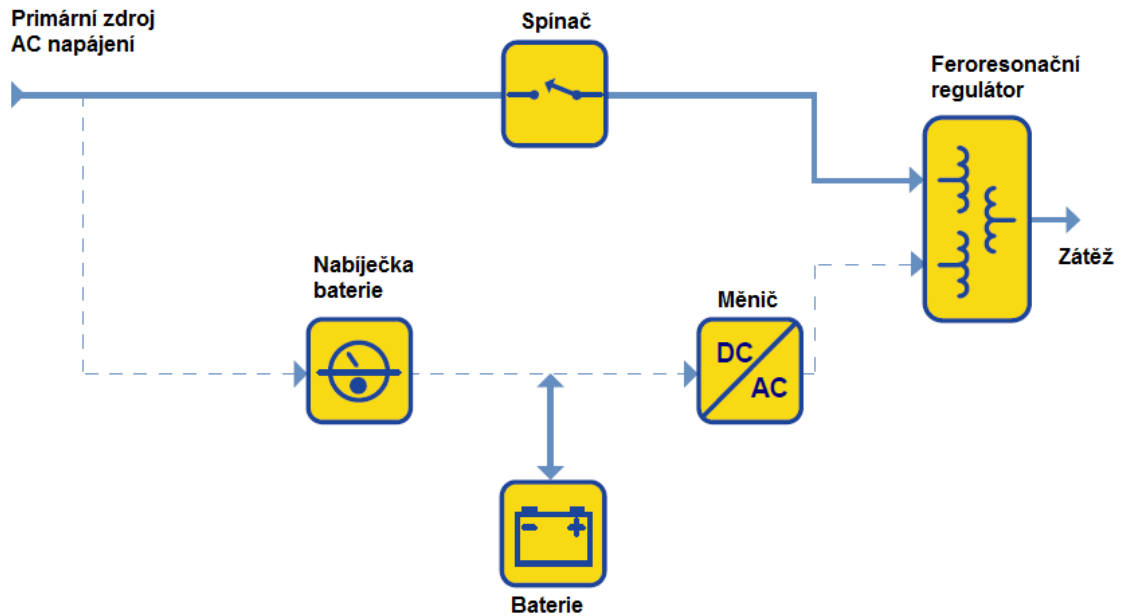
Výhodou oproti pasivnímu provedení UPS je tedy schopnost stabilizovat napětí z primárního napájecího zdroje, aniž by došlo k přepnutí na baterie. K tomu dochází až při nestabilitách v napětí, které není možné doregulovat autotransfornátorem. Díky svým vlastnostem (vysoká účinnost, možnost stabilizace napětí, kompaktní rozměry) a stále relativně nízké pořizovací ceně je tento typ topologie nejčastěji využíván pro zálohování zařízení, jako jsou servery a počítačové stanice ve výkonovém rozsahu 0,5–5 kVA.

[1] [5] [6] [7]

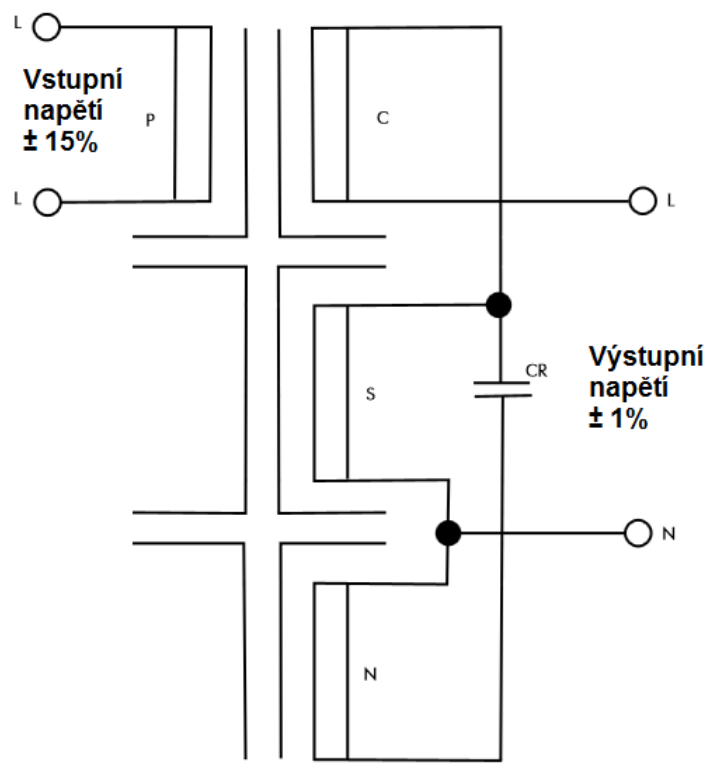
### 3.3 Pasivní topologie s ferorezonančním regulátorem

V topologie s ferorezonančním regulátorem je měnič využíván jako pasivní prvek, do obvodu je tedy připojován až v případě poruchy primárního napájení, kdy dojde k rozepnutí přepínače a zátěž začne být napájena z baterií. Tato technologie byla dříve dominantní pro zálohování v rozsahu výkonů 3–15 kVA, dnes je již využívána jen okrajově ve speciálních aplikacích.

Ferorezonanční regulátor, někdy také nazývaný jako CVT transformátor, nebo transformátor konstantního napětí je speciální druh transformátoru, který je složen z primárního vinutí a tří sekundárních vinutí s paralelně zařazeným kondenzátorem, zjednodušené schéma je zobrazeno na Obr. 4.



Obr. 3 Blokové schéma pasivní topologie s ferroresonančním regulátorem [5]



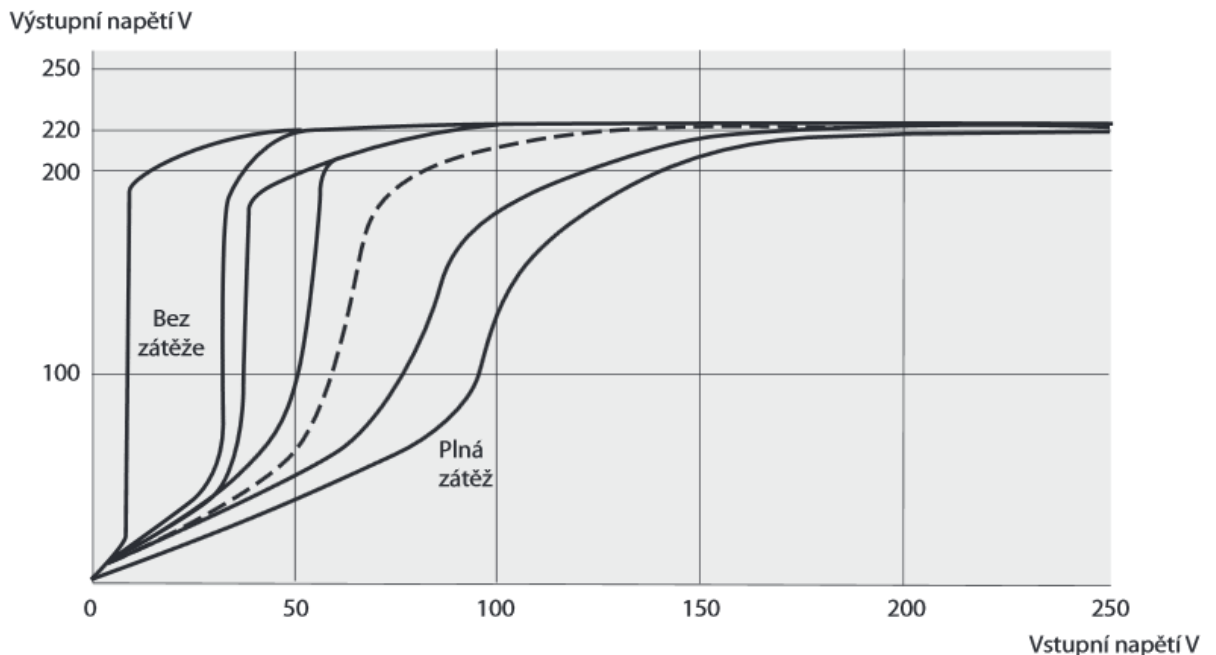
Obr. 4 Základní obvod transformátoru konstantního napětí [8]

Sekundární strana transformátoru je tedy rozdělen do kompenzačního (C), sekundárního (S) a nulového (N) vinutí. Sekundární a nulové vinutí jsou od primárního oddělena magnetickými bočníky, které mají v porovnání s centrální částí jádra transformátoru velmi



vysoký magnetický odpor. Bočníky tak produkují rozptylovou indukčnost, která společně s kondenzátorem (CR) vytvářejí rezonanční obvod.

Při zvýšení vstupního napětí tedy zároveň narůstá i magnetický tok centrální části jádra, a to do té doby, dokud není induktivní reaktance sekundárního vinutí shodná s reaktancí kondenzátoru. V tuto chvíli je výstupní napětí poměrně vysoké, i přes to že napětí na vstupu je relativně malé, viz vstupně/výstupní charakteristiky v závislosti na zatížení transformátoru, zobrazené na *Obr. 5*.



*Obr. 5 Vstupně/výstupní charakteristiky v závislosti na zatížení transformátoru [8]*

Neutralizační vinutí je schopno vyhladit zkreslení výstupního napětí z 20 % na cca 3 %. Celková stabilita sekundárního vinutí je dána napětím generovaným v kompenzačním vinutí a tokem v jádru transformátoru, regulace výstupního napětí je tak možná pouze pomocí přepínače odboček na sekundární straně transformátoru.

Mezi přednosti tohoto uspořádání patří vysoká spolehlivost a především schopnost udržovat výstupní napětí na vysoké hladině i při nízkém vstupním napětí, za podmínky nízkého zatížení. Z charakteristik na *Obr. 5* vyplývá, že regulátor je při zátěži 25 % schopen udržet výstupní napětí v hladině jmenovitého ( $\pm 5\%$ ), i v případě, že vstupní napětí je pouze na 35 % nominálního napětí. I přes tyto výhody se však od topologie s feroresonančním regulátorem upouští, důvodů proč je tomu tak je několik. Za prvé, k dosažení konstantního výstupního napětí, pracuje jádro transformátoru se saturací.

Díky tomu vznikají v okolí transformátoru silná magnetická pole, která mohou narušit

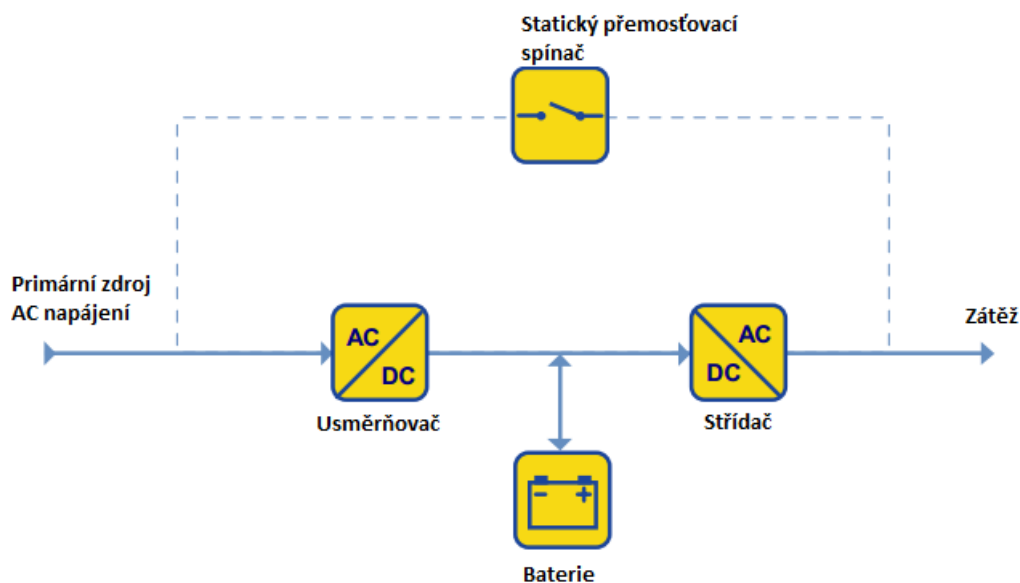
činnost jiných zařízení umístěných v blízkosti transformátoru. Za další ferorezonanční regulátor je ze své podstaty proudově limitován při přetížení, což je v případě přetížení sice pozitivní vlastnost, nicméně v případě napájení zátěží, které vyžadují spouštění rázovými proudy, jako jsou motory a spínané zdroje, je tato vlastnost spíše nevýhodou. Nemalou měrou k opouštění této technologie také přispěly moderní počítačové systémy, jelikož veškeré síťové prvky těchto systémů používají napájecí zdroje s korekcí účinníku, které pro svůj chod potřebují odebírat proud kapacitního charakteru. Ferorezonanční UPS systémy však nejsou schopny toto zajistit, jelikož využívají jádrové transformátory s induktivní charakteristikou.

[5] [6] [7] [8]

### 3.4 Online topologie s dvojitou konverzí

Jedná se o základní konstrukční řešení UPS pro objekty, pro které je klíčová nepřetržitá ochrana napájených zařízení před všemi základními problémy napájení z elektro-rozvodné sítě, jako jsou servery i IT zařízení v serverových místnostech a datových centrech. U tohoto typu zabezpečení napájení případný výpadek proudu nezpůsobí přepnutí spínače, jelikož vstupní střídavé napětí je přivedeno přes usměrňovač přímo na baterii, která je tímto způsobem neustále dobíjena a zajišťuje tak samotné výstupní napájení připojené zátěže, viz *Obr. 6*. Díky tomu je zabezpečená konzistentní kvalita napájení a v případě výpadku se okamžitě přechází na záložní napájení z baterií, přičemž konstrukce topologie zaručuje přepnutí prosté jakýchkoliv přechodných jevů. Pro případ interní poruchy UPS je instalován statický přemostovací spínač, který zajistí napájení připojených zařízení přímo z veřejné elektrické sítě až do odstranění poruchy.

Výstupní napájení zátěže má v tomto případě téměř ideální elektrické parametry. Nicméně neustálá zátěž na výkonových součástech sebou nese určité nevýhody. Jelikož usměrňovač i střídač nepřetržitě převádějí celý tok energie do zátěže, dochází tak k jejich zvýšenému namáhání, což se nepříznivě projevuje na jejich životnosti a má za následek nižší spolehlivost a účinnost oproti jiným výše zmíněným systémům. Dalším nevýhodou může být, že energie odebíraná na vstupní straně pro dobíjení baterie je často nelineární a jako taková může tedy nepříznivě ovlivňovat elektrické rozvody v budově, nebo způsobovat problémy pasivním záložním zdrojů, pokud jsou takové přítomny. [1] [5] [6] [7]

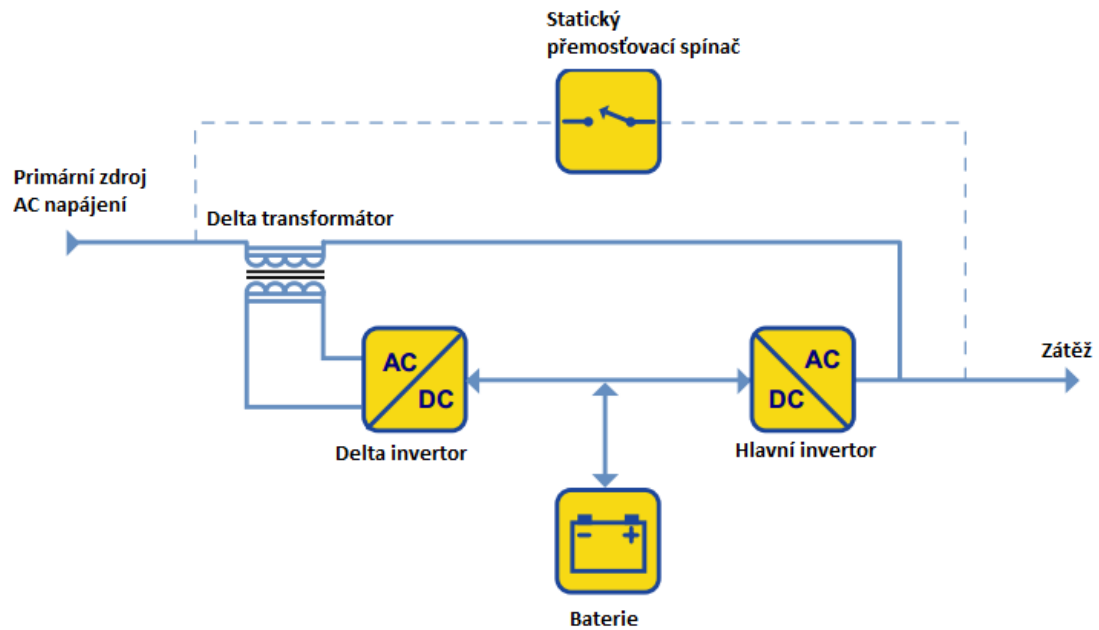


Obr. 6 Blokové schéma online topologie s dvojitou konverzí [5]

### 3.5 Online topologie s delta konverzí

Tento typ technologie záložních zdrojů byl vyvinut na počátku roku 2000 a principiálně vychází z online topologie s dvojitou konverzí, kterou však dále rozvíjí za účelem odstranění veškerých nedostatků, které tato topologie obnáší. Nejčastějším způsobem použití bývá zálohování datových center, budov a průmyslových aplikací v rozsahu 5 kVA až 1,6 MVA.

Z Obr. 7 je možné si všimnout, že blokové schéma obsahuje oproti dvojitě konverzi jeden důležitý prvek navíc, a tím je delta transformátor, který je zařazen před delta invertor. Díky němuž nedochází k přenosu veškeré energie, ale pouze rozdílu mezi vstupní hodnotou a momentálně potřebnou výstupní hodnotou střídavé energie na zátěži. Rozdíl mezi vstupním a výstupní hodnotou je pak korigován pomocí delta invertoru, který má v systému hned několik funkcí. Za prvé řídí vstupní charakteristiky napájení, stará se o synchronizaci frekvence, korekci vstupního účinníku a odebírá energie v podobě sinusového signálu, čímž koriguje harmonické kmity odražené zpátky do systému na minimum. Mezi další funkce patří řízení vstupního proudu a s tím vázaná regulace dobíjení baterie, kontrolu výstupního napětí a v neposlední řadě také napájení zátěže připojené k UPS, při výpadku primárního zdroje napájení.



Obr. 7 Blokové schéma online topologie s delta konverzí [5]

Výstupní střídavé napětí má čistý sinusový průběh. UPS systémy s delta konverzí se vyznačují stejnými výstupními charakteristikami jako ty s dvojitou konverzí, oproti tomu vstupní charakteristiky se velmi liší, protože delta konverzní systémy poskytují dynamicky řízený vstup s korekcí účinníku, bez zbytečného použití filtrů, které známe z ostatních topologií. Tato technologie zaručuje vysokou účinnost, malé tepelné ztráty, kompatibilitu se všemi typy generátorů a snižuje náklady na potřebu instalačních materiálů a naddimenzování motorgenerátorů. Stejně jako v případě dvojitě konverze je zde v případě poruchy UPS instalován statický přemosťovací spínač, pro zajištění napájení připojené zátěže do doby, než bude závada odstraněna. [1] [5] [6] [7]

Tab. 2 Shrnutí jednotlivých konstrukčních provedení [5]

	Rozsah výkonu (kVA)	Možnost úpravy napětí	Účinnost	Výhody	Omezení	Cena za VA	Použití
Pasivní topologie	0-0,5	Nízká	Velmi vysoká	Nízká cena, vysoká účinnost, malé rozměry	Používá baterii při dočasném poklesu napětí v síti, nepraktické přes 2 kVA	Nízká	Vhodné pro osobní pracovní stanice
Interaktivní topologie	0,5-5	V závislosti na návrhu	Velmi vysoká	Vysoká spolehlivost, vysoká účinnost, dobrá úprava napětí	Nepraktické přes 5 kVA	Střední	Ideální pro stojanové, nebo distribuované servery a pro prostředí s problematickým napájením
Pasivní topologie s feroresonančním regulátorem	3-15	Vysoká	Střední	Znameníta úprava napětí, vysoká spolehlivost	Nízká účinnost, nestabilita v kombinaci s některými zařízeními a generátory	Vysoká	Omezená aplikace kvůli nízké účinnosti a problémům s nestabilitou, konstrukční návrh N+1 online poskytuje ještě vyšší spolehlivost
Online topologie s dvojitou konverzí	5-5000	Vysoká	Střední	Znameníta úprava napětí, snadné paralelní použití	Nízká účinnost, nákladné na provoz pod 5 kVA	Střední	Velmi vhodný pro konstrukční návrh N+1
Online topologie s delta konverzí	5-5000	Vysoká	Vysoká	Znameníta úprava napětí, vysoká účinnost	Nepraktické použití v systémech pod 5 kVA	Střední	Vysoká účinnost snižuje hlavní energetické náklady v rozsáhlých instalacích

## 4 Technologie UPS

### 4.1 Baterie

Nedílnou součástí všech jednotlivých topologií jsou baterie. Ve většině případů se jedná o olověné akumulátory, které sebou nesou určité nevýhody, mezi které patří zejména životnost. Ta je výrobcem většinou udávána při konstantní teplotě a ne pro nadměrné cyklické zatěžování, což je problematické u objektů, ve kterých dochází často ke krátkodobým výpadkům napájení. Při každém takovémto připojení k zátěži dochází ke snižování celkové životnosti baterií. Dalším problémem jsou případy, kdy dojde k hlubokému vybití baterii. K tomu může dojít, pokud je výpadek delšího charakteru a zátěž je nutné napájet déle, než se v návrhu předpokládalo. Obecně vzato tento jev nastává u olověných baterií ve chvíli, kdy hodnota napětí klesne pod 1,8 V/článek. Baterie tak vyžadují pravidelnou diagnostiku a údržbu, aby v případě, že se životnost baterie blíží ke konci, mohli být vyměněny za nové a nebyla tak ovlivněna funkčnost UPS. [9]

### 4.2 Setrvačníky

V posledních letech jsou však stále oblíbenější náhradou, případně doplňkem bateriových systémů také setrvačníky. Setrvačníky jsou disky o dané velikosti a hmotnosti rotující okolo své osy ve velmi vysokých otáčkách, které je možné použít jako úložiště energie. Během bezporuchového provozu jsou tedy napájeny z primárního zdroje přes usměrňovač a přeměnou el. energie na kinetickou dochází tak k jejich roztočení. Při této přeměně dochází sice k energetickým ztrátám a přeměna energie tak není nijak vysoce efektivní, ale z pohledu záložního napájení je tento fakt zanedbatelný, jelikož po roztočení je setrvačnický zdroj udržován na provozních otáčkách pomocí hlavního napájecího zdroje. V případě výpadku primárního napětí jsou setrvačníky spolehlivým a stabilním zdrojem energie, který je schopen za pomoci střídače dále napájet zátěž.

V plášti setrvačnického disku jsou budící cívky, vytvářející elektrické pole a také cívky kotvy sloužící k roztáčení setrvačnického disku a jeho udržení v otáčkách. Při generátorovém chodu setrvačnického disku působí cívky jako stator přeměňující energii uloženou v točící se části setrvačnického disku na elektrickou energii.

Při ztrátě napětí v rozvodné síti, nebo pokud napětí v síti není ve stanovených mezích, stává se setrvačnický zdroj generátorem, který zabezpečuje energii pro zálohované spotřebiče. Vynakládaná energie začne zpomalovat otáčky setrvačnického disku, v důsledku čehož klesá jeho výstupní napětí i kmitočet. Toto napětí a kmitočet je převáděno pomocí měniče na stejnosměrné napětí a zpět na

stanovené napětí a kmitočet pro danou zátěž. V případě, kdy se obnoví přívod energie z rozvodné sítě, popř. dojde-li k přepnutí na jiný zdroj energie (např. dieselaagregát), setrvačnick se znovu roztočí na své jmenovité otáčky.

Aktuálně jsou setrvačnick vyráběny pomocí technologie, která umožňuje, aby se náboj setrvačnicku, tvořený rychle se otáčejícím rotačním měničem s permanentním magnetem a bezkontaktním magnetickým ložiskem, rotoval bez přímého kontaktu s kovem. Zamezuje tak opotřebení ložiska vlivem tření a eliminuje potřeba mazání další běžně nutné údržby. Takovéto ložisko je tedy bezúdržbové a není nutné jej za dobu životnosti setrvačnicku měnit.

Vzhledem k tomu, že setrvačnick ukládají energii kinetickou, jsou také mnohem šetrnější k životnímu prostředí než klasické akumulátory, kde je pro uložení zapotřebí chemického procesu. Krom toho setrvačnick je schopen častého opakovaného nabití a vybití bez negativního vlivu na jeho životnost, je tedy předurčen pro stabilizaci napětí a překlenutí doby výpadku na místech, kde je nízká kvalita napájecí sítě a dochází k častým krátkodobým výpadkům, nebo poklesům napětí v dodávce el. energie.

Právě hmotnost setrvačnicku a rychlost jeho otáčení je určujícím faktorem pro to, kolik energie je možné do něj. Dle Newtonovy mechaniky obecně platí:

$$E = \frac{1}{2} m \omega^2, \quad (1)$$

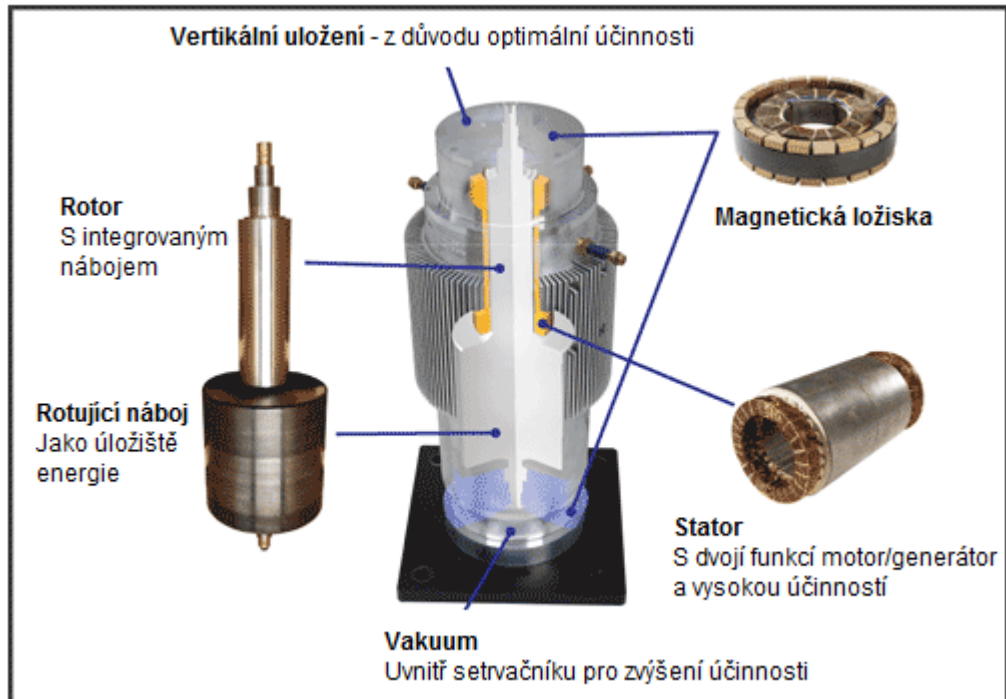
kde  $E$  je kinetická energie rotujícího tělesa,  $m$  hmotnost a  $\omega$  úhlová rychlost.

V případě setrvačnicku je nutné vzorec ještě rozšířit:

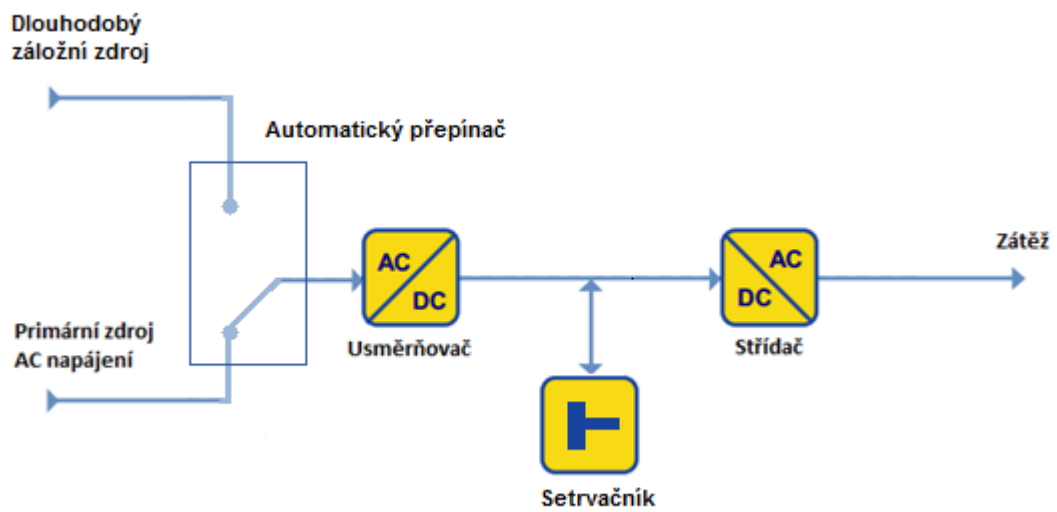
$$E = k \frac{1}{2} m \omega^2, \quad (2)$$

kde  $k$  je konstanta, jejíž hodnota závisí na tvaru setrvačnicku.

Z výše uvedených rovnic vyplývá, že nejvýhodnějším způsobem zvýšení energetické kapacity setrvačnicku je zvýšení úhlové rychlosti, jelikož ve vztahu vůči kinetické energii se jedná o kvadratickou závislost, kdežto v případě hmotnosti pouze o lineární. Rychlost otáčení má však svoje limita a tak zvláště v případě setrvačnicků určených pro zálohování velkých výkonů je nutné zvyšovat i jejich hmotnost. Moderní setrvačnick kombinující velkou hmotnost i rychlost otáčení tak dnes bez problému dosahují výkonů až 200 kW. Paralelní kombinací je pak možné zálohovat sítě s příkonem v řádech jednotek MW. [4] [10] [12] [18]



Obr. 8 Řez setrvačnickem [18]



Obr. 9 Schéma – příklad použití setrvačnicku [18]



## 5 Nouzové osvětlení - obecně

### 5.1 Úvod

Požadavky na nouzové osvětlení sdružuje norma ČSN EN 1838:2013, která vešla v platnost teprve v květnu roku 2014 a nahradila tak stávající ČSN 1838:1999. Tato nová norma přinesla některé výrazné změny a to především:

- upřesnění týkající se osvětlení důležitých bodů a vnějšího osvětlení,
- osvětlení požárních hlásičů a první pomoci jsou nyní definovány v souladu, bez ohledu na jejich umístění a dále jsou klasifikovány jako provozní vybavení,
- proběhla změna barev a stylu bezpečnostního značení, dle aktualizované normy ISO. [13]

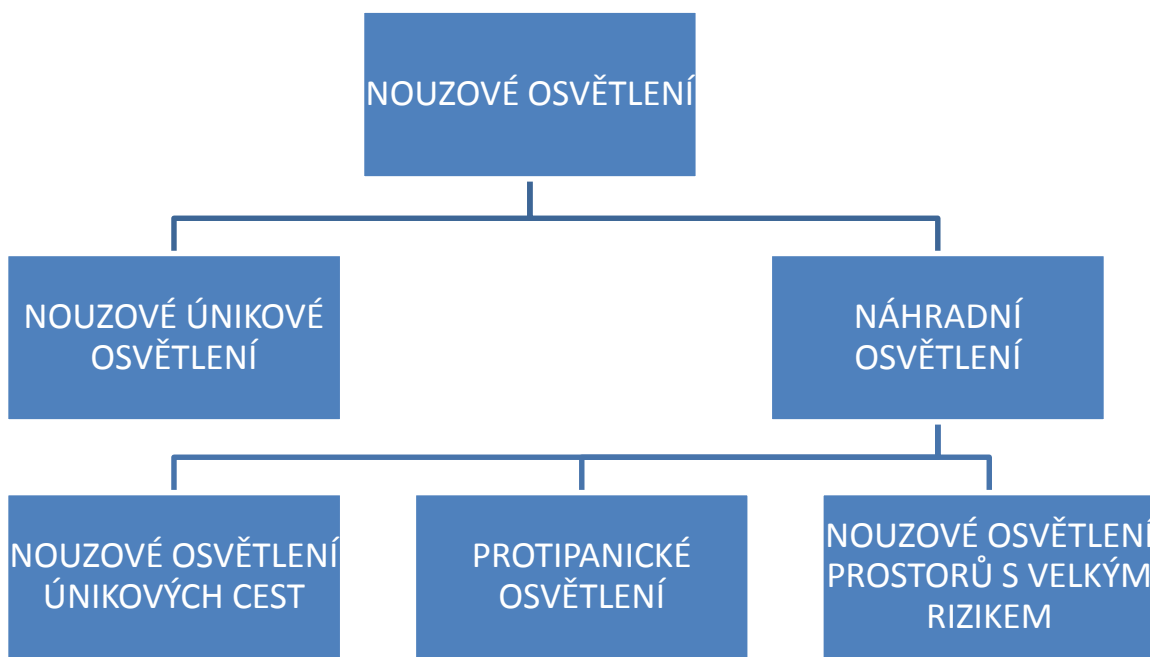
Nouzové osvětlení je tedy nedílnou součástí elektroinstalace každého projektu pro objekty, kde je předpokládána přítomnost většího počtu osob (veřejnosti, nebo zaměstnanců) a hrozí zde tak nebezpečí vzniku paniky při opuštění objektu. Nouzové osvětlení je také nutné zřizovat v prostorách, kde je nutné zajistit bezpečnost osob při potencionálně nebezpečných pracovních procesech, v situacích, kde je nutné dokončit nějaký druh neodkladné činnosti, nebo také kde je nutné zajistit bezpečný odchod z objektu. Typické příklady prostor, kde je nouzové osvětlení vyžadováno, včetně norem které jej popisují, naleznete v *Tab. 3*.

*Tab. 3 Objekty s povinností instalace nouzového osvětlení [13]*

Typ objektu	Konkrétní norma
Prostory s velkým rizikem	ČSN EN 1838
Hotely, penziony, obchody	ČSN 33 2130, ČSN 73 0833
Kina, divadla, multifunkční zařízení	ČSN 33 2410, ČSN 33 2420
Shromažďovací prostory (vnitřní i venkovní) a v provozně souvisejících prostorech za běžného provozu přístupných návštěvníkům shromažďovacího prostoru (hygienické příslušenství, šatny apod.)	ČSN 73 0831
Zdravotnická zařízení, sanatoria	ČSN 33 2140, ČSN 33 2130
Výškové budovy nad devět pater (alespoň na CHÚC)	ČSN 33 2130, ČSN 73 0833
Hlavní rozvodny, rozvodny nouzového napájení, podzemní garáže, výtahy apod.	ČSN 73 08xx
Únikové cesty (chráněné i nechráněné)	ČSN 73 0802, ČSN 73 0810

„Nouzové osvětlení se zřizuje pro použití v případě selhání normálního osvětlení a je proto napájeno ze zdroje nezávislého na tom, který napájí normální osvětlení.“ [13]

Samotný termín nouzové osvětlení je však příliš obecný, jelikož v sobě sdružuje několik typů osvětlení, konkrétní rozdělení zachycuje na *Obr. 10*.



*Obr. 10 Druhy nouzového osvětlení*

Primárním účelem nouzového osvětlení je tedy umožnit osobám opustit bezpečně daný prostor, při výpadku napájení ze sítě. K tomu je ale zapotřebí zajistit vhodné světelné podmínky pro vidění a určení směru na únikových cestách, stejně tak jako zajistit dobré osvětlení prvků bezpečnostních a protipožárních zařízení, aby i v případě výpadku zůstala zachována možnost jejich snadného použití. Ve veřejných prostorech toto osvětlení působí jako prvek určený ke snížení pravděpodobnosti vzniku paniky. [13]

## 5.2 Nouzové únikové osvětlení

Jeho hlavním účelem je zajistit bezpečný odchod z prostorů postižených výpadkem napájení z rozvodné sítě. Podle ČSN 1838:2013 platí, že při evakuaci musí být zajištěno osvětlení v celém prostoru, tak aby byla zajištěna dobrá viditelnost. Toho je dosaženo splněním několika podmínek. Svítidla musí být montována do výšky alespoň 2 m nad podlahou a veškeré značky označující východy, popř. další značky, které jsou určeny pro použití ve stavu nouze, by dle normy měli být takto osvětleny, aby zjednodušovali cestu na bezpečné místo. Svítidla

nouzového osvětlení musí splňovat požadavky ČSN EN 60598-2-22 a musejí být umístěna na takovém místě, aby zajišťovala vhodnou osvětlenost v okolí všech únikových dveří a místech, kde je nutné zdůraznit možné nebezpečí.

Konkrétně se jedná o:

- všechny dveře označené jako nouzový východ,
- schodiště (každá řada schodů musí být osvětlena přímým světlem),
- každou jinou změnu úrovně, nebo změnu směru a křížení chodeb,
- únikové východy a bezpečnostní značky,
- místa první pomoci, požární hlásiče a okolí hasících prostředků.

[13] [14]

### 5.2.1 Protipanické osvětlení

Jedná se o nouzové osvětlení, jehož účelem je zabránit panice a poskytnout vhodné osvětlení pro bezpečné přemístění osob k únikovým cestám.

Pro protipanické osvětlení platí, že hodnota vodorovné osvětlenosti na úrovni podlahy v prázdném prostoru, nemůže být menší než 0,5 lx. Výjimku tvoří pouze pás o šířce 0,5 m podél obvodové zdi místnosti. Zároveň však platí, že poměr maximální a minimální osvětlenosti nemůže přesáhnout 40:1. Po spuštění protipanického osvětlení musí hodnota osvětlenosti dosáhnout maximální požadované hodnoty do 1 min, do 5 s po náběhu však musí být dosaženo min 50% maximální hodnoty osvětlenosti. Minimální doba, po kterou musí osvětlení být schopno funkce, je normou ČSN EN 1838 stanovena na 60 min.

### 5.2.2 Nouzové osvětlení prostorů s velkým rizikem

Je druh nouzového osvětlení, které má zvýšit bezpečnost osob pohybujících se v nebezpečných prostorech, nebo procesech a situacích. Toto osvětlení tedy musí umožňovat bezpečné ukončení práce/činnosti bez ohrožení pro obsluhu přítomnou na místě.

V prostorech s velkým rizikem nesmí být udržována na nižší úrovni, než je 10 % udržované osvětlenosti, požadované pro danou činnost. Celkově ale nemůže klesnout pod hodnotu 15 lx. Toto osvětlení musí být rozmístěno rovnoměrně a nesmí v zorném poli pracovníků způsobovat oslnění, ze stejného důvodu musí být také prosté stroboskopického jevu. Minimální doba funkce nouzového osvětlení pro prostory s velkým rizikem je rovna době trvání daného nebezpečí.

### 5.2.3 Nouzové osvětlení únikových cest

Tento druh nouzového osvětlení byl zaveden za účelem umožnění bezpečného odchodu osob z prostor zasažených výpadkem primárního napájení. Toho je dosaženo zajištěním dobrých světelných podmínek pro orientaci v prostoru na únikových cestách a také pro možnost snadného použití bezpečnostních a protipožárních zařízení.

Únikové cesty do 2 m šíře platí že, horizontální osvětlenost podél osy únikové cesty nesmí být menší než 1lx. Středový pás (jehož velikost je uvažována jako minimálně polovina celkové šířky cesty) musí být osvětlen alespoň na 50 % této hodnoty. Únikové cesty, které přesahují šířku 2 m, mohou být rozděleny na více pásů o délce 2 m, nebo zde může být zřízeno protipanické osvětlení. Stejně jako v případě protipanického osvětlení nesmí poměr max. a min. osvětlenosti podél osy cesty být vyšší než 40:1. Minimální doba svitu nouzového únikového osvětlení je stanovena na 60 min, s tím že do 5 s po náběhu musí dosáhnout 50 % své maximální osvětlenosti a do 1 min musí být dosaženo 100 %. Případnému oslnění osob musí být omezeno umístěním svítidel mimo zorné pole osob. [13] [14] [15]

### 5.3 Napájení nouzového osvětlení

Systémy nouzového (únikového) osvětlení mohou být dvojího provedení. Buď mohou být napájeny z centrálního napájecího systému, nebo z nouzových svítidel s vlastním samonabíjením. V případě centrálního napájecího systému nouzového osvětlení platí, že systém vedení musí zachovat kontinuitu napájení od zdroje k osvětlení i při případném požáru. Pro zajištění této podmínky musí být při návrhu a následné realizaci použito kabelů s vysokou odolností vůči požáru, tak aby byly schopny přenášet energii po odpovídající dobu. Konkrétně zařízení pro bezpečnostní účely (nouzové osvětlení nevyjímaje), od kterých se vyžaduje funkce v podmínkách požáru, musí využívat jeden nebo více z těchto systémů vedení:

- kabely s minerální izolací odpovídající IEC 60702-1 a IEC 60702-2,
- kabely odolné hoření vyhovující příslušné části EN 50200 a EN 60332-1-2,
- systém vedení zajišťující potřebnou ochranu před požárem a mechanickou ochranu. Takovým systémem mohou být např.: vedení v oddělených požárních prostorech, nebo vedení s konstrukčními kryty zajišťujícími potřebnou požární a mechanickou ochranu.

Stejné podmínky platí i pro vedení řídicích a sběrných systémů napojených na zařízení pro bezpečnostní účely, jako jsou právě nouzová světla.

Uvnitř požárních úseků se tedy musí pro napájení nouzového osvětlení používat buď kabely s vysokou odolností proti požáru. Jeli v daném prostoru více než jedno nouzové svítidlo, musí

být navíc použito napájení ze dvou separátních okruhů, aby v případě ztráty jednoho obvodu byla dodržena hladina osvětlení podél únikové cesty. Zároveň s tím také platí, že pokud je použito napájení nouzového osvětlení z oddělených okruhů, musí být nadproudové ochranné přístroje použity tak, aby zkrat v jednom bodě nepřerušil napájení sousedních svítidel. Z žádného koncového obvodu tedy nesmí být napájeno více než 20 svítidel a jejich celkové zatížení nesmí překročit 60 % jmenovitého proudu dané nadproudové ochrany.

Samotné přepnutí z normálního provozu na nouzový musí nastat v situaci, kdy poklesne napětí pod 0,6 násobek jmenovitého na dobu nejméně 0,5 s. Zpět do normálního provozu se systém vrací v případě, že napětí stoupne na min. 0,85 násobek jmenovitého. Jestliže dojde k obnově normálního napájení z rozváděče, musí se nouzové osvětlení automaticky vypnout. [4]

## 6 Praktická část – návrh řešení záložního napájení

Závěrečná část této práce se týká praktického návrhu záložního napájení, konkrétně se jedná o projekt na vytvoření kompletního záložního napájecího systému pro Ústav organické chemie a biochemie AV ČR, dále jen ÚOCHB AV ČR.

### 6.1 Výchozí podklady zadavatele

V případě ÚOCHB AV ČR se nejedná o výstavbu nového objektu, ale pouze o rekonstrukci, v rámci které bylo rozhodnuto o vytvoření záložního napájecího systému.

Jako podklady pro zpracování projektu náhradního zdroje elektrické energie byly použity normy ČSN, technická podklady ke stávající rozvodně NN a požadavky investora. Mezi něž patřilo především naddimenzování dlouhodobého napájecího zdroje, z důvodu brzké rekonstrukce rozvodny, která bude zahrnovat výměnu stávajících dvou transformátorů o výkonu 2x 630 kVA za tři nové s celkovým výkonem 3000 kVA (3x 1000 kVA). Dále také byla prioritou schopnost UPS eliminovat negativní vlivy vznikající v důsledku nekvalitního primárního napájení jako je podpětí, přepětí, harmonické zkreslení apod. Minimální doba, po kterou musí být UPS schopna napájet zátěž, byla zadavatelem stanovena na 1 min.

Dle dokumentace poskytnuté zadavatelem bylo možné určit celkový výkon vývodů a rozvaděčů, u kterých není akceptován žádný výpadek a bude nutné zálohovat pomocí nepřetržitého napájení UPS, a u kterých je akceptován výpadek v řádech desítek sekund, avšak s možností nepřetržitého napájení v případě dlouhodobého výpadku. Vzhledem k požadavku zadavatele na možnost nepřetržitého napájení jedinou vhodnou možností byla volba dieselaagregátu. [16]

*Příloha č.1: 1-pólové schéma zapojení původní rozvodny [16]*

Tab. 4 Seznam nepřetržitě zálohovaných rozvaděčů/vývodů [16]

Rozvaděč	Vývod	Výkon (kVA)
RH1-U	1FA1U	500
	1FA2U	0 (rezerva)
	1FA3U	0 (rezerva)
	1FA4U	0 (rezerva)
	1FA5U	0 (rezerva)
RH2-U	2FA1U	500
	2FA2U	125
	2FA3U	125
	2FA4U	125
	2FA5U	0 (rezerva)
Celkový výkon		1375

Tab. 5 Seznam rozvaděčů/vývodů zálohovaný dieselagregátem [16]

Rozvaděč	Vývod	Výkon (kVA)
RH1-D	1FA1D	800
	1FA2D	0 (rezerva)
	1FA3D	125
	1FA4D	50
RH2-D	2FA1D	500
	2FA2D	125
	2FA3D	0 (rezerva)
	2FA4D	125
	2FA5D	125
Celkový výkon		1850

## 6.2 Výpočetní část

### 6.2.1 Návrh UPS

Činný výkon zátěže:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 400 + 400 + 100 + 100 + 100 = \mathbf{1100 \text{ kW}} \quad (3)$$

Zdánlivý výkon zátěže:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 = 500 + 500 + 125 + 125 + 125 = \mathbf{1375 \text{ kVA}} \quad (4)$$

Proud:

$$I = \frac{S}{U \cdot \sqrt{3}} = \frac{1375000}{400 \cdot \sqrt{3}} = 1984,6 \text{ A} \quad (5)$$

$\cos \varphi_z$  zátěže:

$$\cos \varphi_z = \frac{P}{S} = \frac{1100}{1375} = 0,8 \quad (6)$$

Z vypočítaných hodnot jsem určil dva různé systémy, které jsou výkonově dostačující. První z nich je bateriová UPS Liebert NXL 1100, alternativou k ní je pak rotační UPS CAT 1000iZ. Vzhledem k požadavkům zadavatele na eliminaci negativních vlivů vznikající v důsledku nekvalitního primárního napájení a také k možnosti krátkodobého přetížení systému se setrvačníky, byla tedy vybrána UPS CAT 1000iZ, přestože pořizovací náklady jsou vyšší, než v případě bateriového systému. Bateriový systém by v tomto případě byl nevhodný, vzhledem k tomu, že jeho časté a opakované zatěžování by vedlo ke snižování životnosti akumulátorů. Výběr bateriového systému by tak sebou nesl nutnost pravidelné údržby a diagnostiky a dalších nákladů při výměnách opotřebovaných akumulátorů. Místo konvenčního bateriového systému byla zvolena technologie rotační UPS se setrvačníky celkovém výkonu 1000 kVA. Tato UPS také zajišťuje energii pro startér motoru diesela agregátu společně s akumulátorovou baterií 24 V/1000 A.



Tab. 6 Technická specifikace UPS CAT 1000iZ [11]

VSTUPNÍ PARAMETRY:	
Napětí	400 V; AC; 3+N+PE
Rozsah napětí	+/- 10 % programovatelné
Výkon	1000 kVA/900 kW
Účinit	0,99
Zkreslení sinusového signálu	3% při 100% ohmickém zatížení
Vstupní frekvence	50 Hz +/- 10 % (programovatelné)
Náběh	1-15 s
VÝSTUPNÍ PARAMETRY:	
Jmenovité napětí	Shodné s napětím na vstupu
Rozsah napětí	+/-2 % jm. napětí při symetrickém i nesymetrickém zatížení +/-5 % jm. napětí při 100% rázovém zatížení během 4 ms
Zkreslení napětí	Max. 3 % při plném lineárním zatížení
Výstupní frekvence	50 Hz +/- 0,2 % v generátorickém režimu
Rozsah účinitu zatížení	0,7 induktivní až 0,9 kapacitní
Přetížení	1000 % na 10 ms 500 % na 1 s 200 % na 1 min 25 % na 10 min
Rozměry	6484x2434x864 mm
Hmotnost	9615 kg

Výpočet deformačního faktoru:

$$W = \left(\frac{100}{100+THD}\right)^2 = \left(\frac{100}{100+3}\right)^2 = 0,94 \quad (7)$$

Nelineární příkon:

$$P_z = \frac{P}{W} = \frac{1100}{0,94} = 1170 \text{ kVA} \quad (8)$$

Využití faktorů:

$$p = \frac{\cos \varphi_z}{\cos \varphi_{UPS}} = \frac{0,8}{0,99} = 0,8 \quad (9)$$

Výpočet činného a zdánlivého výkonu UPS

Zadavatelem byla určena min. napájecí doba UPS na 1 min. Rotační UPS CAT 1000iZ tuto podmínku splňuje při až do maxima 200% přetížení.

$$\begin{aligned} 200\% P_{UPS} &\geq \frac{P_z}{p} \\ 200\% P_{UPS} &\geq \frac{1170}{0,8} \\ \mathbf{1800 \text{ kW}} &\geq \mathbf{1462 \text{ kW}} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} 200\% S_{UPS} &\geq \frac{P_{UPS}}{\cos \varphi_{UPS}} \\ 200\% S_{UPS} &\geq \frac{900}{0,99} \\ \mathbf{2000 \text{ kVA}} &\geq \mathbf{909 \text{ kVA}} \end{aligned} \quad (11)$$

### 6.2.2 Návrh dieselagregátu

Činný výkon zátěže:

$$\begin{aligned} P &= P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 = \\ &= 640 + 400 + 100 + 100 + 100 + 100 + 40 = \mathbf{1480 \text{ kW}} \end{aligned} \quad (12)$$

Zdánlivý výkon zátěže:

$$\begin{aligned} S &= S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7 = \\ &= 800 + 500 + 125 + 125 + 125 + 125 + 50 = \mathbf{1850 \text{ kVA}} \end{aligned} \quad (13)$$

$\cos \varphi$  zátěže:

$$\cos \varphi_z = \frac{P}{S} = \frac{1480}{1850} = 0,8 \quad (14)$$

Výběr vhodného dieselagregátu se soustředil především na komplementaritu s již vybraným systémem UPS, jelikož provázanost obou systémů je pro správnou funkci naprosto stěžejní. Z tohoto důvodu jsem se zaměřil na systémy od stejného výrobce. Catterpillar v této výkonové řadě nabízí jednotku CAT 3516A TA s výkonem 2000 kVA/1600 kW. Vzhledem k tomu, že zadavatel však plánuje v budoucnu rozšíření počtu zálohovaných vývodů, bylo nutné tomu volbu dieselagregátu přizpůsobit. Proto jsem vybral jednotku s vyšším výkonem CAT 3516B HD, která má v provozním režimu výkon 2500 kVA/2000 kW, a která umožní v budoucnu snadno rozšířit počet zálohovaných vývodů. Soustrojí je tvořeno motorem, generátorem a ovládacím panelem a je pevně spojeno s podlahou přes pružinové izolátory chvění.

Tab. 7 Technická specifikace CAT 3516B HD [11]

Typ soustrojí	CATTERPILLAR
Typ motoru	3516 B HD - průmyslový
Výkon	2500 kVA/2000 kW
Zkreslení sinusového signálu	< 0,5
Účinnost	0,8
Spotřeba při plném zatížení	547,5 l/hod
Chlazení	Vodní
Spouštění	Elektrické
Rozměry	6729x2092x3014 mm
Hmotnost	14 870 kg



Obr. 11 Dieselagregát CAT 3516B HD [17]

Výpočet deformačního faktoru:

$$W = \left( \frac{100}{100+THD} \right)^2 = \left( \frac{100}{100+5} \right)^2 = 0,91 \quad (15)$$

Výpočet činného a zdánlivého výkonu dieselagregátu:

$$P_Z = \frac{P}{W} = \frac{1480}{0,91} = 1626,4 \text{ kW} \quad (16)$$

$$S_Z = \frac{S}{W} = \frac{1850}{0,91} = 2034,1 \text{ kVA} \quad (17)$$

Využití faktorů:

$$p = \frac{\cos \varphi_Z}{\cos \varphi_{DG}} = \frac{0,8}{0,8} = 1 \quad (18)$$

$$P_{DG} \geq \frac{P_Z}{p}$$

$$P_{DG} \geq \frac{1170}{1}$$

$$2000 \text{ kW} \geq 1170 \text{ kW} \quad (19)$$

$$S_{DG} \geq \frac{P_{DG}}{\cos \varphi_{DG}}$$

$$S_{DG} \geq \frac{2000}{0,8}$$
$$\mathbf{2500\ kVA \geq 2500\ kVA} \quad (20)$$

*Příloha č.2: 1-pólové schéma zapojení navrženého záložního napájecího systému*

### **6.3 Zhodnocení návrhu**

Součástí rekonstrukce je výměna dvou stávajících transformátoru o výkonu 630kVA za dva novější o výkonu 1000 kVA. V budoucnosti je celá sestava připravena na 3 transformátory o výkonu 1000 kVA. Z tohoto důvodu byl zvolen výkonnější dieselagregát, který v budoucnu umožní snadné rozšíření o další transformátor. Výkon instalovaný ze sítě tedy bude dosahovat výkonu 3000 kVA. Z tohoto důvodu byl navržen dieselagregát o výkonu 2500 kVA. Jelikož není nutné použít výkon náhradního zdroje v poměru 1:1 s instalovaným výkonem, v závislosti na technologii je možné výkon snížit tak, aby byly zálohovány nejdůležitější technologie, evakuační výtahy, nouzové osvětlení, napájení požárních čerpadel atd. V objektu byla však většina instalované technologie prohlášena za důležitou a celkový poměr zálohovaného ku instalovanému výkonu se vyšplhal na 4:5.

Stejným způsobem byl volen i zdroj nepřetržitého napájení o velikosti 1000 kVA. Dle požadavků zadavatele musí být UPS schopna eliminace poruch vznikající v důsledku nekvalitního primárního napájení, jako je podpětí, přepětí, harmonické zkreslení apod., jelikož zadavatel předpokládá častější připojování UPS k zátěži na kratší dobu. Tento typ provozu by byl pro bateriové systémy velmi náročný a docházelo by při něm k nevyhnutelnému zkrácení životnosti baterií, které by tak museli být často kontrolovány, popř. vyměňovány za nové. Z tohoto důvodu byla vybrána technologie rotační UPS se setrvačníky, která je i přes vyšší počáteční náklady na pořízení z dlouhodobého ekonomického hlediska výhodnější.

I zde se počítá s rozšířením o druhou UPS stejného typu a výkonu. V budoucnu tedy bude objekt napájen třemi transformátory o celkovém výkonu 3000 kVA, které budou zálohovány jedním dieselagregátem o výkonu 2500 kVA a pro nepřetržité napájení budou k dispozici dvě rotační UPS o celkovém výkonu 2000 kVA.

## 7 Závěr

V této práci jsem se zabýval tématem návrhu záložního elektrického napájecího systému. V úvodní části byly rozebrány důvody pro zřízení takovýchto systémů. Především se jedná o eliminaci nejrůznějších poruch v síti, jako je např. přepětí, podpětí, harmonické zkreslení apod. Dalším cílem bylo seznámit se s problematikou přehledu topologií záložních zdrojů. U jednotlivých topologií bylo zmíněno, na jakém principu fungují, jaká jsou jejich pozitiva i negativa a také byly zmíněny možné příklady použití.

Dále jsem v této práci rozebral dvě na dnešním trhu dominující technologie pro zdroje záložního napájení, baterie a setrvačníky. Nedá se jednoznačně říci, že použití jedné nebo druhé technologie je výhodnější. Velice záleží na daném prostředí a způsobu využití UPS, pro některé účely, jako např. jsou krátkodobé a časté výpadky je vhodnější použití setrvačnickové technologie. V jiných případech může být adekvátní a dostačující řešení využití konvenčních akumulátorů.

Poslední rešeršní část je zaměřena na nouzové osvětlení a jeho použití v praxi, jeho zabezpečení pomocí záložních napájecích systémů a to především z hlediska požadavků technických předpisů a norem.

V praktické části bakalářské práce jsem předložil návrh řešení záložního napájecího systému pro objekt ÚOCHB AV ČR. V návrhu jsem se snažil zohlednit také veškeré požadavky zadavatele. Výpočtová část tak obsahuje jak výpočty zálohování pro účely nepřetržitého napájení bez přerušení, kde jsem na základě daných výkonů zvolil rotační UPS, tak i pro záložní zdroj poskytující napájení v případě dlouhodobějšího výpadku, kde byl zvolen dieselagregát. Součástí návrhu jsou také mnou vytvořené přílohy č.1 a č.2 jež obsahují jednopólová schémata původní rozvodny a způsobu zapojení navrženého napájecího systému. Na závěr praktické části jsem provedl zhodnocení daného návrhu.

## Seznam použité literatury

- [1] *Záložní zdroje - UPS: Krátký úvod do UPS a vysvětlení základních pojmů* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.hd.cz/rady/zalozni-zdroje-ups.php>
- [2] BOHÁČ, Otto a Luděk DEMBOVSKÝ. *Elektroenergetika pro 3. ročník středních průmyslových škol elektrotechnických: obor výroba, rozvod a užití elektrické energie*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965, 290 s. Řada elektrotechnické literatury.
- [3] ČEZ [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: [www.cez.cz](http://www.cez.cz)
- [4] ČSN 33 2000-5-56, ed.2, Výběr a stavba elektrických zařízení – Zařízení pro bezpečnostní účely. 2010.
- [5] RASMUSSEN, Neil. The Different Types of UPS Systems. The Different Types of UPS Systems. 2010, : 10. Dostupné také z: <http://it-resource.schneider-electric.com/i/479512-wp-1-the-different-types-of-ups-systems>
- [6] *Silektro Energy* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.silektro.cz>
- [7] *Power Tech: Topologie UPS* [online]. [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.power-tech.cz/napajeci-systemy-topologie-ups.php>
- [8] Power Quality Application Guide – Voltage Dips, Derek Maule, Claude Lyons Ltd *Voltage Dips: Voltage Dip Mitigation* [online]. 2001, : 8 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://admin.copperalliance.eu/docs/librariesprovider5/power-quality-and-utilisation-guide/532-voltage-dip-mitigation.pdf?sfvrsn=4&sfvrsn=4>
- [9] Interní dokumentace TMVSS[10] *Flywheels: A Power Protection Alternative* [online]. 2010 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.controleng.com/channels/sustainable-engineering/sustainable-engineering-news/single-article/flywheels-a-power-protection-alternative/93f6c7a14742390ef959ce8d49bb7cfa.html>
- [11] Interní dokumentace CAT Pheonix Zeppelin s.r.o.

[12] BRESTOVIČ, Tomáš a Mária ČARNOGURSKÁ. TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH. *Zdroje a premeny energie*. Košice, 2012.

[13] ČSN 1838:2013 *Světlo a osvětlení – Nouzové osvětlení*. 2000.

[14] HONZÍK, Josef. Nouzové osvětlení (I): ČSN EN 1838:září 2000 - Světlo a osvětlení - Nouzové osvětlení. In: *Elektroinstalatér* [online]. 2007 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4463-nouzove-osvetleni-i>

[15] KOSMÁK, František. *Druhy nouzového osvětlení* [online]. In: . 2012 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/druhy-nouzoveho-osvetleni>

[16] Interní dokumentace ÚOCHB AV ČR

[17] *Construction equipment guide* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.constructionequipmentguide.com/images/EquipmentPix/500/97438002.jpg>

[18] *Setrvačníky: Alternativa zajištění napájení* [online]. In: . 2010 [cit. 2015-05-24]. Dostupné z: [http://www.controlengcesko.com/index.php?id=47&no\\_cache=1&tx\\_ttnews%5btt\\_news%5d=3524&cHash=0f52ef34a7&type=98](http://www.controlengcesko.com/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews%5btt_news%5d=3524&cHash=0f52ef34a7&type=98)



## Seznam obrázků

<i>Obr. 1</i> Blokové schéma pasivní (offline) UPS [5] .....	14
<i>Obr. 2</i> Blokové schéma interaktivní UPS [5] .....	15
<i>Obr. 3</i> Blokové schéma pasivní topologie s ferorezonančním regulátorem [5] .....	16
<i>Obr. 4</i> Základní obvod transformátoru konstantního napětí [8] .....	16
<i>Obr. 5</i> Vstupně/výstupní charakteristiky v závislosti na zatížení transformátoru [8].....	17
<i>Obr. 6</i> Blokové schéma online topologie s dvojitou konverzí [5] .....	19
<i>Obr. 7</i> Blokové schéma online topologie s delta konverzí [5] .....	20
<i>Obr. 8</i> Řez setrvačником [18] .....	24
<i>Obr. 9</i> Schéma – příklad použití setrvačniku [18] .....	24
<i>Obr. 10</i> Druhy nouzového osvětlení .....	26
<i>Obr. 11</i> Dieselaagregát CAT 3516B HD [17].....	36

## Seznam tabulek

<i>Tab. 1 Kategorie důležitosti objektu dle spolehlivosti [4].....</i>	<i>12</i>
<i>Tab. 2 Shrnutí jednotlivých konstrukčních provedení [5].....</i>	<i>21</i>
<i>Tab. 3 Objekty s povinností instalace nouzového osvětlení [13].....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 4 Seznam nepřetržitě zálohovaných rozvaděčů/vývodů [16] .....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 5 Seznam rozvaděčů/vývodů zálohovaný dieselagregátem [16] .....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 6 Technická specifikace UPS CAT 1000iZ [11] .....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 7 Technická specifikace CAT 3516B HD [11] .....</i>	<i>35</i>

## **Seznam příloh**

*Příloha 1: 1-pólové schéma zapojení původní rozvodny [16]*

*Příloha 2: 1-pólové schéma zapojení navrženého záložního napájecího systému*