

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická
K13115 - Katedra elektroenergetiky



Napájení datového centra
Power Supply of Data Center

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Studijní obor: Elektroenergetika
Vedoucí práce: Ing. Lubor Horák

Bc. Jan Pachl
Praha 2016

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Jan Pachi**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Napájení datového centra**

Pokyny pro vypracování:

1. Specifikace a energetická bilance datového centra
2. Projekt napájení datového centra (rozvaděče, záložní napájení - UPS, dieselgenerátory)
3. Kompenzace jalového výkonu
4. Ochrana datového centra před atmosférickým a spínacím přepětím

Seznam odborné literatury:

- [1] FENCL F.: Elektrický rozvod a rozvodná zařízení, ČVUT FEL, ISBN 80-01-02771-6, r. 2003
- [2] CETL T.: Aplikace elektrochemických zdrojů, ČVUT FEL, ISBN 80-01-02859-3, r. 2004
- [3] Různé typy systémů UPS. White Paper [online]. www.apc.com
- [4] Power Bridge [online]. 2008 Rotační záložní zdroje. <www.powerbridge.cz>.
- [5] Studijní materiály ze serveru PowerWiki a motor.feld.cvut.cz
- [6] Příslušné technické normy ČSN a technické předpisy

Vedoucí: Ing. Lubor Horák

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2017/2018

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavěl Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 18. 4. 2016

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Podpis

Poděkování

Nejvíce bych chtěl poděkovat Ing. Luboru Horákovi, vedoucímu mé diplomové práce, který mi pomohl s výběrem a zpracováním daného tématu, a také bych mu chtěl poděkovat za cenné rady při jejím zpracování. Nemalé poděkování patří také firmě ATICO s r.o., která mi poskytla pracovní zázemí a přístup k technickým normám. V neposlední řadě patří mé poděkování také kolegům z projekčního oddělení.

Abstrakt

Diplomová práce řeší problematiku napájení datových center, ochranu před atmosférickými vlivy a přepětím. Tato problematika je popsána v teoretické části. Konkrétní způsob řešení energetiky datového centra je popsán v technické zprávě. Na konci diplomové práce jsou přidány přílohy, s příklady některých výkresů profese elektro-silnoproud.

Summary

The diploma thesis deals with the aspects of supplying data centers with power and protecting them from overload and atmospheric effects. These issues are covered in the theoretical part of the thesis. A concrete solution to managing data center power supply is described in the technical report. Mechanical drawings related to the profession Power Engineering field are attached at the end of the thesis.

Seznam použitých zkratk a symbolů

čl.	článek
ČSN	česká technická norma
DC	datové centrum
DCiE	Data Center Infrastructure Efficiency – účinnost datového centra
DG	diesel generátor
FVE	fotovoltaický systém
ICT -	informační a komunikační technologie
IT	informační technologie
LPL	třída ochrany před bleskem
LPS	systém ochrany před bleskem
MET	hlavní ochranná přípojnice (Main Earthing Terminal), dříve označovaná HOP
např.	například
nn	nízké napětí
obr.	obrázek
PUE	Power Usage Effectiveness – efektivita využití elektrické energie
SW	software
tab.	tabulka
UPS	zdroj nepřerušovaného napájení (Uninterruptible Power Supply)
vn	vysoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí

OBSAH

Úvod.....	1
1 Specifikace datových center	2
1.1 Klasifikace datových center dle souboru norem ČSN EN 50600	2
1.1.1 Prostory a zařízení datových center	2
1.2 Dispoziční řešení datového centra	2
1.3 Způsoby a klasifikace napájení datových center TIER.....	4
1.3.1 Datacentrum TIER I.....	4
1.3.2 Datacentrum TIER II	5
1.3.3 Datacentrum TIER III.....	6
1.3.4 Datacentrum TIER IV	6
1.4 Energetická bilance datového centra	7
1.5 PUE.....	8
2 Napájení datového centra	9
2.1 Schéma napájení.....	9
2.2 Transformovny	10
2.2.1 Dělení transformoven.....	10
2.2.2 Technologie transformoven.....	10
2.3 Zdroje nepřerušovaného napájení UPS.....	11
2.3.1 Kategorie UPS	12
2.3.2 Offline UPS	13
2.3.3 Online UPS.....	13
2.4 Akumulátory.....	14
2.4.1 Olověné akumulátory.....	14
2.4.2 Nabíjecí charakteristiky	15
2.4.3 Dimenzování UPS a baterií.....	16
2.5 Diesel generátory	17
2.5.1 Řídicí systém diesel generátoru.....	18
2.5.2 Princip synchronního stroje.....	19
3 Fotovoltaika	20
4 Kompenzace účinníku	22
5 Ochrana před atmosférickým a spínacím přepětím.....	24
5.1 Kritéria pro správný návrh hromosvodu	24
5.1.1 Účinky blesku na stavbu	25
5.1.2 Typy poškození staveb.....	25
5.1.3 Ztráty.....	25
5.1.4 Rizika	26
5.1.5 Kritéria pro ochranu staveb	26

5.1.6	System ochrany před bleskem, třídy LPS	27
5.2	Projektování hromosvodu	27
5.2.1	Vnitřní systém ochrany před bleskem	30
5.2.2	Elektrická izolace vnějšího LPS	30
5.3	Uzemnění	32
5.3.1	Rezistivita půdy	32
5.3.2	Zemní odpor zemničů	32
5.3.3	Hlavní uzemňovací svorka	33
5.3.4	Ochranné vodiče	33
5.3.5	Vodiče ochranného pospojování	34
5.3.6	Vnitřní uzemňovací soustava	34
5.3.7	Uzemnění a pospojování racků	35
5.4	Přepětí	36
5.4.1	Vnitřní ochrana proti bleskovému proudu a přepětí	36
5.5	Vnější vlivy	38
6	Technická zpráva	39
6.1	Ochrana před nebezpečným dotykem	39
6.2	Napájení	39
6.3	Záložní zdroj UPS a akumulátory	40
6.4	Diesel generátory	41
6.5	Naftové hospodářství	42
6.6	Fotovoltaický systém	43
6.7	Hromosvod	43
6.7.1	Zemnicí soustava	44
6.7.2	Soustava svodů	44
6.7.3	Jímací soustava	45
6.7.4	Vnitřní LPS	45
7	Výpočty v silnoprůdém rozvodu	45
7.1.1	Zkratové výkony a proudy	46
7.1.2	Výpočtový proud	46
7.1.3	Ochrana před úrazem elektrickým proudem při poruše	50
7.1.4	Uzemnění	52
8	Závěr	53
9	Seznam použité literatury	54
10	Seznam použitých norem čsn	55
11	Přílohy	56

SEZNAM OBRÁZKŮ

OBR. 1-1 MÍSTNOSTI PRO ELEKTRICKÉ NAPÁJENÍ	3
OBR. 1-2 DATOVÝ SÁL	3
OBR. 1-3 ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA NAPÁJENÍ DC VE TRÍDĚ TIER I	5
OBR. 1-4 ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA NAPÁJENÍ DC VE TRÍDĚ TIER II	5
OBR. 1-5 ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA NAPÁJENÍ DC VE TRÍDĚ TIER III	6
OBR. 1-6 ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA NAPÁJENÍ DC VE TRÍDĚ TIER IV	7
OBR. 2-1 PRINCIP REDUNDANCE NAPÁJENÍ RACKU	9
OBR. 2-2 ZÁKLADNÍ BLOKOVÉ SCHÉMA UPS [8]	11
OBR. 2-3 UPS 400 kVA [9]	11
OBR. 2-4 UPS S BYPASSEM A SPÍNAČEM [8]	12
OBR. 2-5 PARALELNÍ UPS [8]	12
OBR. 2-6 OFFLINE UPS [14]	13
OBR. 2-7 ONLINE UPS	13
OBR. 2-8 KONSTRUKCE Pb AKUMULÁTORU [2]	14
OBR. 2-9 NABÍJECÍ CHARAKTERISTIKY IUa [2]	16
OBR. 2-10 DIESEL GENERÁTOR [12]	17
OBR. 2-11 PRINCIPÁLNÍ SCHÉMA SYNCHRONNÍHO STROJE [16]	19
OBR. 3-1 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY Z C-Si [1]	21
OBR. 3-2 UMÍSTĚNÍ PANELŮ NA PLOCHÉ STŘEŠE [1]	21
OBR. 4-1 FÁZOROVÉ DIAGRAMY INDUKTIVNÍ A KAPACITNÍ ZÁTĚŽE [3]	23
OBR. 4-2 FÁZOROVÝ DIAGRAM KOMPENZACE [3]	24
OBR. 5-1 ZÁVISLOST OCHRANNÉHO ÚHLU NA VÝŠCE [15]	28
OBR. 5-2 OCHRANNÉ ÚHLY	28
OBR. 5-3 SOUSTAVA SVODŮ	31
OBR. 5-4 ROZDĚLENÍ VODIČE PEN NA VODIČE PE A N	33
OBR. 5-5 VNITŘNÍ UZEMŇOVACÍ SOUSTAVY	34
OBR. 5-6 SPOJENÍ MET SE SÍTÍ MÍSTNÍHO UZEMNĚNÍ	35
OBR. 5-7 SCHÉMA ZAPOJENÍ SPD	37
OBR. 5-8 KOORDINACE PŘEPĚŤOVÝCH OCHRAN [4]	38
OBR. 6-1 DATA K UPS Z KATALOGU [9]	40
OBR. 6-2 VÝKONY AKUMULÁTOROVÝCH ČLÁNKŮ [10]	41
OBR. 7-1 SCHÉMA PRO VÝPOČET ZKRATOVÉHO PROUDU	48
OBR. 7-2 NÁHRADNÍ SCHÉMA S REAKTANCEMI	49
OBR. 7-3 CHARAKTERISTIKA JISTIČE [13]	51

SEZNAM TABULEK:

TAB. 1 HODNOTY BLESKOVÝCH PROUDŮ	27
TAB. 2 PŘIŘAZENÍ HLADIN LPS A LPL	27
TAB. 3 HODNOTY PRO METODU MŘÍŽOVÉ SOUSTAVY [15]	29
TAB. 4 POLOMĚRY VALÍCÍ SE KOULE	29
TAB. 5 VZDÁLENOSTI SVODŮ	29
TAB. 6 MINIMÁLNÍ PRŮŘEZY PRO POSPOJOVÁNÍ MET	30
TAB. 7 MINIMÁLNÍ PRŮŘEZY PRO POSPOJOVÁNÍ VODIVÝCH INSTALACÍCH K MET	30
TAB. 8 KOEFICIENT K_f	31
TAB. 9 KOEFICIENT K_M	31
TAB. 10 PRŮŘEZY OCHRANNÝCH VODIČŮ	33
TAB. 11 PRŮŘEZY VODIČŮ A JIŠTĚNÍ [4]	47
TAB. 12 PŘEPOČÍTVACÍ SOUČINITELÉ K_1 [4]	48
TAB. 13 PŘEPOČÍTVACÍ SOUČINITELÉ K_2 [4]	48
TAB. 14 MAXIMÁLNÍ DOBY ODPOJENÍ [4]	50

ÚVOD

Diplomová práce řeší energetiku datového centra. Datové centrum je budova určená k provozování informačních a komunikačních technologií ICT. Důraz v této práci je kladen na způsoby napájení datových center. Odpovídá na otázku, jak docílit, aby ICT byly neustále pod napětím a to i při výpadku veřejné elektrické sítě. Dále musí být v datovém centru zajištěna bezpečnost před atmosférickými vlivy, přepětím a elektromagnetickým rušením. Pro účel diplomové práce jsem vytvořil malý model datového centra, který obsahuje 60 racků pro IT.

Neméně důležitou problematikou k zajištění chodu datového centra, je chlazení provozovaných IT racků. Diplomová práce tuto problematiku řeší jen v základním stanovení chladicího výkonu do energetické bilance a způsob napájení chlazení.

V teoretické části jsou popsány způsoby a klasifikace napájení datových center, technologie pro zajištění dodávky elektrické energie při výpadku veřejné elektrické sítě, energetická bilance malého datového centra, princip kompenzace účinníku a ochrana budov před atmosférickými vlivy a přepětím.

Na konci textové části je napsána technická zpráva, která popisuje způsoby a technologie napájení datového centra, dále popisuje provedení hromosvodu a uzemnění. Za technickou zprávou, jsou uvedené některé elektrotechnické výpočty, které používáme při projektování elektrických sítí nízkého napětí.

1 SPECIFIKACE DATOVÝCH CENTER

1.1 Klasifikace datových center dle souboru norem ČSN EN 50600

Datové centrum slouží podle normy *ČSN EN 50600-1 – Zařízení a infrastruktury datových center – Část 1: Obecné pojmy*, pro umístění a podporu informačních technologií IT a zařízení telekomunikačních sítí pro zpracování dat. V datovém centru, bychom měli používat modulární zařízení, abychom mohli vybavení datového centra v budoucnosti dále rozšiřovat.

1.1.1 Prostory a zařízení datových center

Datová centra obsahují zpravidla podle *ČSN EN 50600-1*:

- přípojku budov,
- osobní vstup,
- prostor pro generátor,
- transformátorovou kobku,
- prostory pro elektrické rozvody,
- prostory pro telekomunikace.

Podle normy *ČSN EN 50600-1 – Zařízení a infrastruktury datových center – Část 2-1: Výstavba budov*, prostor pro místnosti s technologiemi IT musí být dostatečný, pro uložení těchto technologií a podpůrného zařízení. IT rozvaděče (racky), by se měly srovnat do řad a tím vytvoří uličku. Místnost pro výpočetní techniku by neměl podle této normy přesáhnout 600 m² a také počet racků v řadě by neměly překročit 20 skříní.

V datových sálech, by měla být použita metodika studených a teplých uliček, pro chlazení racků a podle této metodiky chlazení by měly být řady uspořádány. V takovém případě čelní stěny racků jsou k sobě přivráceny ve „studené uličce“ a zadní strany racků jsou k sobě přivráceny v „teplé uličce“.

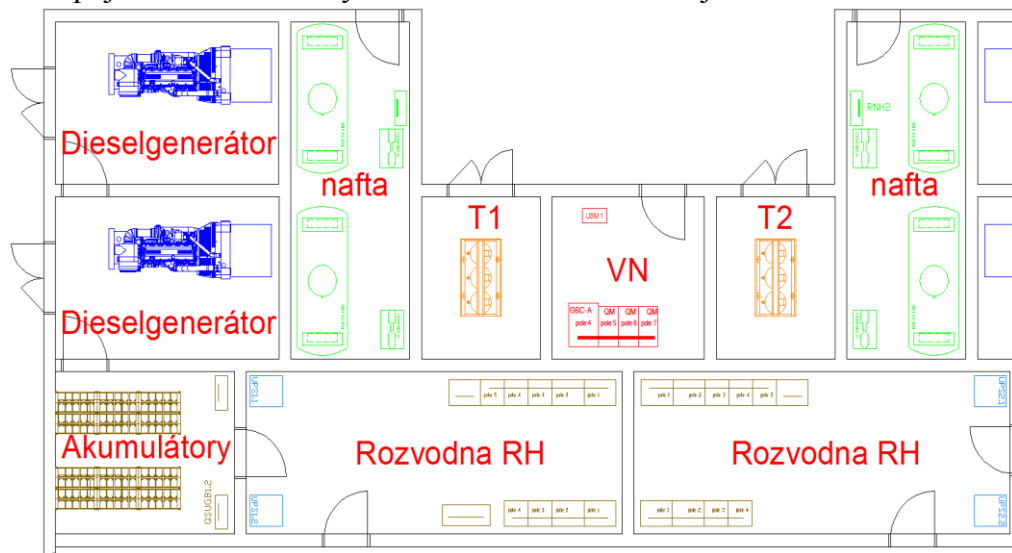
1.2 Dispoziční řešení datového centra

Půdorys datového centra a umístění technologií je nakresleno v příloze „[DC8] Půdorys DC“. Tento půdorys, který používám v diplomové práci, je v této kapitole popsán.

Datový sál, kde jsou umístěné racky pro IT systémy, je proveden jako samostatná halová místnost. V tomto datovém centru, bude výkonová hustota 5 kW/rack. Na datovém sále je plánováno použití šedesáti racků. Napájení racků je provedeno pomocí dvou redundantních přívodů. Ze sálových rozvaděčů, bývá napájecí vedení pro racky vedeno

pod zdvojenou podlahou. Na datovém sále a v místnosti pro UPS, je použit technologický podhled, sloužící k odvádění ohřátého vzduchu od technologií z teplé uličky.

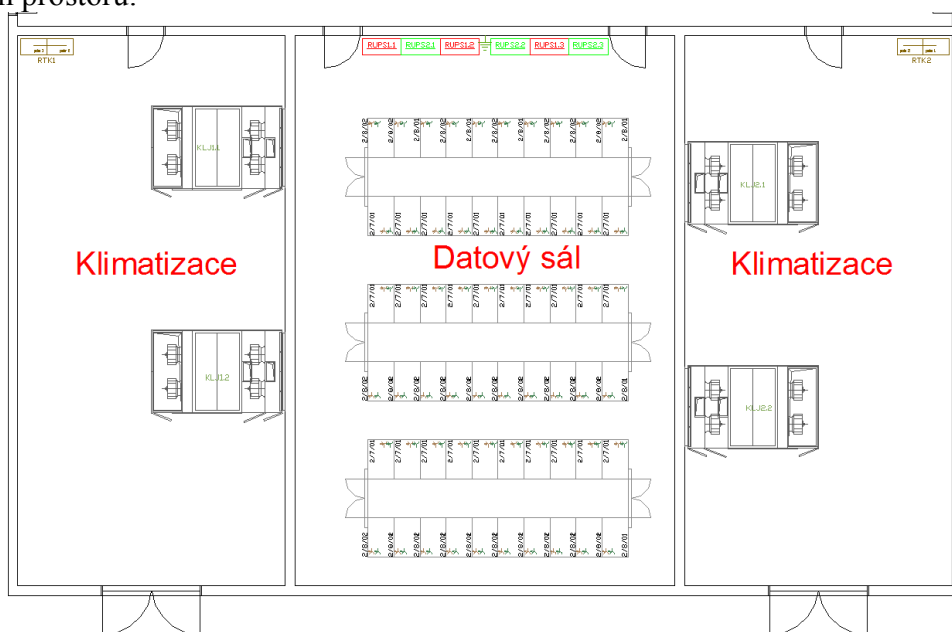
Půdorys rozmístění technologií a zařízení pro zajištění napájení, je zobrazeno na Obr. 1-1. V datových centrech bývají umístěny technologie pro jejich napájení. V transformovných bývají umístěny nízkoztrátové transformátory vn/nn pro napájení z rozvodné sítě. Používají se suché transformátory. V tomto datovém centru, jsou dvě stanoviště transformátorů, situované vedle rozvodny vn a spolu s rozvodnou vn nad hlavními rozvodnami, kam jsou do hlavních rozvaděčů zapojené transformátory. Vedle hlavních rozvodů je místnost s akumulátory.



Obr. 1-1 Místnosti pro elektrické napájení

Datová centra se staví s plochou střechou. Jak bude popsáno v kapitole o hromosvodu, na ploché střeše se instaluje mřížová soustava hromosvodu. Pro vyčnávající technologie (vzduchotechnika, fotovoltaika, a další) se na střeše se používají jímací tyče.

Na Obr. 1-2 je zobrazen datový sál s místnostmi obsahujícími chladicí jednotky. Hlavní vzduchotechnické jednotky pro chlazení datových sálů, jsou umístěné v samostatném, odděleném prostoru.



Obr. 1-2 Datový sál

1.3 Způsoby a klasifikace napájení datových center TIER

Prudký rozvoj v oblasti návrhu, stavby a provozování datových center, vedl různé organizace ke snaze standardizovat datová centra. Tato standardizace pomohla se lépe orientovat v problematice datových center a zjednodušila fázi jejich návrhu. Mezi celosvětově uznávané kategorizace datových center, je kategorizace TIER. Kategorizaci TIER vytvořila americká společnost Uptime Institute. Vznikly čtyři kategorie TIER I, TIER II, TIER III a TIER IV.

TIER I – je označována jako základní (basic) – datové centrum v této kategorii má pouze jednu distribuční cestu pro napájení, nejsou zde používány žádné redundantní prvky. Takové datové centrum je náchylné k přerušení provozu.

TIER II – redundantní prvky (redundant components) - datové centrum v této kategorii má pouze jednu distribuční cestu pro napájení, jsou zde používány redundantní prvky. Datové centrum patřící do této kategorie je méně náchylné na přerušení svého provozu.

TIER III – servisovatelné za provozu (concurrently maintainable) – má více distribučních cest pro napájení, ale pouze jedna distribuční cesta je aktivní, obsahuje redundantní prvky. Všechny zařízení informačních a komunikačních technologií ICT musí mít redundanci v napájecích zdrojích. V takovém datovém centru lze provádět údržbu za jeho provozu. Nevýhodou stále zůstává, že při neplánovaných akcí mohou chyby způsobit přerušení provozu datového centra.

TIER IV – odolné vůči poruchám (fault tolerant) - má více distribučních cest pro napájení, a více distribučních cest je aktivních, obsahuje redundantní prvky. Infrastruktura datového centra v této kategorii snese alespoň jeden nejhorší případ neplánované chyby.

1.3.1 Datacentrum TIER I

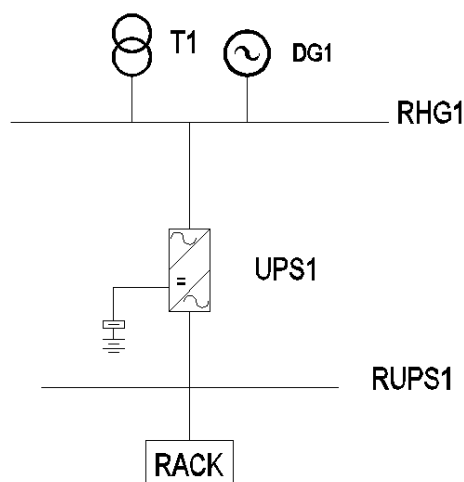
Serverovny zařazené do třídy TIER I jsou typické pro menší společnosti. Tato společnost nenabízí IT služby, používá IT zařízení pouze pro svůj provoz. Je možné provést odstávku serverovny. Výkon u kategorie TIER I bývá 1 až 3 kW/rack.

Pokud dojde k výpadku napájení elektrickou energií, následuje správné ukončení IT zařízení. U TIER I používáme zdroje UPS. Tyto zdroje chrání IT zařízení proti rušení ze sítě, přepětím a podpětím. Zjednodušené schéma napájení je na Obr. 1-3.

Výhodou datacentra kategorie TIER I jsou nízké investiční náklady.

Nevýhodou je, že v případě výpadku elektrické sítě, je doba napájení závislá pouze na kapacitě baterií připojených k UPS.

TIER I má pouze jednu cestu pro napájení a pro rozvod chladu, nemá redundantní prvky. Je náchylné k přerušení vlivem plánovaných i neplánovaných událostí, provozních chyb a při spontánním selhání infrastruktury nastává přerušení činnosti datového centra. Dostupnost datového centra TIER I je 99,671 % [7].



Obr. 1-3 Zjednodušené schéma napájení DC ve třídě TIER I

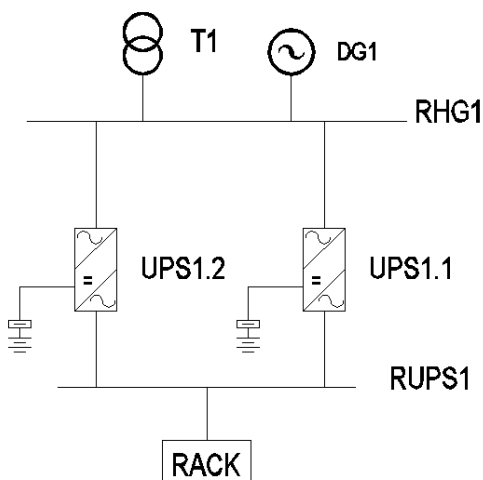
1.3.2 Datacentrum TIER II

U datacenter kategorie TIER II, je možné provést plánovanou odstávku kvůli údržbě serverovny. Výkon u kategorie TIER II bývá 3 až 5 kW/rack. Taková datacentra opět používají menší nebo středně velké společnosti.

Obsahuje jednu cestu pro napájení a pro rozvod chladu, má redundantní prvky. Je méně náchylné k přerušení vlivem plánovaných i neplánovaných aktivit než kategorie Basic. Údržba kritické napájecí cesty a dalších částí infrastruktury, vyžaduje přerušení činnosti datového centra. Dostupnost datového centra je 99,741 % [7].

Jako v případě TIER I, zdroje UPS chrání IT zařízení proti rušení ze sítě, přepětím a podpětím a pokud dojde k výpadku napájení elektrickou energií, následuje správné ukončení IT zařízení. Zjednodušené schéma napájení, je na Obr. 1-4.

Nevýhodou je, že v případě výpadku elektrické sítě, je doba napájení závislá pouze na kapacitě baterií připojených k UPS.



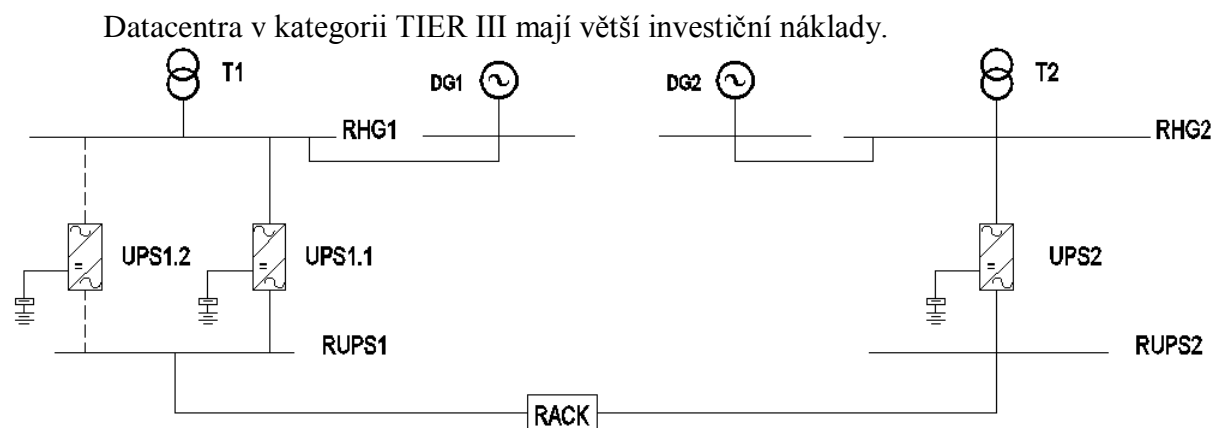
Obr. 1-4 Zjednodušené schéma napájení DC ve třídě TIER II

1.3.3 Datacentrum TIER III

Datacentra kategorie TIER III používají větší společnosti. Pro tato datová centra je charakteristický nepřetržitý provoz. Výkon u kategorie TIER III bývá 5 až 9 kW/rack.

Jsou za provozu servisovatelné a mají vícenásobné cesty pro napájení a pro rozvod chladu, ale pouze jedna cesta je aktivní. Datové centrum obsahuje redundantní prvky pro napájení (UPS zdroje) a redundantní jsou také klimatizační jednotky. Redundance $n + 1$ u klimatizací znamená, že pokud dojde k poruše na jedné klimatizační jednotce, je k dispozici další klimatizační jednotka, která převezme činnost. Údržbu lze provádět za provozu, je umožněn provoz datového centra bez přerušení při plánovaných aktivitách na infrastruktuře. Při neplánovaných akcích mohou chyby nebo spontánní selhání prvků infrastruktury způsobit přerušení provozu datového centra. Ty zpravidla jsou navrhovány tak, aby byl možný upgrade na kategorii TIER 4. Dostupnost datového centra je 99,982 % [7].

Důležitá v této kategorii je myšlenka napájení serveru ze dvou stran. První vývod napájí transformátor T1 a druhý vývod napájí transformátor T2. Takže pokud bude mít rack příkon např. 5 kW, tak 2,5 kW bude výkonový tok od transformátoru T1 a 2,5 kW půjde výkon od transformátoru 2. Zjednodušené schéma napájení je na obr. Obr. 1-5.



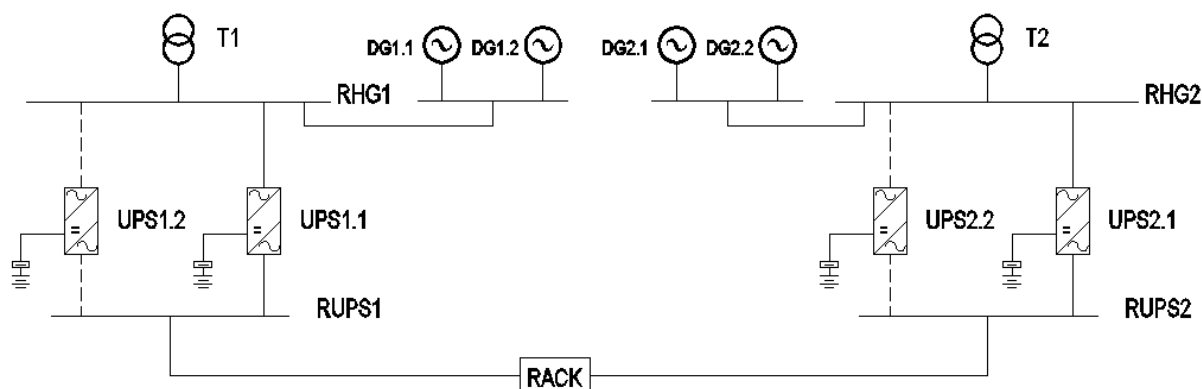
Obr. 1-5 Zjednodušené schéma napájení DC ve třídě TIER III

1.3.4 Datacentrum TIER IV

Datacentra v kategorii TIER IV se vyznačují nepřetržitým provozem po celý rok. Výkon u kategorie TIER IV bývá 5 až 9 kW/rack, jako u TIER III.

Datové centrum je odolné vůči poruše a má vícenásobné aktivní cesty pro napájení a pro rozvod chladu. Obsahuje redundantní prvky, všechna zařízení IT musí mít dva zdroje (Dual Power Input). Jakákoliv plánovaná činnost je možná bez přerušení provozu datového centra. Odolnost vůči poruše v tomto konceptu zajišťuje, že infrastruktura snese alespoň jeden nejhorší případ neplánované chyby nebo události bez vlivu na kritickou zátěž. Vyžaduje současné aktivní distribuční cesty, typicky v konfiguraci systém + systém. V napájení elektrickou energií to znamená dva separátní systémy zdrojů UPS a každý má redundanci $N+1$. Stále zůstává ohrožení vlivem požárního poplachu nebo iniciace EPO (Emergency Power Off). Dostupnost datového centra je 99,995 % za předpokladu, že se EPO nepoužije častěji než jednou za 5 let [7].

Ze zjednodušeného schématu na Obr. 1-6 vidíme, že napájecí systémy (např. UPS, diesel generátory) jsou plně redundantní.



Obr. 1-6 Zjednodušené schéma napájení DC ve třídě TIER IV

1.4 Energetická bilance datového centra

V energetické bilanci nás nejvíce zajímá výkon jednotlivých racků a výkon klimatizačních technologií pro chlazení datového sálu. Podle toho v první fázi projektování můžeme navrhnout velikost napájecího zdroje (transformátory, diesel generátory) a velikost výkonu zdrojů UPS, podle výkonu, který chceme z těchto zdrojů napájet.

Důležitá je při výpočtu energetické bilance hodnota účinnosti $\cos \varphi$ zařízení kvůli výpočtu činného výkonu P (W), pokud známe zdánlivý výkon S (VA) zařízení. Po vynásobení zdánlivého výkonu S (VA) hodnotou účinnosti $\cos \varphi$, získáme činný výkon zařízení P (W). Protože hodnota činného výkonu by byla v praxi příliš velká, protože zařízení může pracovat např. s polovičním výkonem, počítáme s tzv. *soudobostí* β . V této diplomové práci počítám se soudobostí pro racky s hodnotou 1, ale v praxi se ukazuje, že soudobost racků s IT technologiemi, může být i kolem hodnoty 0,2. Po vynásobení činného výkonu zařízení P soudobostí β , získáme tzv. *soudobý výkon*, se kterým dále pracujeme při dimenzování jisticích prvků a průřezů vodičů. Hodnoty některých účinností $\cos \varphi$ si můžeme nalézt např. v [3]. Ze soudobného výkonu, potom určíme *výpočtový proud*.

Pro výpočet velikosti výkonu UPS zdrojů musíme počítat s jejich hodnotou účinnosti $\cos \varphi$. U kvalitních a dražších UPS zdrojů, někteří výrobci udávají účinník 0,99, např. [9]. Dimenzování UPS zdrojů bude popsáno v dalších kapitolách. U chladicích zařízení uvažujeme s hodnotou účinnosti 0,8, jelikož chladicí technologie obsahují asynchronní motory. U diesel generátorů bývá zpravidla hodnota účinnosti 0,8, což se může lehce ověřit podle uvedených výkonů (činných a zdánlivých) diesel generátorů od výrobce.

U chlazení je třeba si uvědomit, že v datovém centru potřebujeme chladit racky. Při výpočtu energetické bilance se užívá empirický vztah, že na výrobu chladu (chladicího výkonu) připadá 1/3 elektrického výkonu. Pokud by poblíž datového sálu bylo administrativní zázemí, mohli bychom toto „odpadní“ teplo třeba využívat k vytápění kanceláří v zimním období.

Dále musíme zajistit odvod tepla z rozvaděčů, např. nuceným prouděním vzduchu pomocí ventilátoru, vhodným uspořádáním elektrických přístrojů. Místnost, ve které se nacházejí akumulátory, se musí chladit, aby v ní byla udržována teplota 20 °C (jinak dochází k rychlému snižování životnosti akumulátorů). Diesel generátor je opatřen svým ventilátorem,

který saje vzduch a vhání ho do soustrojí. Pro chlazení ztrát transformátoru jsou důležité ztráty naprázdno a ztráty nakrátko. U transformátorů se snažíme chlazení řešit přirozeným větráním. V případě, že bychom navrhovali chlazení ztrát transformátoru klimatizační jednotkou, uvažujeme do energetické bilance elektrický výkon jako 1/3 chladicího výkonu.

Z energetické bilance vychází přehledové *schéma napájení*, dále můžeme vypočítat zkratové proudy v elektrickém rozvodu, začít dimenzovat jisticí prvky a průřezy napájecích vodičů. Ukázky těchto výpočtů jsou ukázány v kapitole 7: „Výpočty v silnoproudém rozvodu“.

Energetická bilance je uvedena v příloze: „[DC1] Energetická bilance“.

1.5 PUE

PUE (Power Usage Effectiveness) je uznávaný standard pro určení účinnosti nových datových center. Umožňuje odborníkům pohybujících se v této oblasti určit, jak je z energetického hlediska datové centrum efektivní. PUE počítáme podle vztahu (1.1) [7]:

$$PUE = \frac{P_{total}}{P_{IT}} \quad (-), \quad (1.1)$$

kde:

P_{total} je celkový spotřebovaný výkon v datovém centru (kW),

P_{IT} je výkon IT zařízení (kW).

Celkový spotřebovaný výkon datového centra P_{total} měříme na vstupu (v hlavním rozvaděči). Hodnota výkonu v sobě zahrnuje spotřebu pro osvětlení, klimatizace, požární zařízení atd. včetně všech ICT.

Výkon P_{IT} se měří obvykle v rozvaděčích na datových sálech, ze kterých jsou vyvedeny napájecí vývody pro racky.

Když hodnota PUE vyjde např. 1,2 (DciE = 83 %), je datové centrum uznané za velmi efektivní. Pokud hodnota PUE vyjde 2,0 (DciE = 50 %), je bráno datové centrum jako průměrné. Hodnota PUE 2,5 (DciE = 40 %), je už označováno DC jako neefektivní [7].

Převrácená hodnota PUE (1.2) je označována jako DCiE (Data Center infrastructure Efficiency) [7].

$$DCiE = \frac{1}{PUE} \quad (%), \quad (1.2)$$

Měření PUE probíhá několikrát během dne, např. každou hodinu. K měření PUE slouží automatizovaný měřicí systém, který sbírá naměřená data.

2 NAPÁJENÍ DATOVÉHO CENTRA

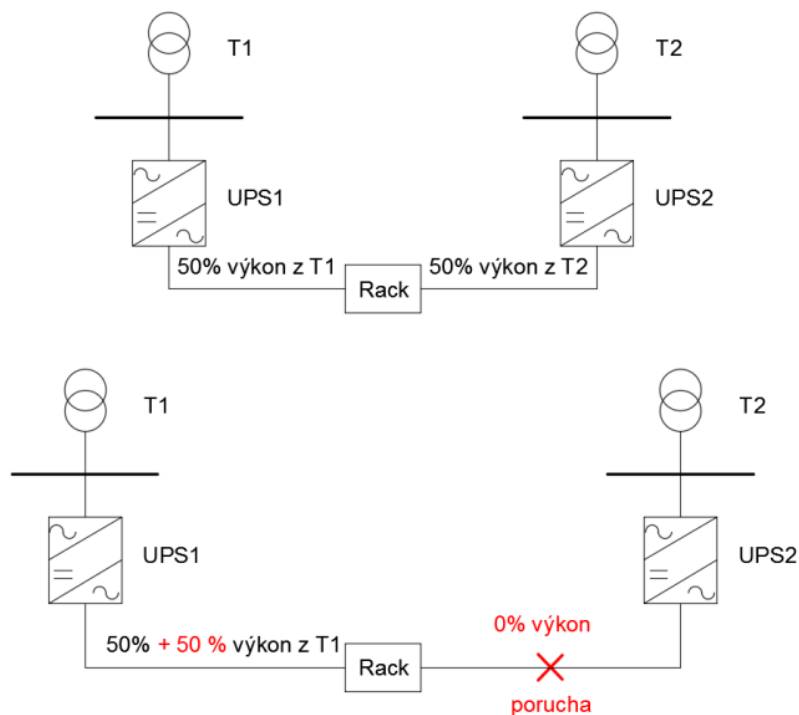
2.1 Schéma napájení

V této podkapitole, bude uveden obecný popis schématu napájení datového centra. Podrobnější slovní popis napájení je uveden v kapitole 6: „Technická zpráva“.

Z rozvaděče vn vede napájení pro primární vinutí transformátoru. Sekundární vinutí je jištěno jističem na přívodu v hlavním rozvaděči. Do hlavního rozvaděče jsou také zapojeny dva diesel generátory. První diesel generátor, slouží k napájení např. při poruše napájecího transformátoru nebo při výpadku napájecí sítě. Druhý diesel generátor, slouží jako záloha (redundance), pokud by došlo k poruše prvního diesel generátoru.

Z hlavního rozvaděče vedou vývody pro napájení vlastní spotřeby, technologie klimatizace, rozvaděč kompenzace jalového výkonu, a napájení zdrojů UPS. Jeden vývod napájí další rozvaděč sítě nepřetržitého napájení z UPS (BY-PASS) a také do tohoto rozvaděče jsou zapojeny výstupy z UPS zdrojů. Na datovém sále, kde jsou umístěné racky, jsou potom instalované rozvaděče, ze kterých jsou tyto racky napájené.

Každý datový rack je napájen ze dvou stran. To znamená, že napájení, které bylo popsáno výše, napájí polovinu spotřeby racku a stejné napájecí schéma je použito pro napájení druhé poloviny spotřeby racku. Taktó máme zavedené dvě symetrické napájecí větve pro napájení racků. Situace je popsána na následujícím Obr. 2-1. V horním schématu je síť bez poruchy a výkon pro napájení racku. V dolní části obrázku je naznačena porucha druhé napájecí větve a celkový výkon pro napájení racku potom převezme první napájecí větev. Z této situace je rovněž patrné, že UPS (redundantní) musí být v normálním provozu bez poruchy provozovány max. na 50 % svého výkonu. Pokud by došlo k poruše jedné napájecí větve, musí druhá neporušená UPS dodávat do zátěže plný (100 %) výkon.



Obr. 2-1 Princip redundance napájení racku

2.2 Transformovny

Při návrhu napájení objektu elektrickou energií musíme zvolit počet transformátorů. Pokud výpadek elektrické energie neznamená velké ekonomické ztráty, ohrožení zdraví nebo život člověka volíme pro napájení jeden jediný transformátor. Pokud potřebujeme dodávat elektrickou energii nepřetržitě (zálohované napájení) volíme alespoň dva transformátory. Každý z transformátorů musí mít takový výkon, aby dokázal napájet spotřebiče prvního stupně důležitosti.

2.2.1 Dělení transformoven

Transformovny dělíme podle různých hledisek podle [3]. Např. na *vnitřní* a *venkovní*, podle toho kde jsou umístěné. Nebo pokud na primární straně transformátoru je napětí vyšší než na sekundární straně, jedná se o transformovny *snižovací*. Pokud je na vstupním vinutí transformátoru napětí menší než na výstupní straně, jde o transformovny *vyššovací*.

Transformovna se může nacházet uvnitř objektu spolu s rozvodnou nebo je v objektu pouze rozvodna a transformátor je umístěn vně napájecího objektu. Venkovní, otevřené provedení bývá u transformoven nejčastěji na hladině napětí vvn nebo u malých distribučních transformátorů, např. pro napájení části obce. Tyto menší distribuční transformátory se umisťují na stožáry.

Podle použití mohou být transformovny dělené podle jejich charakteru v elektrizační soustavě. Např. výrobní transformovny používající se v elektrárnách (blokový transformátor). Tento blokový transformátor mění hladinu napětí vn, které získáváme na svorkách synchronního generátoru, na hladinu vvn. Dále dělíme transformovny na přenosové, takové transformátory mají potom převod vvn/vvn. Jak bylo výše zmíněno, mohou být transformovny, tzv. distribuční. Tyto distribuční transformovny mění hladinu napětí z vn na hladinu nn. Slouží pro napájení průmyslových závodů, datových center, administrativních budov, atd.

2.2.2 Technologie transformoven

Transformátory o menších výkonech se vyrábějí jako suché transformátory s vzduchovým chlazením. Transformátory o výkonech větších se vyrábějí jako olejové. Minerální olej slouží jako izolace i jako chladicí médium. Suché transformátory můžeme umisťovat přímo do rozvodny.

Transformátor v transformovně stojí na podvozku s kolejkami. V podlaze je vytvořen otvor pro přivádění venkovního chladícího vzduchu pod nádobu transformátoru. Tento otvor je přímo pod nádobou. Vzduch se ohřívá a proudí směrem vzhůru do tzv. výfukového kanálu, který má krytí proti dešti. Velmi důležité jsou u transformoven vstupní a výstupní klapky pro přivádění a odvádění vzduchu. Pokud by v transformovně vypukl požár, klapky se uzavřou, čímž bude kobka hermeticky uzavřena a do transformovny se vypustí oxid uhličitý, který slouží k hašení požáru. Ve stěně budovy jsou instalovány průchodky pro primární a sekundární vedení. Pokud by byl přívod tvořen venkovním vedením vn, tak na venkovní straně transformovny je umístěna bleskojistka, kabel prochází průchodkou skrz stěnu do transformovny a za průchodkou je odpojovač.

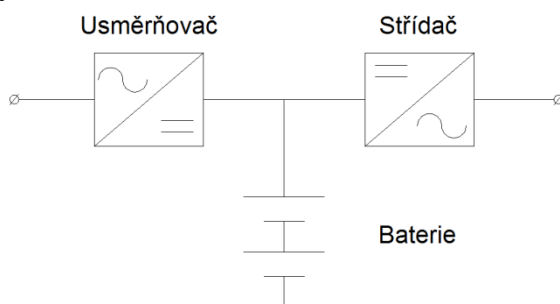
2.3 Zdroje nepřerušovaného napájení UPS

Výkonový systém UPS (Uninterruptible Power System) slouží k bezvýpadkovému zálohování veřejné elektrické sítě při jejím výpadku nebo poklesu (toleranční pásmo je +10 % a -20 %). V datových centrech používáme pro zálohu napájení diesel generátory, potom UPS zdroje slouží k překlenutí doby po výpadku napájení z elektrické sítě, do doby převedení napájení na diesel generátor. UPS slouží tedy k vytvoření kontinuity napájení (udržení napětí a kmitočtu ve jmenovitých mezích) podle [8]. UPS systém slouží také ke zlepšení parametrů elektrické energie. Používá se především pro zajištění nepřetržitého napájení systémů informačních technologií.

Základními částmi, ze kterých je UPS jednotka složena, jsou podle [8]:

- usměrňovač (slouží pro napájení baterií stejnosměrným napětím a pro napájení střídače),
- střídač (většinou s šířkově pulzní modulací PWM, potom dodává sinusové napětí),
- baterie (nejčastěji bezobslužné uzavřené články).

Na Obr. 2-2 je nakresleno základní blokové uspořádání jednotky UPS a na Obr. 2-3 je fotografie reálné UPS s výkonem 400 kVA.



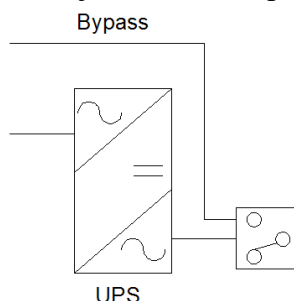
Obr. 2-2 Základní blokové schéma UPS [8]



Obr. 2-3 UPS 400 kVA [9]

Jednotlivé UPS jednotky mohou být zapojené paralelně nebo mohou tvořit *redundantní* UPS zdroje.

K UPS zdroji se zřizuje obtok (bypass). Pokud na jednotce UPS dojde k poruše nebo potřebujeme na UPS provést opravu, můžeme pomocí spínače připnout zátěž k elektrické síti pomocí bypassu. Spínač může být elektromechanický, elektronický nebo hybridní [časopis elektro]. Schéma UPS zdroje s bypassem je na Obr. 2-4 podle [8].



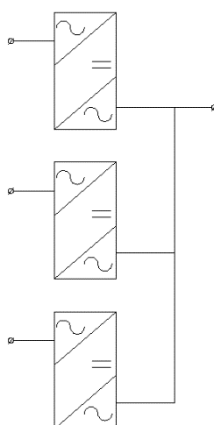
Obr. 2-4 UPS s bypassem a spínačem [8]

2.3.1 Kategorie UPS

Podle [8] rozlišujeme UPS zdroje:

- 1) UPS offline,
- 2) UPS online,
- 3) paralelní,

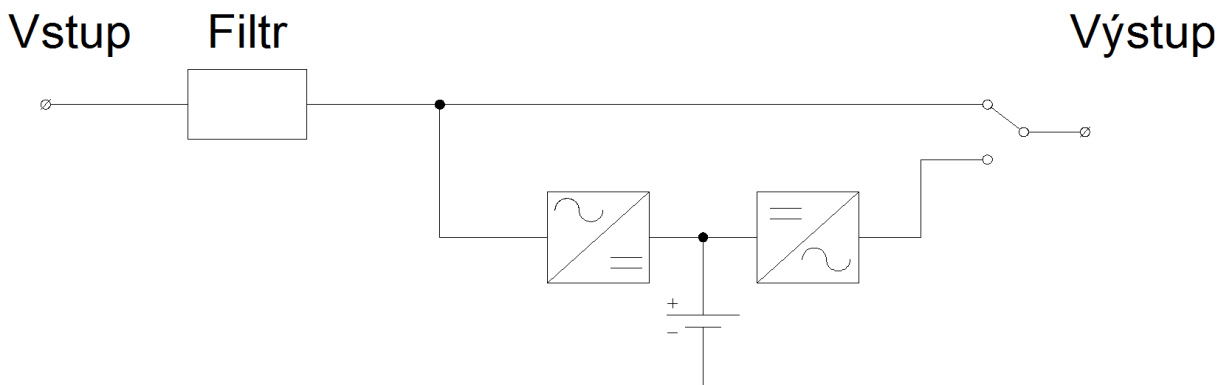
Paralelní UPS je takový UPS zdroj, který je tvořen paralelně zapojenými jednotkami UPS. Tyto jednotky si rozdělují výkon pomocí elektronického zařízení. Paralelní UPS zdroj může být provozován také s bypassem. Paralelní UPS používáme pro získání většího výkonu na výstupu. Schéma jednoduchého paralelního systému UPS je na Obr. 2-5 podle [8].



Obr. 2-5 Paralelní UPS [8]

2.3.2 Offline UPS

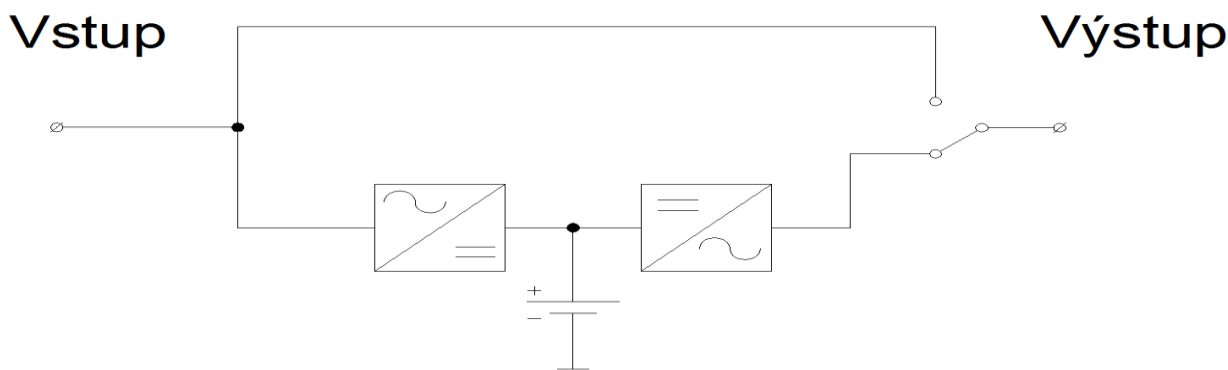
Podle [14] se offline UPS používá pro napájení spotřebičů, které jsou schopny překlenout výpadek napájení z elektrické sítě v délce do 8 ms. Spotřebiče jsou napájené přes UPS zdroj, ale nikoliv přes její střídač (invertor), ale přímo z elektrické sítě. Přes usměrňovač se pouze nabíjejí akumulátory. Pokud dojde k výpadku elektrické energie ze sítě, přepne se přepínač (relé) na střídač a energie do zátěže je dodávána pomocí akumulátorů. Offline UPS zdroje jsou nejlevnějším typem a s vysokou účinností. Na Obr. 2-6 je zobrazeno principiální schéma offline UPS.



Obr. 2-6 Offline UPS [14]

2.3.3 Online UPS

Pokud je zátěž napájena přes střídač UPS, případně pokud dojde k výpadku napájecí sítě, tak zátěž je potom napájena z akumulátorů, potom takový systém nazýváme „on-line“. Je charakterizován napětovou a frekvenční nezávislostí na síťovém napájení [8]. Přepnutí mezi tokem energie z elektrické sítě, na tok energie z baterie, se uskutečňuje bez přepínání kontaktů, takže na výstupu nenastanou přechodové jevy. Online UPS se používají pro napájení IT systémů, které jsou náročné na požadavky kvality elektrické energie. Online UPS poskytují včetně záložního napájení elektrické sítě také omezení přepětí, podpětí, harmonického zkreslení THD a omezuje kolísání frekvence. Na obr... je znázorněno principiální schéma online UPS s dvojitou konverzí. UPS s dvojitou konverzí umožňuje provádět na UPS zdroji servis, potom je zátěž napájena přímo z elektrické sítě (podle Obr. 2-7 by byl přepínač v horní poloze).



Obr. 2-7 Online UPS

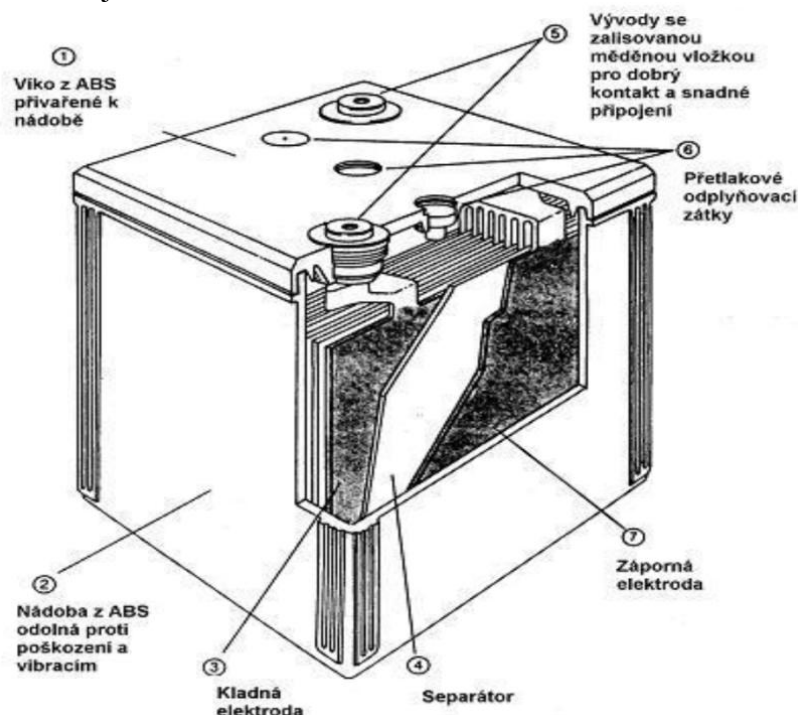
Jelikož je kapacita sekundárních článků, které se skládají do funkčních celků - baterií omezená, je použití UPS na několik minut až několik hodin. Pokud potřebujeme při výpadku napájecí sítě zálohovat systémy větších výkonů a po dlouhou dobu, je zapotřebí zajistit napájení zátěže pomocí jiného zdroje než elektrochemického, např. diesel generátor.

2.4 Akumulátory

Akumulátory nazýváme sekundární články. V současnosti jsou nejrozšířenější akumulátory na bázi olova, niklu a lithia [2]. Kde olověné akumulátory jsou s kyselým elektrolytem. Akumulátory na bázi niklu a olova mají elektrolyt alkalický. Baterie složená z jednotlivých akumulátorů pro zálohu elektrické energie v budovách, se potom nazývá „staniční“.

2.4.1 Olověné akumulátory

Pro zdroje nepřerušovaného napájení UPS nejčastěji používáme akumulátory na bázi olova. Olověné akumulátory jsou nejlevnějším typem akumulátorů. Elektrolytem je vodní roztok kyseliny sírové H_2SO_4 . Pro doplňování článků se zásadně musí použít destilovaná voda. Nádoba akumulátoru je dnes vyráběna převážně z termoplastů [2]. Konstrukce olověného akumulátoru je na Obr. 2-8.



Obr. 2-8 Konstrukce Pb akumulátoru [2]

Kapacity akumulátorů se udávají v ampérhodinách. Baterie pro použití jako staniční pro zálohování větších výkonů mají podle [2] kapacity 102 až 104 Ah. Akumulátorovny jsou dobře odvětrávané a klimatizované místnosti, tím se v nich udržuje nižší teplota a akumulátory mají delší životnost. Akumulátorovna by se měla nacházet v přízemí budovy, kvůli hmotnosti akumulátorových článků.

Co musíme zajistit pro provoz akumulátorů je jejich *nabíjení*. Napětí nabíjecího zdroje musí být větší než vnitřní napětí akumulátorů [2]. Rozlišujeme několik způsobů nabíjení. Pokud nabíjíme *vybité* články, tak nabíjení můžeme rozdělit:

- *standardní* nabíjení pro články větších ampérhodinových kapacit 15 Ah a více (doba nabíjení 6 – 20 hodin),
- *rychlé* nabíjení (2 – 5 hodin),
- *zvláště rychlé* nabíjení (0,5 – 2 hodiny).

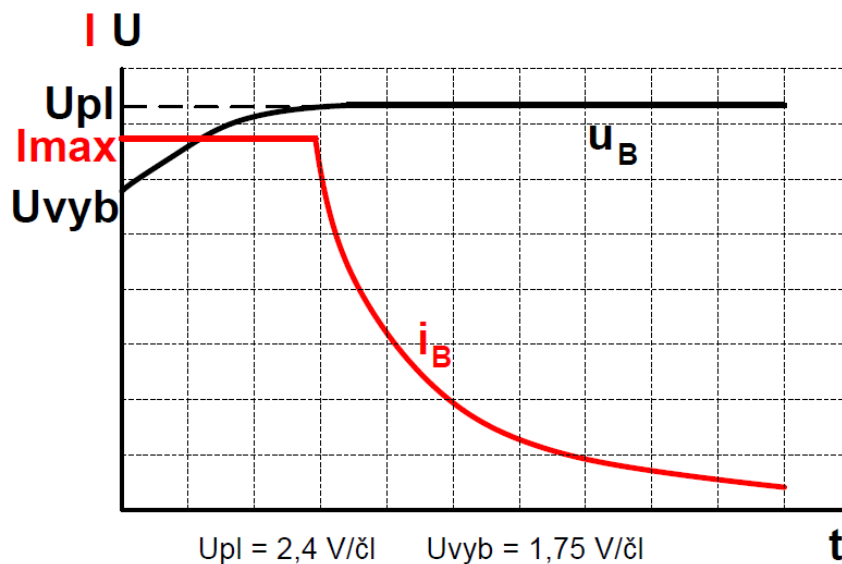
Rychlé nabíjení olověných akumulátorů se používá např. při nabíjení autobaterií, baterií v elektromobilu, pro elektrovozíky. U staničních akumulátorů používáme nabíjení standardní.

U staničních akumulátorů pro zálohu napájení používáme trvalé dobíjení. Pomocí trvalého dobíjení udržujeme akumulátory neustále nabité. Při trvalém dobíjení se doplňuje pouze energie ztracená samovybitím článků [2].

2.4.2 Nabíjecí charakteristiky

Základní nabíjecí charakteristikou pro nabíjení vybitých olověných akumulátorů (při napětí 1,75 V/čl.) je charakteristika, která se označuje IUa. Tato nabíjecí charakteristika se skládá ze dvou fází. V první fázi nabíjení nabíjíme konstantním proudem. Podle [2] může být tento nabíjecí proud teoreticky libovolně velký, ale teplota článku nesmí potom být větší než teplota, kterou udává výrobce (bývá 40°C). Výrobce udává maximální hodnotu nabíjecího proudu a také jsme limitováni maximální hodnotou proudu, který je schopen dodat dobíječ. Velikost nabíjecího proudu v první fázi nabíjení se volí obvykle 0,1 až 0,2 CA, kde CA je číselná hodnota jmenovité ampérhodinové kapacity akumulátoru [2]. V první fázi nabíjecí charakteristiky IUa tedy nabíjíme konstantním proudem a stoupá napětí článku až do hodnoty 2,4 V/čl. Tato hodnota napětí se nazývá *hrana plynovacího napětí*. Při hraně plynovacího napětí dochází k vývinu plynů v akumulátoru a tlak v akumulátoru rychle roste. Pro snížení plynů v akumulátoru omezíme velikost nabíjecího proudu a tím se dostáváme do druhé fáze nabíjení. Ve druhé fázi nabíjení na akumulátoru udržujeme konstantní napětí na hodnotě 2,4 V/čl. a nabíjecí proud klesá. Nabíjení můžeme ukončit např. za čas dvanácti hodin. Nejvyšší hodnota při nabíjení olověných akumulátorů je 2,67 V/čl. Tato hodnota napětí se nazývá *konečné nabíjecí napětí*. Ovšem nabíjet olověný akumulátor nad hodnotu hrany plynovacího napětí 2,4 V/čl. je možné podle [2] pouze u akumulátorů s tekutým elektrolytem a musí být takového provedení, aby se mohl elektrolyt doplnit vodou, což bývá např. u startovacích a trakčních akumulátorů. Průběhy napětí a proudu při nabíjení jsou uvedené na Obr. 2-9.

Pokud chceme trvale dobíjet akumulátory, aby byly neustále v pohotovosti, tak po dobití akumulátoru podle charakteristiky IUa snížíme napětí dobíječe na hodnotu 2,24 V/čl. Toto napětí se nazývá *udržovací napětí*. Potom nabíjecí proud bude tak malý, že kryje ztráty samovybitím [2]. Přesnou hodnotu udržovacího napětí akumulátoru vyhledáme v katalogu výrobce.



Obr. 2-9 Nabíjecí charakteristiky IUa [2]

2.4.3 Dimenzování UPS a baterií

V datových centrech obvykle požadujeme dobu činnosti UPS zdrojů na 15 až 20 minut. Tato doba je dostatečně dlouhá pro najetí diesel generátorů.

Výrobci systémů UPS někdy uvádějí, že účinník UPS je 1. Potom se činný výkon P rovná zdánlivému výkonu S. Pokud dimenzujeme UPS zdroj, měli bychom navýšit výkon UPS o výkonovou rezervu 20 %. Tím si tedy určíme, jaký bude výkon na výstupu UPS.

Pokud ovšem dimenzujeme baterii (v textu uvedený postup platí pro *Pb akumulátor*), musíme obecně počítat, s účinností střídače UPS zdroje. Pokud máme zálohovat pomocí UPS zdroje např. serverovnu, musíme právě zohlednit účinnost střídače UPS, podle vztahu (2.1)

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}, \quad (\text{W}), \quad (2.1)$$

kde P_2 je výkon, který chceme zálohovat (velikost zátěže). Takže pro výpočet baterie je určující výkon zálohované technologie navýšený o účinnost střídače UPS zdroje. Pro výběr akumulátorových článků můžeme použít dva způsoby:

- 1) podle výkonu na článek,
- 2) podle vybíjecího proudu.

Pro výběr akumulátorových článků, potřebujeme od výrobce jejich data. Pokud budeme vybírat akumulátory podle jejich výkonu na článek, postupujeme tak, že výkon na výstupu UPS navýšený o účinnost střídače (účinnost nalezneme v katalogu), podělíme počtem článků. Kolik potřebujeme článků, je dáno stejnosměrným napětím, které je třeba na vstupu do střídače UPS a na jmenovitém napětí akumulátoru. Hodnotu potřebného stejnosměrného napětí zjistím z katalogu UPS zdroje. Dále je pro nás důležitá doba zálohy. Když máme vypočten potřebný výkon na článek, vyhledáme si jeho nejbližší vyšší hodnotu ve sloupečku pro námi zvolenou dobu zálohy napájení. V anglosaské literatuře a katalozích pro akumulátory, se setkáme s názvem „Watt per cell - VPC“.

Pokud vybíráme akumulátory podle vybíjecího proudu, spočteme si nejprve počáteční napětí baterie, které vychází ze vztahu (2.2):

$$U_{poč} = U_{drž} \cdot \text{počet článků} \quad (\text{V}), \quad (2.2)$$

kde $U_{drž}$ je udržovací napětí akumulátorového článku, které je 2,24 V/čl.

Dále si určíme konečné (nejnižší) napětí baterie podle vztahu (2.3)

$$U_{end} = U_{vyb} \cdot \text{počet článků} \quad (\text{V}), \quad (2.3)$$

kde U_{vyb} je konečné vybíjecí napětí akumulátorového článku, které je 1,75 V/čl.

Z těchto hodnot vypočítáme počáteční proud podle (2.4) a konečný proud podle (2.5)

$$I_{poč} = \frac{P_1}{U_{poč}} \quad (\text{A}), \quad (2.4)$$

$$I_{end} = \frac{P_1}{U_{end}} \quad (\text{A}). \quad (2.5)$$

Z těchto proudů vypočítáme průměrnou hodnotu vybíjecího proudu a podle katalogu výrobce akumulátorů z tabulky vybíjecích proudů, vyberu akumulátory pro zvolenou dobu zálohy. Postup konkrétního výpočtu je popsán v kapitole – „Technická zpráva“.

2.5 Diesel generátory

Diesel generátory používáme v elektroinstalaci pro zálohu napájení při dlouhodobém výpadku elektrického napájení ze sítě. Diesel generátor je tedy schopen delší dobu dodávat elektrickou energii (např. 8 hodin), jak dlouho bude elektrickou energii dodávat, záleží na naftovém hospodářství. Reálný diesel generátor je zobrazen na Obr. 2-10 od firmy [12].



Obr. 2-10 Diesel generátor [12]

Diesel generátor je v podstatě soustrojí, které je složeno ze dvou hlavních částí, a sice ze spalovacího motoru a synchronního stroje. Dále obsahuje startovací systém, systém chlazení, řídicí a měřicí systém a palivovou nádrž.

Diesel generátor má přibližně dvakrát větší impedanci než transformátor, proto se při počítání zkratových poměrů v elektrické síti počítá s příspěvkem od transformátorů.

Diesel generátor také potřebuje napájení vlastní spotřeby, což je v podstatě vlastní spotřeba celé strojovny, kde je diesel generátor umístěn. Vlastní spotřebou rozumíme napájení řídicího panelu, napájení pro ohřev vody motoru, napájení pro dobíjení akumulátorů, dále napájení pohonů klapky pro chlazení a sání vzduchu. Pohon pro klapky musí být dostatečně dimenzován, protože při rozběhu soustrojí, je vzduch pomocí ventilátoru na jeho zadní straně vháněn do diesel generátoru a klapky se otevírají proti proudění vzduchu. Ve stěně strojovny bývá ventilátor pro její provětrávání. I když soustrojí už neběží, tak se strojovna musí řádně provětrat kvůli zbytkovým zplodinám z nafty. Diesel generátor vyžaduje trvalou údržbu, jako např. výměnu oleje, vody atd.

2.5.1 Řídicí systém diesel generátoru

Řídicí systém zvyšuje spolehlivost provozu diesel generátoru, usnadňuje servisovatelnost, možnost výstupu na monitoring a poruchovou signalizaci.

Stejně jako musíme přiřazovat synchronní generátory v elektrárnách k elektrické síti, přiřazujeme k elektrické síti i diesel generátor. K přiřazování používáme řídicí jednotky, např. Woodward.

Při fázování musíme nejprve zkontrolovat sled fází, takže stroj má potom pevně daný směr točení. Pomocí regulačního zařízení, které měří napětí v síti a na diesel generátoru nastavíme stejnou frekvenci a napětí generátoru a sítě. Regulační zařízení působí na napěťový regulátor diesel generátoru a ten působí na budící vinutí (pouští do budícího vinutí větší nebo menší proud). Frekvence se reguluje pomocí otáčkového regulátoru motoru. Dále musíme zkontrolovat, jestli nejsou napětí sítě a generátoru v protifázi.

Rotor synchronního stroje se otáčí rychlostí $1\,500\text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ a synchronní stroj je čtyřpólový, potom podle vztahu (2.6) z [6] pro frekvenci, získáme, že frekvence napětí a proudů získaná z generátoru je 50 Hz.

$$f = \frac{p \cdot n}{60} \quad (\text{Hz}), \quad (2.6)$$

kde:

p je počet pólů (-),

n je rychlost otáčení rotoru synchronního stroje ($\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$).

Abychom zamezili výpadku napájení zařízení při zkouškách činnosti diesel generátoru ve chvíli, kdy odepneme napájení z transformátoru a připojíme generátor, používáme pro tyto účely tzv. *vstřícné fázování*. Znamená to, že diesel generátor je paralelně v chodu se sítí po dobu jednotek sekund (max. 10 s) a potom řídicí systém vypne vypínač transformátoru a sepne vypínač diesel generátoru, který potom napájí celé datové centrum.

V katalogu výrobci udávají zdánlivý výkon S (kVA), který souvisí se synchronním generátorem a činný výkon P (kW), který je dán spalovacím motorem. Výrobci těchto zařízení zpravidla dodržují základní vztah (2.7):

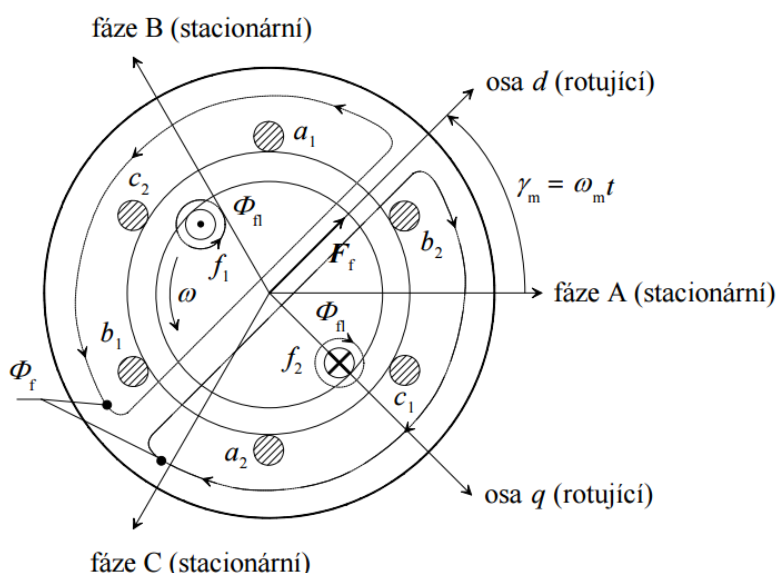
$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi = S \cdot \cos\varphi, \quad (\text{W}) \quad (2.7)$$

kde účinník generátoru je 0,8.

Měli bychom diesel generátor dimenzovat tak, aby skoková změna výkonu připojeného na diesel generátor byla 50 % (max. do 70 %) výkonu diesel generátoru. Pokud by zátěž dosahovala více jak 70 % výkonu generátoru, následoval by pokles otáček soustrojí o 10 až 20 %.

2.5.2 Princip synchronního stroje

Na Obr. 2-11 je principiálně znázorněn synchronní stroj s hladkým rotorem podle [16].



Obr. 2-11 Principiální schéma synchronního stroje [16]

Budící vinutí jsou označeny f_1 a f_2 . Začátek a konec vinutí např. u fáze B je označen b_1 a b_2 . Na Obr. 2-11 také vidíme, že rotor má rotující podélnou osu d , což je hlavní magnetická osa budícího vinutí a také rotující příčnou osu q . Magnetický tok je složen z rozptylového toku Φ_n a hlavního toku Φ_f . Úhel $\gamma_m = \omega_m t$ určuje podle [16] okamžitou pozici podélné rotorové osy d vůči referenční ose (na Obr. 2-11 fáze A) a ω_m označuje úhlovou rychlost rotoru. U dvojpólového stroje jedna mechanická otáčka odpovídá jedné periodě elektrických a magnetických veličin [16]. Pokud máme generátor s p póly, potom mechanická otáčka odpovídá $p/2$ elektrickým periodám.

Vinutí rotoru napájíme stejnosměrným proudem a vzniká nám rotující tok vybuzený tímto proudem. Tento rotující tok vytváří magnetomotorickou sílu F_f . Tato magnetomotorická síla vytváří magnetický tok Φ_f . Magnetický tok Φ_f protéká magnetickým obvodem stroje a má velikost podle vzorce (2.8) dle [16]:

$$\Phi_f = \frac{F_f}{R_m} = \frac{N_f \cdot i_f}{R_m}, \quad (2.8)$$

kde:

R_m je reluktance (magnetický odpor) příslušné cesty,

N_f je efektivní počet závitů rotorového vinutí na pól,

i_f je velikost budícího proudu.

Budící tok vyvolává tok spřažený s každým ze statorových vinutí. Pro tok zabírající s vinutím každé fáze, která má N_Φ závitů lze podle [16] psát vztah (2.9) pro fázi A:

$$\psi_{fA}(t) = \psi_{fA} \cdot \cos \omega t = N_\Phi \cdot \Phi_f \cdot \cos \omega t = \frac{N_\Phi \cdot N_f \cdot i_f}{R_m} \cos \omega t = M \cdot i_f \cdot \cos \omega t \quad (2.9)$$

Tento spřažený magnetický tok indukuje ve fázi A vnitřní napětí podle vztahu (2.10)

$$e_{fA} = - \frac{d\psi_{fA}(t)}{dt} = \omega \cdot M \cdot i_f \cdot \sin \omega t \quad (\text{V}). \quad (2.10)$$

Toto napětí je napětí naprázdno.

Rotor synchronního generátoru je poháněn vnějším zařízením, např. u turboalternátorů v elektrárnách parní turbínou nebo u diesel generátorů spalovacím motorem. Spalovací motor dodává moment M_m . Aby byla rychlost rotoru konstantní, musí synchronní stroj vyvinout stejný moment opačného smyslu M_c . Tento moment určíme z činného výkonu přenášeného přes vzduchovou mezeru [16], podle vztahu (2.11)

$$P_v = 3E_f \cdot I \cdot \cos \beta, \quad (\text{W}) \quad (2.11)$$

kde $\cos \beta$ je vnitřní účinnost stroje.

Při zanedbání ztrát musí být tento výkon roven mechanickému výkonu na hřídeli [16], vztah pro mechanický výkon (2.12):

$$P_m = M_m \cdot \omega_m \quad (\text{W}), \quad (2.12)$$

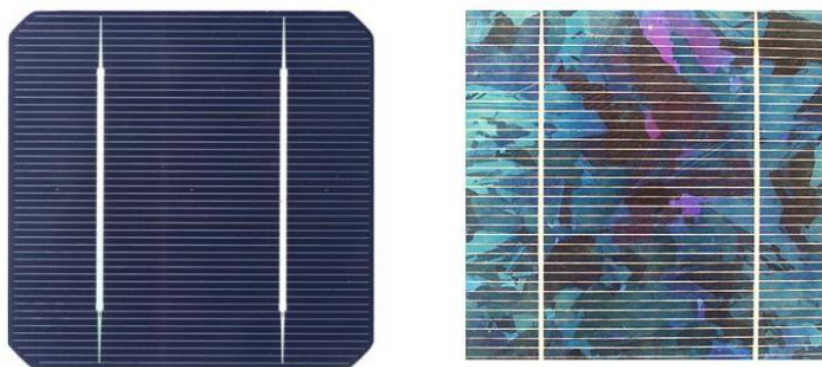
potom bude moment (2.13):

$$M_m = \frac{3E_f \cdot I \cdot \cos \beta}{\omega_m}. \quad (2.13)$$

3 FOTOVOLTAIKA

Základ fotovoltaického systému je tvořen generátorem. Tento generátor je sestaven z *fotovoltaických článků*, které jsou navzájem propojené do série a tvoří tzv. *modul*. Pokud propojíme jednotlivé moduly, vznikne *fotovoltaické pole*.

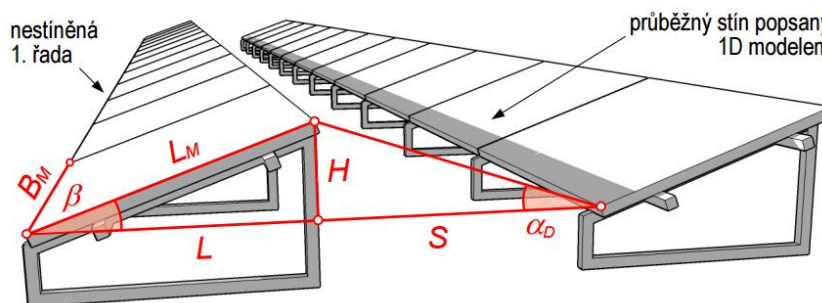
Jelikož fotovoltaický článek, např. z krystalického křemíku (c-Si) má stejnosměrné pracovní napětí přibližně 0,5 V a proudovou hustotu přibližně 35 mA.cm⁻², musíme stejnosměrné napětí přeměnit na střídavé pomocí *střídače*. Fotovoltaický článek je znázorněn na Obr. 3-1. Na levé straně je fotovoltaický článek z monokrystalického křemíku a na pravé straně je z polykrystalického křemíku. Účinnost monokrystalického článku je 18 % a u polykrystalického je 16 % [1].



Obr. 3-1 Fotovoltaické články z c-Si [1]

Pokud přímo na vstup střídače připojujeme fotovoltaické moduly, musíme ještě zajistit sledování bodu maximálního výkonu, tzv. MPP tracker. Na střídače k fotovoltaickým elektrárnám můžeme také připojit komunikační linku pro monitorování provozu elektrárny. Tyto střídače dělíme na *modulové*, to znamená, že k jen jednomu modulu je připojen střídač, dále střídače *řetězcové*, které jsou připojené k více modulům (tyto moduly jsou zapojené do série) a nakonec velké *centrální* střídače (na takový střídač je připojeno až stovky modulů).

Pro fotovoltaické elektrárny na budovách jsou nejvýhodnější budovy s plochou střechou. Fotovoltaické moduly jsou umísťovány v řadách. Při návrhu musíme počítat s vnitřním stíněním (řady modulů se navzájem stíní) a pokrytím střešní plochy. Pro výpočet odsazení jednotlivých řad budeme vycházet z Obr. 3-2.



Obr. 3-2 Umístění panelů na ploché střeše [1]

Při výpočtu vycházíme z návrhového úhlu α_D (pro ČR je obecně 16°), na kterém závisí rozestupy řad modulů. Rozestupy mezi řadami určuje parametr S (m), který se ze vztahu (3.1) podle [1] vypočte:

$$S = \frac{H}{\operatorname{tg} \alpha_D} = \frac{L_m \cdot \sin \beta}{\operatorname{tg} \alpha_D} \quad (\text{m}), \quad (3.1)$$

kde H (m) je rozměr modulu, který je promítnut do svislé roviny, úhlem β ($^\circ$) popisujeme sklon modulu od střechy a L_m je rozměr fotovoltaického modulu (m).

Fotovoltaický systém z hlediska ceny tvoří především fotovoltaické moduly, střídače a nosné konstrukce. Fotovoltaické elektrárny dělíme podle instalovaného výkonu na systémy:

- 1) malé systémy do 100 kWp,
- 2) velké systémy nad 100 kWp.

Malé fotovoltaické elektrárny používají malé střídače, s výkonem do 10 kW. Velké fotovoltaické elektrárny používají centrální střídače o výkonu 40 – 1000 kW.

Základní parametry střídačů jsou:

- 1) maximální vstupní napětí,
- 2) účinnost střídače,
- 3) maximální vstupní proud,
- 4) vnitřní zapojení,
- 5) krytí IP.

Pro správný výběr střídačů bychom měli dodržet tři podmínky:

- 1) vstupní výkon P_{DC} , by se měl pohybovat v rozmezí $1 - 1,15 \cdot \frac{P_{ACmax}}{\eta}$,
- 2) vstupní proud, který můžeme na střídač přivést, musí být větší než proud nakrátko modulů připojených na střídač $I_{DCmax} > I_{SC}$,
- 3) vstupní napětí střídače musí být větší než napětí naprázdno modulů připojených na střídač při okolní teplotě $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $U_{DCmax} > U_{0C}$

Nosná konstrukce může být fixní (nejčastěji používané) nebo s natáčecím systémem (sledovač Slunce). Nosná konstrukce bývá vyrobena z pozinkované oceli, hliníku nebo dřeva. Na střechy budov se na nosnou konstrukci umísťuje jedna řada panelů, kvůli zatížení větrem a sněhem.

Fotovoltaické panely a řada dalších komponent systému bývá instalována na venkovních silně exponovaných místech, kde hrozí poškození vlivem vzniku přepětí nebo přímého zásahu bleskem [1]. Podle [1] se dnes dává přednost oddálenému hromosvodu, takže fotovoltaický systém na střeše budovy, je instalován v tzv. bezpečné vzdálenosti s . O této vzdálenosti je psáno v následující kapitole. Ochranu před přímým úderem blesku zajišťují na plochých střechách jímací tyče. Pro ochranu proti přepětí postačí podle [1] svodiče přepětí druhého stupně.

Pro dosažení maximální výtěžnosti instalovaného FV systému je třeba vhodně zvolit jeho údržbu a zajistit včasné zjištění problémů, jejich rychlou lokalizaci a odstranění [1].

4 KOMPENZACE ÚČINÍKU

Spotřebiče v elektrickém rozvodu neodebírají pouze činný příkon, ale také jalový.

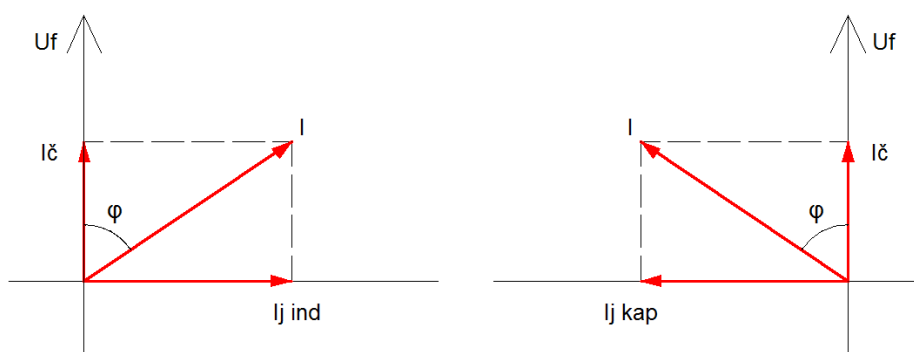
První skupinou spotřebičů jsou ty, které činný příkon odebírají. Jedná se především o elektrotepelné spotřebiče, jako jsou elektrické kotle, ohříváče vody a další.

Druhou skupinou elektrospotřebičů tvoří elektrické stroje, které ke svému provozu potřebují vytvořit elektromagnetické pole a odebírají ze sítě potřebnou jalovou energii. To jsou např. elektromotory, indukční pece, svařovací zařízení a další [3].

Další spotřebiče ovšem mohou jalovou energii dodávat a pracují s kapacitním charakterem proudu.

Pokud máme spotřebiče induktivního charakteru (převážně v průmyslu), vyžadují induktivní složku proudu. Induktivní složka proudu se opoždí za napětím o $\pi/2$ a podle [3] nekoná činnou práci a zatěžuje distribuční síť i zdroje.

Princip kompenzace induktivní nebo kapacitní složky proudu, je založen na skutečnosti, že tyto obě složky proudu jsou v protifázi. Pokud budeme vhodně řadit spotřebiče induktivního nebo kapacitního charakteru, je možno docílit zmenšení jalové složky proudu teoreticky až na nulu. Na Obr. 4-1 jsou fázorové diagramy pro induktivní a kapacitní spotřebič.



Obr. 4-1 Fázorové diagramy induktivní a kapacitní zátěže [3]

Činný výkon dosahuje největší hodnoty při účinníku $\cos \varphi = 1$, tím pádem je fázový posuv mezi napětím a proudem (úhel φ) nulový. Pokud ovšem účinník $\cos \varphi$ klesá, roste jalová složka proudu. Jalová složka proudu zhoršuje poměry v přenosu elektrické energie, jak u odběratele, tak v elektrizační soustavě. Podle [3] se např. zvětšují úbytky napětí v rozvodu elektrické energie, zhoršuje se stabilita přenosu energie a zvětšují se ztráty, protože i jalová složka proudu se podílí na činných ztrátách. Pokud podle [3] uvažujeme komplexní proud složený z činné a jalové složky podle vztahu (4.1) [3]:

$$I^2 = I_c^2 + I_j^2 = I^2 \cos^2 \varphi + I^2 \sin^2 \varphi \quad (4.1)$$

Potom poměr činných ztrát ke ztrátám jalovým, bude podle (4.2) [3]:

$$\frac{\Delta P_Q}{\Delta P_c} = \frac{3 \cdot R \cdot I^2 \cdot \sin^2 \varphi}{3 \cdot R \cdot I^2 \cdot \cos^2 \varphi} = \operatorname{tg}^2 \varphi \quad (4.2)$$

Proto např. při účinníku $\cos \varphi = 0,7$ jsou ztráty způsobené jalovou složkou proudu stejné, jako ztráty způsobené činnou složkou proudu [3].

Jalový výkon můžeme kompenzovat tak, že vykompenzujeme jalovou složku proudu, ale činná složka proudu zůstane stejná. Fázorový diagram pro tuto situaci je znázorněn na Obr. 4-2.

Předtím než bychom provedli kompenzaci, měli bychom jalový výkon o velikosti podle (4.3):

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \sin \varphi \quad (\text{VAr}). \quad (4.3)$$

Po kompenzaci, už bude jiný fázový (menší) posuv mezi napětím a proudem φ_k a zmenší se jalová složka proudu. Potom bude platit pro jalový výkon po kompenzaci (4.4):

$$Q_k = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_k \sin \varphi_k \quad (\text{VAr}). \quad (4.4)$$

Norma *ČSN EN 62305 – 1 – ochrana před bleskem – Část 1: Obecné principy*, pojednává právě o obecných principech, které by se měly dodržovat při ochraně nejen budov, ale především osob a majetku před bleskem.

5.1.1 Účinky blesku na stavbu

Pokud hodnotíme účinky blesků na stavbu, zajímají nás podle normy *ČSN EN 62305-1* tyto vlastnosti stavby:

- 1) konstrukce (cihlová, betonová, dřevěná, ocelová skeletová konstrukce,...),
- 2) účel stavby (rodinný dům, obchodní dům, škola, nemocnice, banka, továrna,...),
- 3) obyvatelé a obsah,
- 4) připojené inženýrské sítě ke stavbě (potrubí, slaboproudá a silnoproudá vedení,...),
- 5) ochranná opatření,
- 6) míra rozšíření nebezpečí.

5.1.2 Typy poškození staveb

Norma *ČSN EN 62305 – 1* bere v úvahu čtyři situace, které se označují počátečním písmenem S, kam může zasáhnout blesk:

- 1) S1 – úder blesku přímo do stavby,
- 2) S2 – úder blesku v blízkosti stavby,
- 3) S3 – úder blesku do sítě připojené ke stavbě,
- 4) S4 – úder blesku v blízkosti sítě připojené ke stavbě.

Potom typy poškození staveb jsou následující a označují se počátečním písmenem D:

- 1) D1 – úraz lidí nebo zvířat dotykovým a krokovým napětím,
- 2) D2 – hmotná škoda způsobena účinky blesku (požár, výbuch,...),
- 3) D3 – porucha systémů uvnitř stavby.

5.1.3 Ztráty

Každý typ škody týkající se chráněné stavby, samotný nebo v kombinaci s jinými, může vyvolat různé následné ztráty – pro účely norem IEC 62305 se uvažují typy ztrát:

- 1) L1: ztráty na lidských životech,
- 2) L2: ztráty na službách veřejnosti,
- 3) L3: ztráty na kulturním dědictví,

- 4) L4: ztráty ekonomické, při zastavení činnosti objektu.

5.1.4 Rizika

Potřeba ochrany chráněných objektů před bleskem za účelem snížení ztrát sociálních hodnot L1, L2 a L3 musí být vyhodnocena. Proto se musí provést ohodnocení rizika v souladu s postupy v ČSN EN 62305-2. V této normě je riziko definované jako pravděpodobné průměrné roční ztráty na stavbě způsobené údery blesku a závisí:

- počtu úderů blesku ovlivňujících stavbu za rok,
- pravděpodobnosti poškození jedním působením blesku,
- průměrném rozsahu následných ztrát.

Riziko R je poměrná hodnota průměrných ročních ztrát. Pro každý typ ztrát, které mohou nastat ve stavbě, musí být oceněno odpovídající riziko. V úvahu se musí brát následující rizika odpovídající typům ztrát (L1, L2, L3, L4):

- 1) R1 – riziko ztrát na lidských životech,
- 2) R2 – riziko ztrát na službách veřejnosti,
- 3) R3 – riziko ztrát na kulturním dědictví,
- 4) R4 – riziko ztráty ekonomických hodnot.

5.1.5 Kritéria pro ochranu staveb

Ochranná opatření, pro snížení škod způsobených bleskem a následných ztrát, musí být navržena pro stanovený soubor parametrů bleskového proudu, pro které se ochrana požaduje (hladina ochrany před bleskem - LPL). Hladina ochrany před bleskem (LPL) slouží pro návrh ochranných opatření dle odpovídajícího souboru parametrů bleskového proudu.

Pro účely souboru norem IEC 62305 jsou zavedeny čtyři hladiny ochrany před bleskem (I až IV). Pro každou LPL je stanoven soubor maximálních a minimálních parametrů bleskového proudu. Maximální hodnoty bleskových proudů se používají pro návrh komponentů ochrany před bleskem (např. průřezů vodičů, tloušťky kovových stínění, proudové zatížitelnosti SPD, dostatečné vzdálenosti proti nebezpečnému jiskření). Minimální hodnoty bleskových proudů se používají pro odvození poloměru valcív se koule, při stanovení zóny ochrany před bleskem LPZ 0B, která nemůže být zasažena přímým úderem.

Jsou zavedené čtyři hladiny LPL, kde pro každou hladinu LPL jsou stanoveny v normě ČSN EN 62305-3 maximální a minimální hodnoty bleskového proudu i s pravděpodobnostmi, že bleskové proudy nebudou větší než uvedené hodnoty. Maximální a minimální hodnoty bleskového proudu pro každou hladinu LPL je v Tab. 1.

Tab. 1 Hodnoty bleskových proudů

LPL	Max. hodnota bleskového proudu	Pravděpodobnost blesk. proud > max. hodnota	Min. hodnota bleskového proudu	Pravděpodobnost blesk. proud > max. hodnota	Poloměr valící se koule
I	200 kA	99 %	3 kA	99 %	20 m
II	150 kA	98 %	5 kA	97 %	30 m
III	100 kA	95 %	10 kA	91 %	45 m
IV	100 kA	95 %	16 kA	84 %	60 m

5.1.6 Systém ochrany před bleskem, třídy LPS

Systém ochrany před bleskem se označuje LPS a sestává se z následujících dílčích systémů:

- 1) jímací systém,
- 2) svody,
- 3) uzemnění,
- 4) ekvipotenciální pospojování,
- 5) elektrická izolace proti vnějším LPS.

Jímací systém, svody a uzemnění tvoří vnější ochranu stavby před bleskem. Ekvipotenciální pospojování a elektrická izolace proti vnějším LPS tvoří vnitřní ochranu stavby před účinky blesku.

Třída systému ochrany před bleskem LPS je v podstatě zařazení LPS podle hladiny ochrany před bleskem LPL. Toto zařazení do tříd LPS vyjadřuje kvalitu systému ochrany před bleskem. Třídy LPS odpovídají hladinám LPL, jak je znázorněno v Tab. 2.

Tab. 2 Přiřazení hladin LPS a LPL

LPL	Třída LPS
I	I
II	II
III	III
IV	IV

Třída LPS se vybírá na základě vyhodnocení řízení rizika.

5.2 Projektování hromosvodu

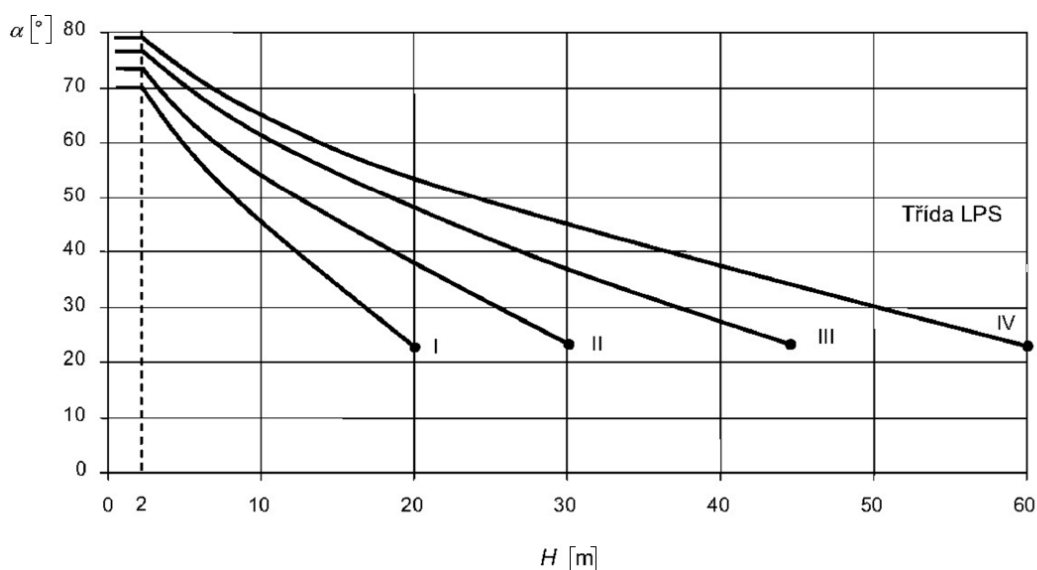
Hromosvod se projektuje pomocí normy ČSN EN 62305 – 3 - *Ochrana před bleskem – Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života.*

Jímací soustava může být vytvořena pomocí jímacích tyčí, vodiči mřížové soustavy, zavěšenými lany nebo jejich kombinací. Jímací soustava musí být umístěna na rozích, exponovaných místech, na hranách [15]. Jímací tyče na střeše jsou vzájemně propojené.

Rozlišujeme tři metody pro návrh rozmístění jímací soustavy na střeše podle ČSN EN 62305 – 3:

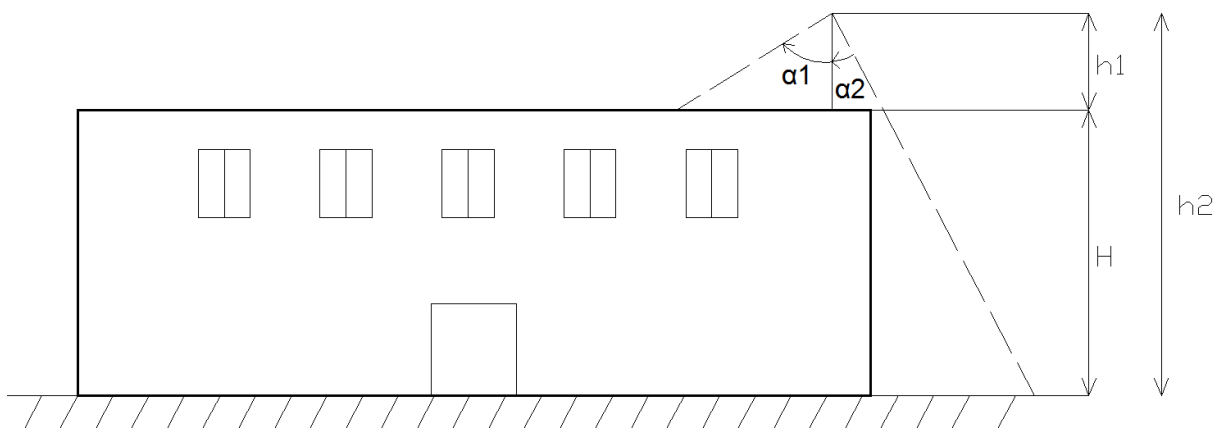
- 1) metoda ochranného úhlu,
- 2) metoda mřížové soustavy,
- 3) metoda valící se koule (univerzální metoda).

Metoda ochranného úhlu je vhodná pro jednoduché tvary staveb. Touto metodou je navržen tyčový hromosvod. Ochranný prostor, který vznikne jímací tyčí, musí pokrýt celou stavbu. V tomto ochranném prostoru nemůže blesk zasáhnout člověka nebo předmět. Ochranný prostor je závislý nejen na výšce jímací tyče, ale také na třídě LPS. Ochranný prostor vytvořen jímací tyčí je tvaru pravoúhlého kužele. Na Obr. 5-1 je zobrazena závislost ochranného úhlu na výšce jímací tyče od referenční roviny, která má být chráněna, a na třídě LPS.



Obr. 5-1 Závislost ochranného úhlu na výšce [15]

Úhel α_1 je závislý na výšce jímací tyče od referenční roviny střechy (např. 3 m), zatímco úhel α_2 je už jiný, ten je závislý nejen na výšce jímací tyče, ale i na výšce budovy od referenční roviny okolního terénu. Celá budova musí být schována pod těmito ochrannými úhly, včetně komínů, žebříků, zábradlí a dalších objektů. Tato situace je znázorněna na Obr. 5-2.



Obr. 5-2 Ochranné úhly

Na Obr. 5-2 je znázorněna kóta h_1 což označuje fyzickou délku jímače, dále je tam délka h_2 , což je výška budovy spolu s výškou jímací tyče a výška H je pouze výška budovy.

Pokud je střecha tvořena nehořlavým materiálem, tak vodiče jímací soustavy mohou být položeny přímo na této střeše. Pokud je střecha z hořlavého materiálu umisťují se vodiče více jak 0,1 m od střechy.

Metodu *mřížové soustavy* je vhodné používat u rovinných střech. Jak mají být vodiče daleko od sebe (maximálně), závisí na třídě LPS, jak ukazuje Tab. 3.

Tab. 3 Hodnoty pro metodu mřížové soustavy [15]

Třída LPS	Velikost ok [m]
I	5x5
II	10x10
III	15x15
IV	20x20

Tyto vodiče u mřížové soustavy by měli být umístěné na okrajích střechy, na jejich převisech, na hřebenu střechy. Vodiče mřížové soustavy by měli být navrženy co nejkratší a s co nejpřímější drahou k uzemnění [15].

Metoda valící se koule se může používat u kterékoliv stavby, je to univerzální metoda. Žádná část stavby by se neměla dotýkat této koule o poloměru r , pouze jímací soustavy. Poloměr valící se koule závisí opět na třídě LPS, jak ukazuje Tab. 4.

Tab. 4 Poloměry valící se koule

Třída LPS	Poloměr valící se koule [m]
I	20
II	30
III	45
IV	60

Pokud navrhujeme neoddálený LPS, tak musí být použité minimálně dva *svody*. Svody slouží k tomu, aby byly vytvořené paralelní dráhy proudu do země, a aby bylo provedeno ekvipotenciální pospojení všech vodivých částí stavby drahou k uzemnění [15]. Maximální vzdálenosti mezi svody v závislosti na třídě LPS jsou vypsány v Tab. 5.

Tab. 5 Vzdálenosti svodů

Třída LPS	Maximální vzdálenosti svodů [m]
I	10
II	10
III	15
IV	20

Kvůli architektonickým požadavkům je vhodné umisťovat svody po obvodu stavby, na rohy stavby. Obvod stavby vydělíme vzdáleností svodů, které jsou uvedené v Tab. 5 a vyjde nám počet svodů, které bychom měli rozdělit po obvodu stavby.

Pokud je stěna budovy tvořena nehořlavým materiálem, tak se svody mohou umisťovat na stěnu nebo do stěny.

Spojení svodů a uzemňovací soustavy se provádí pomocí *zkušební svorky*, která je umístěná 1,5 m nad zemí a ochrana svodu před poškozením je provedena *ochranným úhelníkem*.

5.2.1 Vnitřní systém ochrany před bleskem

Vnitřní systém ochrany před bleskem je popsán v normě *ČSN EN 62305-3*.

Vnitřní LPS se provádí proto, aby se zabránilo jiskření uvnitř stavby. Tato jiskření jsou způsobena průchodem bleskového proudu ve vnějším systému ochrany před bleskem. Zabránit tomuto nebezpečnému jiskření můžeme *ekvipotenciálním pospojováním* nebo *elektrickou izolací* mezi rozdílnými částmi.

K vyrovnaní potenciálů používáme vzájemné propojení systému ochrany před bleskem LPS s kovovými instalacemi, vnitřními systémy a vnějšími vodivými částmi.

Pro vnější systém ochrany před bleskem LPS, který není izolován (oddálený), vodiče pospojování musí být připojené k přípojnicí pospojování MET. Tato přípojnice pospojování musí být spojena s uzemňovací soustavou. Tímto se rozumí ekvipotenciální pospojování proti blesku pro kovové instalace.

V Tab. 6 jsou uvedeny minimální průřezy vodičů pro spojení jednotlivých přípojníc pospojování MET mezi sebou nebo také pro připojení přípojnice MET k uzemnění.

Tab. 6 minimální průřezy pro pospojování MET

Třída LPS	Materiál	Průřez S [mm²]
I - IV	Měď	16
	Hliník	25
	Ocel	50

V Tab. 7 jsou uvedeny minimální rozměry pro vodiče, které spojují vodivé instalace k přípojnicí pospojování MET.

Tab. 7 minimální průřezy pro pospojování vodivých instalací k MET

Materiál	Průřez S [mm²]
Měď	6
Hliník	10
Ocel	16

5.2.2 Elektrická izolace vnějšího LPS

Elektrickou izolaci mezi vnějším systémem ochrany před bleskem LPS a vnitřními systémy nebo kovovými instalacemi můžeme docílit dostatečnou *vzdáleností s* mezi těmito částmi. O této vzdálenosti *s*, pojednává norma *ČSN EN 62305-3*. Podle této normy lze tuto vzdálenost vypočítat obecně podle vzorce (5.1)

$$s = \frac{k_i}{k_m} \cdot k_c \cdot l \quad (\text{m}), \quad (5.1)$$

kde:

k_i je koeficient závislý na zvolené třídě LPS,

k_m je koeficient, který závisí na materiálu elektrické izolace,

k_c je koeficient, který závisí na bleskovém proudu, který protéká svody,

l je délka (m) svodu a jímací soustavy od místa, kde zjišťujeme vzdálenost s do uzemňovací soustavy nebo do nejbližšího bodu ekvipotenciálního pospojování. Tab. 8 udává velikost koeficientu k_i , podle ČSN EN 62305-3.

Tab. 8 koeficient k_i

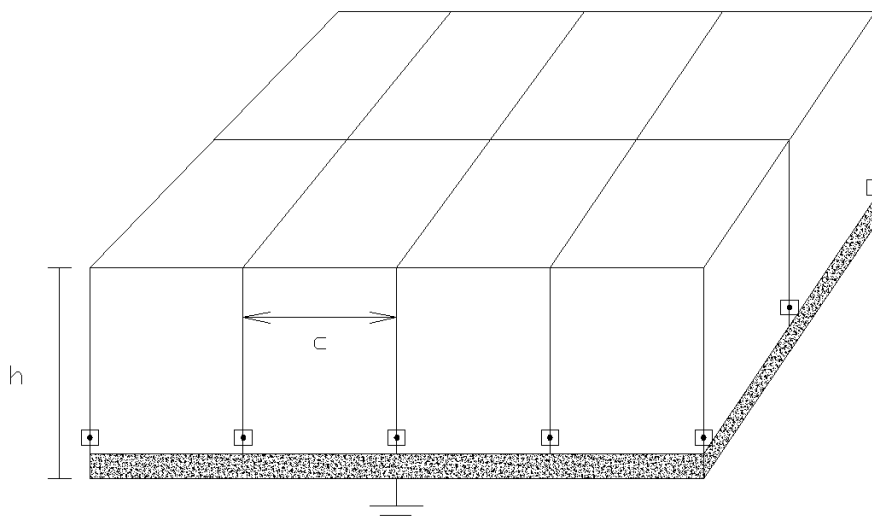
LPS	k_i
I	0,08
II	0,06
III a IV	0,04

Tab. 9 udává velikost koeficientu k_m , podle ČSN EN 62305-3.

Tab. 9 koeficient k_m

Materiál	k_m
Vzduch	1
Beton, cihla, dřevo	0,5

Koeficient k_c závisí jak na třídě LPS, tak také na počtu svodů n , na rozmístění těchto svodů a na druhu jímacího systému. Pokud je použito více jak tři svodů, může se přibližně počítat s hodnotou $k_c = 0,44$.



Obr. 5-3 Soustava svodů

Na Obr. 5-3 je znázorněna budova se soustavou svodů. Pro takový případ se může koeficient k_c vypočítat podle vztahu (5.2)

$$k_c = \frac{1}{2n} + 0,1 + 0,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{c}{h}}, \quad (5.2)$$

kde:

n je počet svodů,

c je vzdálenost mezi jednotlivými svody,

h je vzdálenost mezi obvodymi vodiči.

5.3 Uzemnění

Uzemněním se rozumí vodivé spojení nějakého konkrétního místa silového rozvodu se zemí. Účelem uzemnění je chránit lidi a zvířata před dotykovým a krokovým napětím, svést bleskové proudy a eliminovat účinky přepětí [3]. Zemní odpor celé zemnicí soustavy závisí na typech zemniců, na jejich počtu a na druhu půdy.

Zemnicí pásy jsou nejčastějšími zemnicí. Vyrábějí se jako ocelové pozinkované pásy o minimální tloušťce 3 mm a minimálním průřezu 80 mm². Ukládají se do hloubky 0,7 – 1 m. S výhodou se používá např. stavební základy, kam se uloží zemnicí pásy po obvodu celé stavby. Používají se také pro uzemňování průmyslových závodů, ale musejí být rovnoběžně od sebe rozmístěné. Pásy se musejí propojit a tím se vytvoří se zemní mříž.

5.3.1 Rezistivita půdy

Velikost měrného odporu půdy závisí na druhu zeminy a na její vlhkosti. Jednotkou měrného odporu půdy je $\Omega \cdot m$ a je definována jako odpor válce o délce 1 m a průměru 1 m. Odpor je naměřen mezi elektrodami na protilehlých stranách válce. Pokud nemáme dostatečné informace o zemině, je nutné změřit veličiny půdy. Střední měrný odpor pro rašelinu je 30 $\Omega \cdot m$, pro suchou kamenitou půdu 3 000 – 10 000 $\Omega \cdot m$ [3]. Z těchto hodnot je vidět, že měrný odpor půdy má široké spektrum hodnot. Pro správný návrh zemnicí soustavy je nutné znát měrný odpor půdy na různých místech a hloubkách, kde bude stát stavba.

5.3.2 Zemní odpor zemniců

Požadovaná velikost zemního odporu zemniců závisí na jmenovitém napětí soustavy a na způsobu ochrany před nebezpečným dotykovým napětím. V rozvodu nn musí být uzemněný uzel zdroje (transformátoru). U zařízení do 1 000 V je možno určit zemní odpor podle vztahu (5.3) od [15]

$$R \leq \frac{U_d}{I_v} \quad (\Omega) \quad (5.3)$$

kde U_d je dovolené dotykové napětí (V) a I_v je proud (A), při kterém se vybavuje jistící prvek.

Půdní podmínky a požadovaná hodnota odporu určují velikost nebo počet zemniců. Přibližný návrh uzemňovací soustavy udává norma ČSN 33 2000-5-54 ed.3. Zemnič nesmí být ponořený ve vodě. Vzájemné propojení zemniců se provádí svářením, svorkami nebo jinými mechanickými spojkami.

5.3.3 Hlavní uzemňovací svorka

Pokud je v elektrické instalaci použito ochranné pospojování, musí se použít ochranná svorka. K této ochranné svorce se připojují vodiče ochranného pospojování a uzemňovací přívody, ochranné vodiče.

Pokud použijeme více než jednu ochrannou svorku, tak tyto svorky, musejí být spolu propojené.

5.3.4 Ochranné vodiče

Ochranný vodič musí mít takový průřez, aby vydržel mechanické a tepelné namáhání, které způsobí poruchový proud. Tento poruchový proud protéká ochranným vodičem, až do doby, než ho odpojí ochranný prvek. V Tab. 10 jsou uvedeny průřezy těchto ochranných vodičů.

Tab. 10 průřezy ochranných vodičů

Průřez vodiče vedení S [mm ²]	S ochranného vodiče [mm ²]
$S \leq 16$	S
$16 < S \leq 35$	16
$S > 35$	$S/2$

Průřez ochranného vodiče se může vypočítat pomocí následujícího vztahu (5.4), který je uveden v normě ČSN 33 2000-5-54 ed3:

$$S = \frac{\sqrt{I^2 t}}{k} \quad (\text{mm}^2), \quad (5.4)$$

kde:

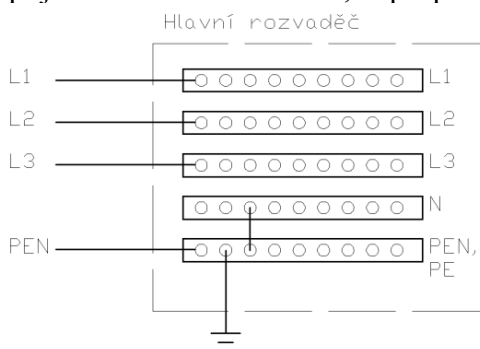
I je předpokládaný poruchový proud (A),

t je doba, kdy zapůsobí ochranný přístroj, pokud jím začne protékat poruchový proud, v sítích TN s obvody nad 32 A se uvažuje hodnota 5 s,

k je součinitel, který závisí na materiálu vodiče a jeho izolaci.

Kovová vodovodní potrubí nebo potrubí pro rozvod plynu, kabelové lávky a další se nesmí použít jako ochranný vodič.

Vodič PEN se musí spojit s ochrannou svorkou, např. podle Obr. 5-4.



Obr. 5-4 Rozdělení vodiče PEN na vodiče PE a N

5.3.5 Vodiče ochranného pospojování

Průřez vodiče pro ochranné pospojování, který se připojí k ochranné svorce, nesmí být menší než polovina průřezu vodiče ochranného uzemnění – vodič PE. Průřez vodiče pro ochranné pospojování nesmí být menší než $6 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$.

Pro vodiče *doplňujícího pospojování*, kterými se spojují dvě neživé části, platí podle normy ČSN 33 2000-5-54 ed.3, že tyto vodiče nejsou součástí kabelu a jejich průřez S nesmí být menší než $2,5 \text{ mm}^2$ pro měď, ale musí být chráněn proti mechanickému poškození např. v trubce nebo elektroinstalačním kanálu. Pokud takto chráněn není, tak jeho průřez nesmí být menší než 4 mm^2 .

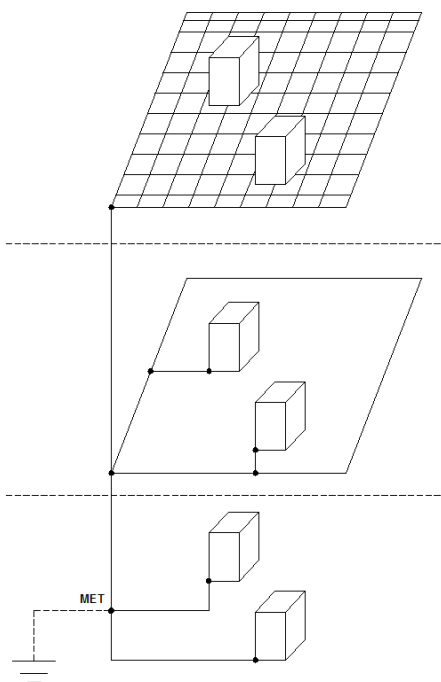
5.3.6 Vnitřní uzemňovací soustava

Podle normy ČSN EN 50310 ed.3 – *Použití společné soustavy pospojování a zemnění v budovách vybavených zařízením informační technologie*, můžeme vytvořit uzemňovací soustavu, která se dělí do čtyř typů:

- 1) Typ A: hvězdicová uzemňovací soustava,
- 2) Typ B: kruhová uzemňovací soustava,
- 3) Typ C: místní síť
- 4) Typ D: síť (nejdokonalejší)

Jednotlivé typy uzemňovacích soustav se v rámci jedné budovy mohou kombinovat. Pro méně důležitá zařízení můžeme použít např. hvězdicové zapojení vnitřního uzemnění, zatímco pro důležitý datový sál, můžeme vytvořit např. síťové zapojení, které je dokonalejší.

Na Obr. 5-5 jsou ukázány tři způsoby, a sice hvězdicové zapojení (dolní část), kruhová uzemňovací síť (prostřední část) a síť (horní část).



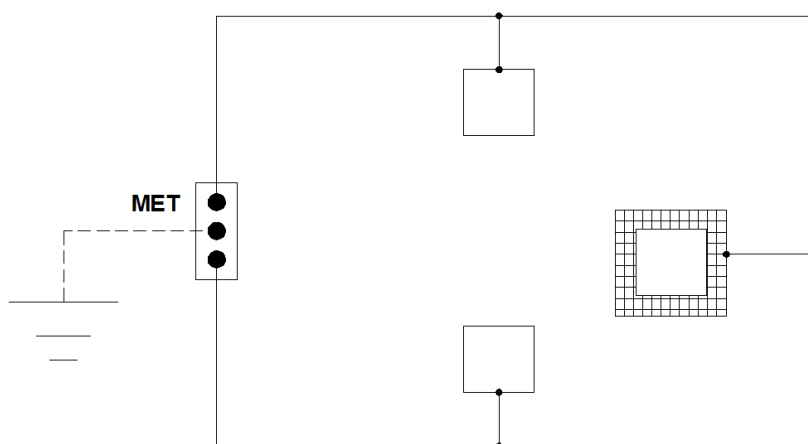
Obr. 5-5 Vnitřní uzemňovací soustavy

Pokud budeme mít ve více podlažích zařízení informačních technologií, které budou propojené metalickou kabeláží, může se objevit požadavek pro vytvoření trojrozměrné uzemňovací sítě, která se blíží Faradayově kleci.

U hvězdicové uzemňovací soustavy by měly být připojené navíc další vodiče pospojování, aby se snížila společná impedance, pokud jsou vodiče pospojování dlouhé. Tím také vznikne nízký rozdíl potenciálu mezi zařízeními.

U kruhové uzemňovací soustavy musí být každé zařízení připojeno k obvodovému vodiči svým PE vodičem.

U místní síť propojujeme všechny kovové části, tím vytvoříme nízkoimpedanční uzemňovací soustavu. V datových centrech na místní síť připojujeme stojany, rámy, vodivé systémy pro trasy a další. Ochranná svorka MET musí být propojena se sítí místního uzemnění, jak je znázorněno na Obr. 5-6.



Obr. 5-6 Spojení MET se sítí místního uzemnění

5.3.7 Uzemnění a pospojování racků

Dle normy ČSN 33 2000-4-444 - *Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4-444: Bezpečnost - Ochrana před napěťovým a elektromagnetickým rušením* musí být s uzemňovací svorkou MET spojeny všechny vodiče ochranného a pracovního uzemnění.

Pokud navrhujeme pospojování jako síť obvodového vodiče, musíme dle normy použít měděný drát o průměru minimálně 8 mm nebo použít měděný pásek o rozměrech 30x2 mm.

Když propojujeme slaboproudé skříně a stojany (racky) k uzemnění kvůli snížení vlivu elektromagnetických rušení, tak průřez ochranného vodiče musí být minimálně 16 mm² pro skřínky větší než 21U, kde U je výška racku rovna 44,54 mm.

5.4 Přepětí

Přepětí je takové napětí, které svou velikostí překračuje amplitudu jmenovitého napětí. Objevuje se mezi fázemi nebo mezi fází a zemí [4].

Přepětí můžeme dělit podle [4]:

- 1) *trvalé přepětí* – u trvalého přepětí je jeho hodnota konstantní a má síťový kmitočet,
- 2) *dočasné přepětí* – trvá poměrně dlouhou dobu a má síťový kmitočet,
- 3) *přechodné přepětí* – přechodné přepětí trvá několik milisekund nebo méně, je tlumené.

Přechodná přepětí dělíme také na přepětí *spínací* nebo *atmosférická*. Spínací přepětí mají pomalé čelo a atmosférická jsou s rychlým nebo velmi rychlým čelem. Přechodná přepětí vznikají např. spínacími procesy v elektrické síti nebo v případě úderu blesku.

Spínací přepětí vznikají, pokud se v elektrické síti mění její parametry, např. při vypínání a zapínání transformátorů, spotřebičů nebo při zemních spojení a zkratech.

5.4.1 Vnitřní ochrana proti bleskovému proudu a přepětí

Pokud chceme navrhnout vnitřní ochranu proti bleskovému proudu a atmosférickým nebo spínacím přepětím, musíme podle normy ČSN EN 62305-4 – *Ochrana před bleskem – Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách* rozdělit stavbu do zón LPZ (Lightning Protection Zone).

Norma určuje zóny LPZ 0a a LPZ 0b. Zóna LPZ 0a je venkovní zóna, která se nachází mimo hromosvod. Zóna LPZ 0b je také venkovní zóna, ale nachází se v ochranném prostoru hromosvodu a v této zóně nehrozí přímý úder blesku. Zóny LPZ 1 a vyšší, už se nacházejí uvnitř budovy.

Pokud do vnějšího hromosvodu udeří blesk, tak např. pokud máme objekt zařazen do třídy LPS I, uvažujeme s hodnotou bleskového proudu až 200 kA. V principu se bleskový proud rozdělí v poměru 50:50, takže 200 kA teče přes svody a nakonec do uzemnění teče 100 kA a zbylých 100 kA se dostane do vnitřní elektroinstalace (rozhraní zóny LPZ 0 a LPZ 1). Proto se na toto rozhraní (nejčastěji v hlavním rozvaděči RH) instaluje svodič bleskového proudu. Svodič bleskového proudu v elektroinstalacích nazýváme svodič typu 1.

Dále na rozhraní mezi zónou LPS 1 a LPS 2 uvnitř budovy, kde v zóně LPS 2 se nacházejí citlivější elektrická zařízení, se instaluje svodič přepětí typu 2. Norma označuje svodiče *SPD* (Surge Protective Device).

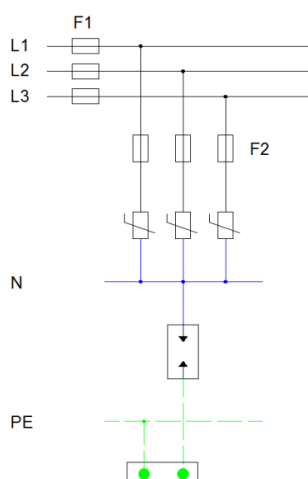
S touto problematikou souvisí znalost hodnot přepětí. V distribuční síti jsou elektrická zařízení dimenzovaná na hodnotu přepětí 6 kV. Taková hodnota přepětí ve vnitřní elektroinstalaci je nepřijatelná, protože by zničilo elektrická zařízení uvnitř objektu.

Elektrická zařízení jsou zařazována do kategorií úrovně přepětí podle své odolnosti. Proto se ochrany proti přepětí SPD volí takovým způsobem, aby na elektrické zařízení nevzniklo napětí, větší než na jaké je zkoušeno [4]. Tím pádem jsou přepětíové ochrany v elektrickém rozvodu odstupňovány. Elektrická venkovní zařízení jsou dimenzovaná na 6 kV. Pomocí bleskojistky SPD 1 umístěné nejčastěji na začátku instalace v hlavním rozvaděči přepětí snížíme na hodnotu 4 kV. Na tuto hladinu přepětí jsou dimenzovány

rozvaděče a kabely. Dále v podružných rozvaděčích použijeme přepět'ovou ochranu SPD 2, která sníží přepětí z hodnoty 4 kV na 2,5 kV. Na takovou hodnotu přepětí už jsou elektrická zařízení jako např. elektromotory zkoušená. Pro elektronická koncová zařízení (např. počítače a další citlivá elektronika) vyžadují přepět'ovou ochranu SPD 3, která sníží přepětí na hodnotu 1,5 kV. Přepět'ové ochrany SPD 3 bývají součástí zásuvek.

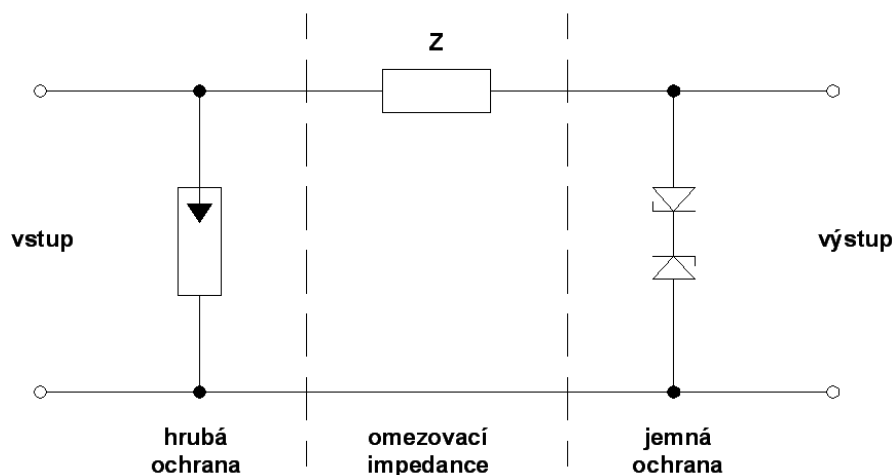
Jako svodič SPD 1 je použita bleskojistka. Bleskojistka je tvořena jiskřištěm, které je umístěno vzduchu nebo v inertním plynu, nejčastěji argonu [4]. Norma určuje napět'ovou zkoušku s tvarem vlny 10/350 μ s. Tento svodič je složen ze dvou elektrod, které jsou od sebe oddálené. Pokud se na SPD 1 dostane přepětí, tak roste napětí mezi elektrodami. Napětí mezi elektrodami za nějakou dobu dosáhne meze elektrické pevnosti vzduchu a nastane klouzavý výboj mezi elektrodami, který trvá po dobu, kterou trvá přepětí. Tím se zkratuje fázový a ochranný vodič a proud je sveden do země, tím dojde k vyrovnání potenciálu. Bleskojistky jsou schopné svádět proudy jednotky až desítky kiloampér [4].

Svodiče SPD 2, které se instalují na rozhraní mezi LPZ 1 a LPZ 2 se podle normy testují napět'ovou zkouškou s tvarem vlny 8/20 μ s. Jelikož se svodiče SPD 2 instalují již za hlavním rozvaděčem, tedy v síti TN-S, bývá zapojení SPD 2 typu 3 + 1. Zapojení 3 + 1 označuje, že jsou použity tři varistory a jedno jiskřiště. Jiskřiště odděluje střední a ochranný vodič. Schéma zapojení je na Obr. 5-7.



Obr. 5-7 Schéma zapojení SPD

Mezi svodiči SPD 1 a SPD 2 musí být vedení dlouhé 5 až 10 m. Tuto vzdálenost určují výrobci přepět'ových ochran. Touto vzdáleností vytvoříme oddělovací impedanci. Pokud by vzdálenost mezi svodiči SPD 1 a SPD 2 byla menší, museli bychom do obvodu přidat tlumivku jako oddělovací impedanci. Mezi SPD 2 a SPD 3 určují výrobci vzdálenost alespoň 5 m. Na oddělovací impedanci se nám vytvoří potřebný úbytek napětí, abychom měli na SPD 1 napětí, které nebude menší než zápalné napětí jiskřiště. Napětí na SPD 1 je potom součtem úbytku napětí na oddělovací impedanci a napětí na dalším prvku SPD 2. Principiální schéma koordinace přepět'ových ochran dle [4] je na Obr. 5-8.



Obr. 5-8 Koordinace přepětových ochran [4]

Parametry svodičů přepětí pro sítě nn jsou podle [4] shodné s parametry svodičů přepětí používaných v sítích vn a vvn. Tyto parametry jsou jmenovité napětí, jmenovitý impulzní proud a ochranná úroveň. Jmenovité napětí je maximální napětí, které na svodič můžeme připojit. Jmenovitý impulzní proud je proudový impuls obvykle tvaru 8/20 μ s s amplitudou až 5 nebo 10 kA a ochranná úroveň je dána u varistorů zbytkovým napětím [4].

Jaké je vyžadované jištění přepětových ochran a jaké mají být průřezy vodičů pro jejich připojení do instalace, určuje výrobce těchto prvků.

5.5 Vnější vlivy

Elektrická zařízení musí být volena a zřizována v souladu s opatřeními k ochraně z hlediska bezpečnosti, s požadavky na řádnou funkci pro určené užití v instalaci a s požadavky na přiměřenou odolnost proti předpokládaným vnějším vlivům. Při určování vlivů prostředí vycházíme z normy ČSN 33 2000-5-51 ed.3. Vnější vlivy jsou značené alfanumerickými znaky.

Alfanumerické znaky nám popisují fyzikální parametry daného prostředí, způsob využívání prostoru, konstrukci budovy [3]. Prostorů značíme třemi znaky. První znak je písmeno (A, B nebo C), kde A je tzv. vnější činitel prostředí, B je využití prostředí, C popisuje konstrukci budovy. Druhý znak je opět písmeno, tentokrát A, B, C, ..., S. Tato písmena označují povahu vnějšího vlivu. Třetí a poslední znak je číslice (1 až 8) určující třídu vnějšího vlivu.

Jako příklad zde uvedu některá označení, např. teplota okolí se značí AA1 až AA8. Výskyt vody v prostředí má označení AD1 až AD8. Výskyt plísni AK1 až AK2. Bouřková činnost AQ1 až AQ3, vítr AS1 až AS3.

Pro popis využití prostoru značíme prvním písmenem B, jak bylo uvedeno výše. Např. popis podmínky úniku v nebezpečí se značí BD1 až BD4. Povahu zpracovávaných nebo skladovaných látek značíme BE1 až BE4.

Uvedená norma potom rozděluje prostředí do třech kategorií:

- 1) *Prostory normální* – pokud v tomto prostoru používáme elektrické zařízení, tak je toto používání považováno za bezpečné. Vnější vlivy neovlivňují bezpečnou činnost elektrického zařízení.
- 2) *Prostory nebezpečné* – v těchto prostorách vzniká při působení vnějších vlivů přechodné nebo stálé nebezpečí úrazu elektrickým proudem.
- 3) *Prostory zvlášť nebezpečné* – zvýšení nebezpečí úrazu elektrickým proudem v tomto prostředí.

V projektové dokumentaci musí být zahrnut protokol o určení vnějších vlivů a podle těchto výsledků potom dimenzujeme silnoproudý elektrický rozvod.

6 TECHNICKÁ ZPRÁVA

6.1 Ochrana před nebezpečným dotykem

Ochrana před nebezpečným dotykem je zajištěna podle normy ČSN 33 2000-4-41 ed2.

Základní ochrana slouží proti dotyku na živé části (ochrana izolací, krytem, zábranou).

Ochrana při poruše (neživé části) se provádí automatickým odpojením od zdroje, uzemněním, a také doplňkovou ochranou, jakou je ochranné pospojování a proudové chrániče.

6.2 Napájení

Datové centrum bude mít své vlastní transformátory pro napájení elektrickou energií. Tyto transformátory mají převod z hladiny napětí vn 22 kV na hladinu nn 0,4 kV. Pro případ výpadku napájení ze sítě budou v datovém centru osazeny diesel generátory DG, zajišťující potřebný provoz technologického zařízení, včetně nezbytných pomocných provozů (chlazení, náhradní osvětlení atd.).

Pro zajištění nepřerušovaného napájení v čase po výpadku napájení ze sítě, do doby převedení napájení na diesel generátor DG, jsou pro napájení technologií datového centra a další důležitá zařízení instalovány centrální UPS.

Z rozvaděče vn vede napájení pro primární vinutí transformátoru. Transformátor bude suchého provedení. Transformátor T1, který slouží pro napájení jedné napájecí větve, má velikost zdánlivého výkonu 630 kVA. Transformátor T2 napájí druhou napájecí větev a má také zdánlivý výkon 630 kVA. Oba tyto transformátory jsou stejné a mají poměrné napětí nakrátko $u_k = 6\%$. Sekundární vinutí transformátoru napájí hlavní rozvaděč a je jističeno jističem na přívodu v hlavním rozvaděči. Jmenovitý proud tohoto jističe je $I_n = 1000$ A, a na jističi se nastavuje vypínací proud I_r ve výši jmenovitého proudu sekundárního vinutí transformátoru.

Hlavní rozvaděče jsou dva, s označením RHG1 a RHG2. Do hlavního rozvaděče, jsou také zapojeny dva diesel generátory. První diesel generátor ve schématu napájení označen např. jako DG1.1, slouží k napájení při poruše napájecího transformátoru nebo při výpadku

napájecí síť. Druhý diesel generátor s označením DG1.2 (pracující v režimu $n + 1$), slouží jako záloha (redundance), pokud by došlo k poruše prvního diesel generátoru DG1.1.

Z hlavního rozvaděče vedou vývody pro napájení vlastní spotřeby (rozvaděč RVS), technologie klimatizace (rozvaděče RTK1 a RTK2), rozvaděče kompenzace jalového výkonu (rozvaděče RC1 a RC2), a napájení zdrojů UPS. Jeden vývod napájí další rozvaděč (RUPS1 a RUPS2) a také do těchto rozvaděčů jsou zapojeny výstupy z UPS zdrojů. Z těchto rozvaděčů RUPS x ($x=1,2$) jsou vyvedeny vývody pro napájení podružných rozvaděčů RUPS $x.n$ ($x=1,2$) na datovém sále, ze kterých jsou přímo tyto racky napájené.

Schéma napájení datového centra je nakresleno v příloze „[DC7] Přehledové schéma napájení DC“.

6.3 Záložní zdroj UPS a akumulátory

Pro napájení IT technologií podle energetické bilance, potřebujeme zálohovat výkon 300 kW po dobu 20 minut. Pro dimenzování UPS navýšíme výkon o 20 % jako rezervu, čili o 60 kW. Proto vybereme UPS zdroj s výkonem 360 kW, např. UPS od výrobce [9] typu DPS-400K. Jedná se o trojfázovou UPS s dvojitou konverzí. Technické údaje k této UPS z katalogu jsou na Obr. 6-1.

Model		DPS-300K	DPS-400K
Power Rating		300kVA/270kW	400kVA/360kW
Input	Nominal Voltage	380/220, 400/230, 415/240 Vac (3 phase, 4-wire + G)	
	Voltage Range	242 ~ 477/140 ~ 276 Vac "	
	Current Harmonic Distortion	≤ 3%	
	Power Factor	> 0.99	
	Frequency	50/60 Hz	
Output	Voltage	380/220, 400/230, 415/240 Vac (3 phase, 4-wire + G)	
	Voltage Harmonic Distortion	≤ 1.5% (linear load)	
	Voltage Regulation	± 1% (static)	
	Power Factor	0.9	
	Frequency	50/60 Hz	
	Frequency Regulation	± 0.05 Hz (battery mode)	
	Overload Capability	≤ 125%: 10 minutes; ≤ 150%: 1 minute	
Display		LED indicators; Mimic LCD (multi-language supported)	
Interface	Standard	RS232 x 1, Smart slot x 2, Input dry contact x 2, Output dry contact x 6	
	Optional	SNMP card (IPv4 or IPv6), ModBus card, Relay I/O card, Battery cabinet temperature sensor cable, Battery cabinet status sensor cable	
Efficiency	Online Mode	Up to 96%	
	ECO Mode	Up to 99%	
Battery	Nominal Voltage	± 240 Vdc	
	Charge Voltage	± 272V (adjustable from 250V to 302V)	
	Protection of Battery Deep Discharge	Yes	

Obr. 6-1 Data k UPS z katalogu [9]

Pro dimenzi akumulátorů potřebujeme znát výkon na výstupu baterie, který navýšíme o ztráty na střídači UPS. Počítáme s účinností střídače 96 % pro online UPS (podle technických údajů). Potom potřebný výkon na výstupu z baterie bude 313 kVA. Dále

z technických parametrů pro danou UPS vyčteme, že potřebné jmenovité napětí baterie s vyvedeným středem je $\pm 240 V_{DC}$. Vybereme olovené akumulátorové články, které mají jmenovité napětí 2 V/čl. Pro první část baterie od kladné polaroty k vyvedenému středu, je třeba použít 120 článků pro dosažení napětí $+240 V_{DC}$. Pro druhou část baterie (od vyvedeného středu k záporné polaritě) je třeba použít 120 článků pro dosažení napětí $-240 V_{DC}$. Celkem bude použito 240 olovených akumulátorových článků.

Nyní vybereme typ akumulátorového článku podle výkonu. Zjistíme výkon potřebný na článek:

$$P = \frac{P_1}{\text{počet článků}} = \frac{313\,000}{240} \cong 1\,302 \text{ W/cell.}$$

Z katalogu výrobce akumulátorů, např. [10] (Obr. 6-2), vyhledáme pro konečné vybíjecí napětí 1,75 V/čl při 20 °C, ve sloupci pro dobu zálohy 20 minut nejbližší vyšší hodnotu pro vypočtený výkon 1 302 W/cell. Vyhovuje tedy akumulátor typu 2 SLA 580.

Watt per cell to 1.75 VPC (at 20°C)

TYPE	Discharge Time (minutes)										
	1	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180
12 SLA 25	176	138	101	79.7	66.5	50.4	37.9	30.2	21.7	17.3	12.6
12 SLA 30	209	164	120	94.9	79.3	60.2	45.3	36.2	26.1	20.8	15.2
12 SLA 50	347	270	197	156	131	99.2	74.8	59.9	43.2	34.4	25.3
12 SLA 75	521	405	296	235	196	149	112	89.8	64.9	51.6	37.9
6 SLA 100	694	541	395	313	261	198	150	120	86.5	68.8	50.6
6 SLA 125	521	453	381	330	289	227	178	147	108	86.1	63.1
4 SLA 150	932	762	575	466	390	297	224	179	130	104	75.8
6 SLA 160	772	677	541	455	393	305	239	196	147	117	83.8
6 SLA 180	750	652	549	476	416	327	256	211	155	124	90.8
4 SLA 200	895	817	697	591	501	390	296	241	183	146	105
2 SLA 250	1220	1028	841	704	616	482	368	296	216	172	126
2 SLA 300	1315	1126	937	812	717	572	439	353	259	207	151
2 SLA 405	1355	1241	1106	994	897	718	543	444	331	268	202
2 SLA 500	2352	1945	1589	1363	1183	926	712	586	434	346	252
2 SLA 580	2467	2152	1795	1559	1353	1069	838	687	503	401	293
2 SLA 800	1974	1944	1892	1807	1645	1407	1115	928	709	579	430
2 SLA 1000	2468	2430	2366	2258	2056	1758	1394	1161	886	723	538

Obr. 6-2 Výkony akumulátorových článků [10]

Přívod do UPS zdroje bude proveden kabelem CYKY-J 5x185, jištění přívodu bude jističem o jmenovitém proudu 630 A. Přívod od baterie do zdroje UPS bude proveden kabely 1-YY 300. Bypass (obtok) bude proveden kabelem CYKY-J 5x185. Výstup z UPS do rozvaděčů RUPSx.n bude proveden kabely CYKY-J 5x185. Tyto hodnoty pro UPS zdroj určuje výrobce např. [9].

6.4 Diesel generátory

Podmínky pro spolehlivý provoz diesel generátorů DG a napájení zařízení nutných pro spolehlivou funkci DG budou zajišťovat rozvaděče vlastní spotřeby určených pro diesel generátory. Diesel generátory typu C32 od firmy Caterpillar, mají zdánlivý výkon 1 000 kVA a činný výkon 800 kW. Jištění přívodů od diesel generátorů v rozvaděčích RHG1 a RHG2, bude provedeno jističem o jmenovitém proudu 1 600 A. Podle výrobce mají tyto diesel generátory jmenovitý proud 1 573 A. Kabely od diesel generátorů do hlavních rozvaděčů RHG, budou typu 1-CHBU 2x(3x240+1x240sm+1x120zž).

Provoz DG musí umět zajistit zpětné fázování k síti. Neuvažuje se trvalý paralelní chod DG a transformátoru T, ale jen bezvýpadkový přechod mezi napájením

z DG na napájení provozovatele sítě z transformátoru T. Paralelní chod DG a T bude do 3s. Fázování diesel generátorů s elektrickou sítí se musí předem projednat s provozovatelem sítě.

Rozvaděč RVG musí splňovat „jednoduché řízení, bez nutnosti PLC řídicího systému“ a tím zajistit obslužnost DG. Rozvaděč RVG bude obecně zajišťovat pro DG následující funkce:

- dobíjení akumulátorů startu DG,
- přehřev strojní části DG,
- otevření klapky sání při startu DG,
- dochlazování stroje DG po ukončení chodu DG.

6.5 Naftové hospodářství

Pro zásobování diesel generátorů DG jsou v jednom skladu nafty dvě ukládací dvouplášťové nádrže. Každý DG je napojen na jednu nádrž - má svou vlastní zásobní nádrž ve skladu. Pro celé datové centrum jsou tedy dva sklady nafty. Nádrže budou vybaveny dle ČSN 65 0201 – provozovny a sklady hořlavých kapalin.

Zásobní nádrž ve skladu nafty bude obecně vybavena:

- mechanickým měřičem hladiny,
- čidlem maximální hladiny - MAX hladina,
- čidlem havarijní hladiny - HAV hladina,
- čidlem minimální hladiny - MIN hladina,

Stáčení nafty z autocisterny do zásobních nádrží bude pomocí čerpadla autocisterny. Každá zásobní nádrž bude zabezpečena proti přeplnění zásuvkou pro napojení autocisterny - blokáce od čidla MAX hladiny. Dosažení MAX hladiny v plněné nádrži bude signalizováno od čidla MAX hladiny světelnou a zvukovou signalizací do místa stáčení skříně a současně do místa skladu nafty. Signalizace znamená okamžité ukončení stáčení. Nádrže mají společné plnicí potrubí a obsluha musí, před zahájením stáčení, zajistit jak správné navolení cesty stáčení potrubím do příslušné zásobní nádrže otevřením příslušných uzavíracích armatur, tak napojení bezpečnostní zásuvky autocisterny do zásuvky příslušné zásobní nádrže.

Sklady nafty mají před objektem datového centra stáčení místo pro diesel generátory DG1.1, DG1.2, DG2.1 a DG2.2. U tohoto společného stáčení místa bude umístěna zemnicí přípojnice. Před začátkem stáčení bude autocisterna napojena na zemnicí přípojnici.

Zpětný výdej nafty do autocisterny - vyčerpání zásobních nádrží je řešeno výdejním čerpadlem ve skladu nafty do napojovacího hrdla ve stáčení skříně.

Vlastní spínání nebo vypnutí chodu výdejního čerpadla bude prováděno tlačítkem ZAP nebo tlačítkem VYP z místa stáčení nafty.

6.6 Fotovoltaický systém

Pro datové centrum se uvažuje s využitím energie z obnovitelného zdroje pro vlastní spotřebu s přínosem úspory energie dodávané z veřejné sítě. Do sítě by byly dodávány pouze přebytky vyrobené elektrické energie, tedy způsob připojení v tzv. režimu „Zeleného bonusu“.

Na střeše objektu budou na hliníkové nosné konstrukci pevně ukotveny fotovoltaické moduly v celkovém počtu 40 ks. Moduly budou směřovány na jih se sklonem 30°. V jedné řadě bude vedle sebe položeno 10 fotovoltaických modulů. Řady (nosné konstrukce) budou od sebe oddáleny 3 m, aby si navzájem nestínily. Předpokládá se, že budou použity solární panely, o výkonu 230 Wp. Solární panely budou sériově spojeny do jednotlivých stringů.

Pro převod stejnosměrného napětí z fotovoltaických modulů na síťové napětí 3x400V-50Hz bude řešeno pomocí jednoho střídače, s maximálním výkonem 9,2 kWp. Střídač bude osazen v rozvaděči RFVE1 na střeše datového centra. Tento rozvaděč musí mít vysoký stupeň krytí IP 65, aby byl chráněn proti okolním vlivům (déšť, prach,...). Na střídač, budou připojeny dva samostatné stringy. Na stejnosměrný vstup „A“ střídače bude napojen první string s 20 ks sériově spojenými fotovoltaickými moduly. Na stejnosměrný vstup „B“ střídače bude napojen druhý string s 20 ks sériově spojenými fotovoltaickými moduly.

Každý string bude mít v rozvaděči RFVE1 z důvodu ochrany před zkratem vsazenou pojistku a z důvodu ochrany před atmosférickými vlivy přepětíovou ochranu 2. třídy pro stejnosměrné systémy. V rozvaděči RFVE1 budou takto ošetřeny dva stringy.

AC výstupy ze střídače budou spojeny v rozvaděči RFVE1.1 umístěný v místnosti, kde jsou klimatizační jednotky. V tomto rozvaděči budou umístěny jistící prvky pro střídač a hlavní jistič pro fotovoltaiku. Dále zde bude umístěno orientační a servisní měření pro střídač. Systém bude chráněn před přepětím použitím AC přepětíové ochrany 2. třídy pro soustavu TN-S. Výstup z tohoto rozvaděče bude napojen kabelovým vedením do rozvaděče RHG1. Měření pomocí čtyřkvadrantního elektroměru bude provedeno dle požadavků PRE.

Zapojení fotovoltaického systému je v příloze „[DC3] Schéma zapojení FVE“.

6.7 Hromosvod

Pro návrh jímací soustavy je použita metoda valivé koule. Pokud chceme použít ocelové armování stavby jako náhodný svod, musí být elektrickým měřením ověřeno, že odpor elektrického propojení mezi nejhořejším dílem a úrovní země bude maximálně 0,2 Ω . Pokud tato hodnota elektrického odporu nebude splněna, nebo nemůže být provedeno měření, nemůže být ocelové armování stavby použito jako náhodný svod podle normy ČSN EN 62305-3 ed.2.

Objekt datového centra je na základě výpočtu a následného posouzení míry přijatelných rizik dle ČSN EN 62305-2 ed.2 zařazen do I. třídy ochrany před zásahem blesku (LPS).

Pro ochranu objektu před zásahem blesku, bude instalován hromosvod (LPS) navržený dle souboru norem ČSN EN 62 305, ve třídě LPL I na maximální hodnotu vrcholového proudu do 200 kA. Na základě výpočtu rizik, je objekt zařazen do kategorie LPS I. Pro návrh jímací soustavy je použita metoda valící se koule s poloměrem 20 m. Je navržena soustava

12 ks samostatně stojících oddálených jímacích tyčí napojených na soustavu 13 ks svodů instalovaných kolem pláště budovy. Soustava svodů bude napojena na zemnicí soustavu typ „B“ (obvodová, základová).

6.7.1 Zemnicí soustava

Důležitými kritérii uzemnění jsou jeho tvary a rozměry tak, aby došlo k rozdělení bleskového proudu do země (vysokofrekvenční chování) a byla zmenšena nebezpečná přepětí. Všeobecně je však doporučen nízký zemní odpor (nižší než 10 Ω měřený při nízkém kmitočtu). Zemnicí mříž datového centra má celkovou délku 566 m. Odpor zemnicí soustavy vyšel výpočtem 7,38 Ω . Podle normy ČSN EN 62305-3 je tato hodnota správná, jelikož je menší než 10 Ω .

Uzemňovací soustava je navržena v rámci projektu elektroinstalace datového centra v uspořádání typu „B“. Jedná se o pásek FeZn 30x4 uložený „nastojato“ přímo v základech objektu. Pásky budou vzájemně propojeny v mřížovou soustavu, tvořenou z pásků FeZn 30x4 uložených „nastojato“. Tyto pásky tvoří v betonových základech „oka“ o ploše 5x5 m. Vodivé spojení v křížení dvou pásků bude zajištěno svorkou (DEHN 308 230).

Pokud není beton v základech budovy izolován od půdy pomocí tepelně zpracované izolace, může se použít pro účely uzemnění, díky vodivosti betonu a také díky jeho velké kontaktní ploše s půdou. Pozinkované pásky jsou uloženy ve vztyčené poloze, aby nevznikaly pod páskem v betonu dutiny. Pokud je v betonu ocelové armování připojuje se toto armování se zemnicími pásky ve vzdálenosti maximálně 2 m.

Spoje zemnicí a přechody z uzemňovací soustavy na svody hromosvodu LPS se musí chránit proti korozi (asfaltová zálivka, antikorozi páska, lící pryskyřice). Vzdálenosti těchto ochranných opatření jsou pro přechod z půdy na povrch minimálně 30 cm pod povrchem a 20 cm nad povrchem. Pro přechod z betonu na povrch 10 cm v betonu a 20 cm nad povrchem.

Výkres uzemnění datového centra je v příloze „[DC10] Schéma uzemnění“.

6.7.2 Soustava svodů

Aby se snížila pravděpodobnost škod způsobených bleskem, který proteče LPS, jsou svody umístěny tak, aby mezi místem úderu se zemí bylo více paralelních drah proudu. Délka dráhy proudu byla co možná nejkratší.

Je tvořena pomocí 13 ks samostatných svodů dle třídy LPS I s maximální roztečí 10 m. Svody jsou vedeny na povrchu obvodového zdiva. Jsou uloženy na podpěrách (DEHN 253 015) kotvených s roztečí 1 m. Svody jsou tvořeny drátem AlMgSi D8. Každý svod je ukončen na zkušební svorce SZ (DEHN 450 101) ve výšce cca 1500 mm nad okolním terénem (výška může být pozměněna). Svorka SZ musí být přístupná trvale pro měření impedance. Nad zkušební svorkou SZ bude každý svod označen štítkem s číslem svodu.

Při montáži je potřeba svod umístit tak, aby byla dosažena maximální vzdálenost od hran oken a dveří. Tedy instalovat svod pokud možno nejpřímější cestou směrem k zemnicí soustavě a zároveň co nejdál od oken a dveří.

Ve spodní části obvodového pláště objektu musí být jednotlivé svody napojeny na zemnicí soustavu pomocí propojovacích pásků.

6.7.3 Jímací soustava

Pravděpodobnost, že bleskový proud vnikne do stavby, bude podstatně snížena, bude-li řádně navržena jímací soustava. Jímací soustava je vytvořena kombinací následujících částí: jímací tyče a náhodné jímače. Jednotlivé tyče jímací soustavy by měly být na střeše spolu vzájemně spojeny tak, aby bylo zajištěno rozdělení bleskového proudu. Součásti jímací soustavy instalované na střeše musí být umístěny na rozích, exponovaných místech a hranách (především na horních dílech fasád).

Jímací soustava je tvořena pomocí 12 ks jímačů sahajících do výšky +9,420 m, které jsou umístěny na střeše budovy. Jímací tyče jsou zhotoveny z materiálu AlMgSi. Jímače jsou umístěny na okraji a ve středu střechy a jsou vzájemně propojeny mřížovou soustavou, tvořenou pomocí drátu AlMgSi D8. Jímací soustava je z plochy střechy svedena směrem k okrajům střechy, kde je pomocí svorek (DEHN 540 100) přichycena k oplechování. Poté se napojuje na jednotlivé svody na obvodovém zdivu budovy. K jímací soustavě musí být napojeny veškeré kovové části na střeše, jako jsou úžlabí a oplechování.

Veškeré vodivé součásti přístupné doteku, kabely a vodiče vstupující do objektu a v objektu musí být vzdáleny od jímací soustavy minimálně o vypočtenou bezpečnou vzdálenost „S“. Porušení této zásady způsobuje zavlečení bleskového proudu do budovy.

Výkres řešení hromosvodu je v příloze „[DC9] Schéma hromosvodu – střecha DC“.

6.7.4 Vnitřní LPS

Elektrické a elektronické systémy jsou ohroženy elektromagnetickým impulzem vyvolaným bleskem (LEMP). Proto je nutné zajistit ochranná opatření před LEMP, aby se zabránilo výpadkům vnitřních systémů. Ochrana před LEMP je založena na koncepci zón ochrany před bleskem (LPZ): prostor, který obsahuje ochranný systém, musí být rozdělen do LPZ. Tyto zóny jsou teoreticky přiřazené prostory, kde úroveň LEMP je shodná s odolností systémů uvnitř zón. Následné zóny jsou charakterizovány podstatnými změnami odolnosti proti EMP. Rozhraní LPZ je definováno použitými ochrannými opatřeními.

Ochrana vnitřních systémů proti rázovým vlnám vyžaduje systematické řešení složené z koordinované SPD jak pro silnoproudá tak i slaboproudá vedení. Přepět'ové ochrany SPD musí být umístěny na vstupu do každé LPZ. V hlavním rozvaděči RHG je umístěna bleskojistka pro omezení bleskového proudu. V dalších zónách se používá SPD typu 2 (varistorová) pro omezení přepět'ových vln a pro ochranu citlivých elektronických zařízení se používá SPD typu 3.

7 VÝPOČTY V SILNOPROUDÉM ROZVODU

Zde budou ukázány příklady výpočtů použité v projektu napájení datového centra.

7.1.1 Zkratové výkony a proudy

Z energetické bilance vyšla velikost transformátoru 0,63 MVA. Tuto hodnotu použijí také jako vztažný výkon, takže $S_v = 0,63$ MVA.

VN přívod bude např. proveden z rozvodny Malešice v Praze. Na webových stránkách PRE distribuce si vyhledáme, že zkratový výkon této sítě VN, je 120 MVA.

Přepočtená reaktance soustavy na přípojnicích 22 kV je:

$$x_s = \frac{S_v}{S_k} \cdot 100 = \frac{0,63}{120} \cdot 100 = 0,525 \%$$

Přepočtená reaktance transformátoru je:

$$x_T = u_k = 6 \%$$

Celková reaktance až na přípojnici např. RHG1 je:

$$x_{CRHG1} = 0,525 + 6 = 6,525 \%$$

Rázový zkratový výkon na přípojnicích RHG1 bude:

$$S_k'' = \frac{S_v}{x_{CRHG1}} \cdot 100 = \frac{0,63}{6,525} \cdot 100 = 9,66 \text{ MVA}$$

Rázový trojfázový zkratový proud bude:

$$I_k'' = \frac{S_k''}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{9,66}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 13,9 \text{ kA}$$

7.1.2 Výpočtový proud

Dále si vypočítáme *výpočtový proud* I_B pro vedení např. k rozvaděči vlastní spotřeby RVS. Výpočtový proud se určí např. podle vztahu uvedeného v [5]:

$$I_B = a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot P \text{ (A)},$$

kde a je koeficient vycházející z účinnosti a účinníku $\cos \varphi$. Jelikož rozvaděč RVS bude sloužit převážně pro napájení svítidel v datovém centru, můžeme uvažovat např. $\cos \varphi = 0,92$ a účinnost $\eta = 0,88$, potom koeficient a bude podle [5]:

$$a = \frac{1}{\eta \cdot \cos \varphi} = \frac{1}{0,88 \cdot 0,92} = 1,24$$

Koeficient b je tzn. *součinitel využití*, pro který podle [5] platí, že pro spotřebiče a osvětlení je $b = 1$.

Koeficient c je tzn. *součinitel soudobosti*, kde opět podle [5] platí, že pro elektrické osvětlení je $c = 1$.

Koeficient d , je tzn. *součinitel rozšíření instalace*, který může být minimálně $d = 1,2$.

Koeficient e je součinitel přepočtu výkonu na proud, který pro trojfázové obvody 400 V je roven hodnotě 1,44.

P je příkon napájeného zařízení. Ve výpočtech energetické bilance vyšla velikost příkonu pro vlastní spotřebu 35 kW. Takže výpočtový proud I_B potom bude:

$$I_B = a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot P = 1,24 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1,44 \cdot 35 = 75 \text{ A}$$

Dalším úkolem, je zvolit prvek, který bude jistit obvod před přetížením. Musí se dodržet tři zásadní podmínky:

- 1) $I_B \leq I_n$,
- 2) $I_n \leq I_z$,
- 3) $I_n \leq K \cdot I_z$,

kde I_B je maximální výpočtový proud, I_n je jmenovitý proud jisticího prvku, I_z je dovolené proudové zatížení, které se vypočte a K je součinitel přiřazení jističe nebo pojistky. Pro jističe s charakteristikami B, C, D se používá součinitel přiřazení rovný 1.

Pro výpočet dovoleného proudového zatížení I_z , se pro seskupení více obvodů využívá přepočítacích součinitelů k_1 (součinitel pro teploty okolního vzduchu odlišné od 30°C) a k_2 je součinitel seskupení vodičů. Ve výpočtu se uplatňuje také proud I_n , což je jmenovitý proud jističů nebo pojistek, který se zvolí nejbližší vyšší k maximálnímu výpočtovému proudu I_B a součinitel přiřazení jisticího prvku K . Takže proud I_z se vypočte podle [5]:

$$I_z = \frac{I_n}{K \cdot k_1 \cdot k_2}$$

Průřez vodičů potom můžeme zvolit z příslušné tabulky např. v [5], podle hodnoty proudu I_z . Jmenovité proudy jističů nebo pojistek a k nim určené průřezy vodičů, jsou v Tab. 11. Tab. 11 platí pro uložení E, F (pro tři měděné vodiče s PVC izolací) nebo uložení C (dva měděné vodiče s PVC izolací).

Tab. 11 Průřezy vodičů a jištění [4]

S [mm ²]	I _z [A]	I _n pojistky [A]	I _n jističe [A]
1	14,5	10	10
1,5	18,5	10	16
2,5	25	16	20
4	34	25	32
6	43	32	40
10	60	40	50
16	80	63	63
25	101	80	100
35	126	100	125

Uložení E vícežilových kabelů znamená, že jsou např. uloženy na kabelových perforovaných lávkách s horizontálním nebo vertikálním uložením, na distančních příchytkách na zdi nebo stropu nebo na kabelových žebřících. Pro uložení F platí to samé jako pro uložení E, ale pro jednožilové kabely. Uložení C platí pro kabely uložené na neperforovaných lávkách.

Jak bylo uvedeno, používají se pro výpočet dovoleného proudového zatížení I_z přepočítací součinitele. V Tab. 12 je příklad hodnot přepočítacích součinitelů k_1 pro okolní

teploty vzduchu odlišné od 30°C. V Tab. 13, je příklad hodnot přepočítacích součinitelů k_2 pro seskupení vodičů.

Tab. 12 Přepočítávací součinitelé k_1 [4]

Teplota prostředí [°C]	k_1 pro kabely s PVC izolací
10	1,22
15	1,17
20	1,12
25	1,06
35	0,94

Tab. 13 Přepočítávací součinitelé k_2 [4]

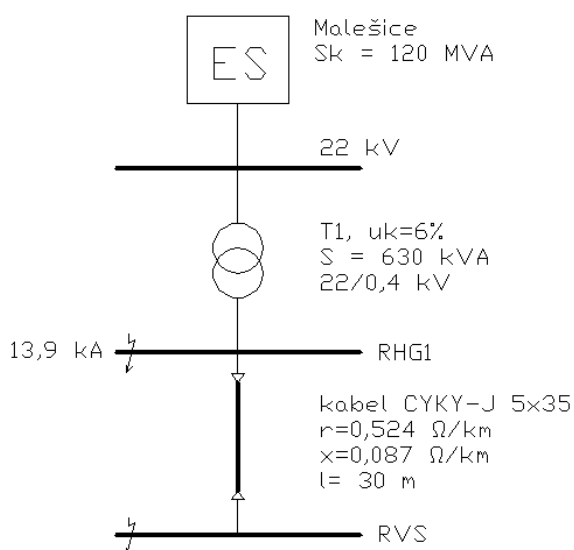
Uložení vodičů	Počet kabelů									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Více než 9
Jednoduchá vrstva na perforovaných lávkách	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72
Jednoduchá vrstva na konzolách, roštích, hácích, žebřících	1,00	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78	0,78

Předpokládejme, že kabel pro napájení rozvaděče, bude uložen v prostředí s teplotou okolí 25 °C, čemuž odpovídá součinitel $k_1 = 1,06$ a bude uložen v perforovaném kabelovém žlabu např. s dalšími dvěma kabely, čemuž odpovídá součinitel $k_2 = 0,82$.

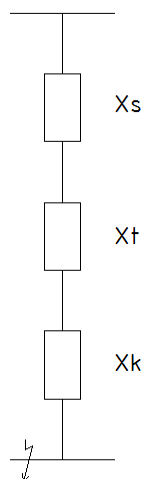
$$I_z = \frac{I_n}{K \cdot k} = \frac{100}{1 \cdot 1,06 \cdot 0,82} = 115,04 \text{ A}$$

Potom podle Tab. 11, bude průřez vodičů $S = 35 \text{ mm}^2$.

Nyní pokud známe průřez vodičů pro napájení rozvaděče vlastní spotřeby RVS, můžeme vypočítat počáteční rázový trojfázový zkratový proud, který se při poruše může v rozvaděči vyskytnout. Schéma pro tento výpočet, je uvedeno na Obr. 7-1. Dále na Obr. 7-2 je náhradní schéma tohoto obvodu s jednotlivými reaktancemi.



Obr. 7-1 Schéma pro výpočet zkratového proudu



Obr. 7-2 Náhradní schéma s reaktancemi

Z předchozího výpočtu, jsme si vypočítali dimenzi kabelu CYKY-J 5x35 o délce $l = 30$ m. Z katalogu výrobce kabelů např. [4], zjistíme, že činný odpor kabelu je $r_k = 0,524 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$. Výrobci kabelů nám v katalogu určují indukčnost kabelu L ($\text{mH} \cdot \text{km}^{-1}$). Pro CYKY-J 5x35 je indukčnost dle [4], $L = 0,278 \cdot 10^{-3} \text{ H} \cdot \text{km}^{-1}$. Z této indukčnosti L si můžeme spočítat reaktanci kabelu x_1 , pomocí základního vztahu:

$$x_1 = \omega \cdot L = 2\pi f \cdot L = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,278 \cdot 10^{-3} = 0,087 \Omega \cdot \text{km}^{-1}$$

Pomocí softwaru Ecodial, který přímo u kabelů vypisuje hodnoty jeho reaktance, si můžeme ověřit, že tato hodnota je přesná.

Nyní nám zbývá vypočítat poměrnou rezistanci kabelu (%), když známe jeho činný odpor:

$$r_k = r_1 \cdot l \cdot \frac{S_v}{U^2} \cdot 100 = 0,524 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,63}{0,4^2} \cdot 100 = 6,19 \%$$

Poměrná reaktance kabelu:

$$x_k = x_1 \cdot l \cdot \frac{S_v}{U^2} \cdot 100 = 0,087 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,63}{0,4^2} \cdot 100 = 1,027 \%$$

Celková reaktance x_c bude součet všech reaktancí, až k tomuto rozvaděči, což vyplývá z náhradního schématu na Obr. 7 – 2.

$$x_c = x_s + x_T + x_k = 0,525 + 6 + 1,027 = 7,552 \%$$

Dále potřebujeme znát výslednou impedanci z_c :

$$z_c = \sqrt{x_c^2 + r_k^2} = \sqrt{7,552^2 + 6,19^2} = 9,76 \%$$

Rázový zkratový výkon bude:

$$S_k'' = \frac{S_v}{z_c} \cdot 100 = \frac{0,63}{9,76} \cdot 100 = 6,45 \text{ MVA}$$

Rázový trojfázový zkratový proud na přípojnici rozvaděče vlastní spotřeby RVS:

$$I_k'' = \frac{S_k''}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{6,45}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 9,3 \text{ kA}$$

Ukázka schématu se zkratovými poměry je v příloze: „DC3 Zkratové poměry“.

Pro výpočet úbytku napětí můžeme použít obecný vzorec z [4]:

$$\Delta U = b(\rho \frac{l}{s} \cos \varphi + \lambda l \sin \varphi),$$

kde:

součinitel b je pro jednofázová vedení roven hodnotě 2 a pro trojfázové obvody je rovno 1,

λ je podélná reaktance vodičů na jednotku délky (počítáme s hodnotou $0,08 \cdot 10^{-3} \text{ m}\Omega/\text{m}$) podle [4].

7.1.3 Ochrana před úrazem elektrickým proudem při poruše

Pokud se stane v obvodu porucha mezi živou a neživou částí, potřebujeme tento poruchový proud vypnout v co nejkratším čase ochranným prvkem, aby nebyla ohrožena bezpečnost osob. Tento princip ochrany, se nazývá automatické odpojení od zdroje a je definováno v normě ČSN 33 2000-4-41 ed.2.

V Tab. 14 jsou uvedeny maximální doby odpojení pro elektrickou síť TN.

Tab. 14 Maximální doby odpojení [4]

Jmenovité fázové napětí U_0 [V]	Maximální doba odpojení od zdroje t_0 [s]	
	Obvody do 32 A včetně	Obvody nad 32 A
$50 < U_0 \leq 120$	0,8	5
$120 < U_0 \leq 230$	0,4	5
$U_0 > 400$	0,1	5

Pokud používáme jako ochranný přístroj jistič, zjišťujeme, zdali poruchový proud chráněného obvodu je větší než nejmenší proud I_m , který zajišťuje okamžitou funkci jističe. Doba odpojení jističe je obecně nižší než doby uvedené v Tab. 14. Pokud proud I_m bude větší než hodnota vypočteného poruchového proudu, můžeme např. snížit hodnotu proudu vybavení zkratové spouště I_m nebo navíc použít proudové chrániče.

Poruchový proud je v podstatě jednofázový zkratový proud, může se vypočítat podle vzorce, který je uveden v [4]:

$$I_p = c \frac{U_0}{R_f + R_{PE}},$$

kde:

U_0 je fázové napětí,

R_f je rezistance fázového vodiče,

R_{PE} je rezistance ochranného vodiče,

c je součinitel pro impedanci části poruchového obvodu na začátku sítě, obecně se může uvažovat s hodnotou 0,8 podle [4].

Součet ve jmenovateli je tzn. *impedance poruchové smyčky*.

Zde bude uveden příklad pro výpočet poruchového proudu, např. v obvodu pro napájení rozvaděče vlastní spotřeby RVS:

Nejprve vypočteme rezistanci fázových vodičů, pro ochranný vodič bude stejná, jelikož ochranný vodič je součástí napájecího kabelu a má stejný průřez i délku jako fázový vodič, takže:

$$R_f = \rho \frac{l}{S} = 0,027 \frac{30}{35} = 0,023 \Omega$$

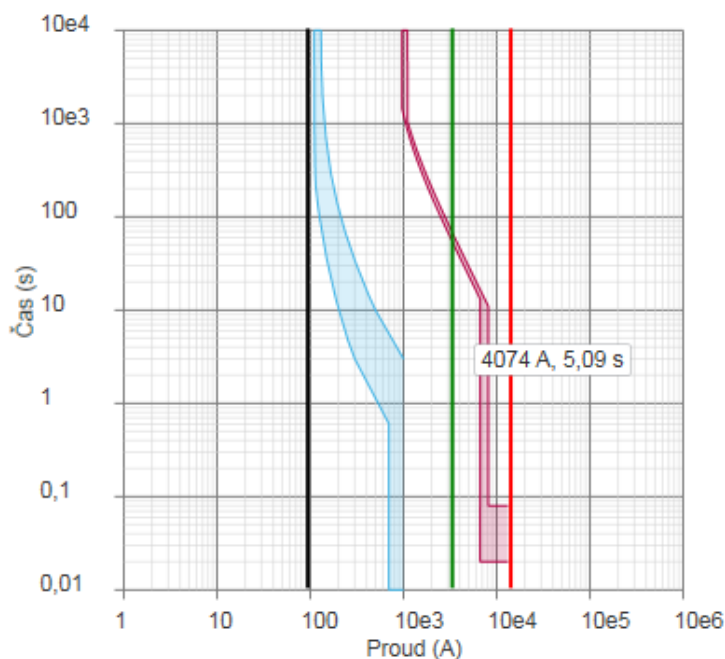
$$R_{PE} = 0,023 \Omega$$

Poruchový proud tedy bude:

$$I_p = c \frac{U_0}{R_f + R_{PE}} = 0,8 \frac{230}{0,023 + 0,023} = 4 \text{ kA}$$

Na Obr. 7-3 vidíme charakteristiku jističe (modrý průběh), který nám chrání vedení k rozvaděči vlastní spotřeby RVS. Tato charakteristika je převzatá ze softwaru Ecodial od [13] pro jistič typu C120H s charakteristikou C. Výpočtový proud pro tento obvod vyšel 4 kA, jak jsme si spočítali.

Na Obr. 7-3 je vidět napsaná hodnota 4074 A, to odpovídá zelené přímce. Takovou hodnotu proudu vypne za čas $t_0 = 5$ s, jak je na obrázku. Z charakteristiky ale vidíme, že jistič začne reagovat mnohem dříve, a sice za čas t_1 , už při proudu I_m , který pro tento typ jističe je 800 A. Takže poruchový proud se nachází nad charakteristikou jističe a tudíž máme vybrán správný jistič z hlediska ochrany automatickým odpojením od zdroje.



Obr. 7-3 Charakteristika jističe [13]

7.1.4 Uzemnění

Počítejme s rezistivitou půdy $\rho = 500 \text{ } \Omega\text{m}$, což může být např. pro zatravněnou kamenitou půdu. Plocha stavby datového centra spolu s ekvipotenciálním prahem ve vzdálenosti 1 m od datového centra je $S = 1161,4 \text{ m}^2$.

Budeme vytvářet mřížovou síť uzemnění. Pro výpočet použijeme tedy vztah pro určení zemního odporu R (přibližný odhad). Měli bychom dostat odpor uzemňovací soustavy menší než $10 \text{ } \Omega$ podle normy ČSN EN 62305 – 3. Celková délka uzemňovacích pásků uložených v betonu stavby je 566 m i s ekvipotenciálním prahem.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1161,4}{\pi}} = 38,45 \text{ m}$$

$$R = \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{l} = \frac{500}{2 \cdot 38,45} + \frac{500}{566} = 7,38 \text{ } \Omega$$

8 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl teoretický popis návrhu napájení datového centra. Aby mohlo datové centrum spolehlivě pracovat, musí být správně vyřešeno jeho napájení elektrickou energií a také musí být správně navrženy rozvody chladu. Model datového centra pro tuto práci jsem zařadil do kategorie TIER IV. Datové centrum v této kategorii je finančně nejnáročnější, ovšem z technického hlediska, je tento koncept napájení nejspolehlivější.

V závěru práce jsou uvedeny výpočty. Snažil jsem se, ověřovat výsledky podle teoretických znalostí, které dávají různé SW určené pro projektanty. Dále je třeba podotknout, že jsem se v této práci nezabýval dispozičním řešením elektroinstalace, osvětlením datového centra nebo zásuvkovými obvody.

Práce je zaměřena na zajištění napájení. Pomocí UPS zdrojů, které podle tohoto konkrétního návrhu, jsou schopné zálohovat IT technologie po dobu 20 minut. Pro delší zálohu napájení racků na datovém sále a klimatizací slouží diesel generátor. Jak dlouho bude diesel generátor schopen zásobovat datové centrum elektrickou energií, záleží na naftovém hospodářství. U UPS zdrojů a diesel generátorů je zajištěna redundance, podle kategorie TIER IV.

Další velkou kapitolou v této práci, je ochrana před atmosférickými vlivy datového centra. Snažil jsem se o podrobný popis, který vychází z platných norem ČSN. Ukazuje se, že v praxi je stále nejednota u odborníků, ohledně této problematiky, protože byly vydány nové normy na hromosvody a uzemnění. Datové centrum použité v této práci, je zařazeno do třídy LPS 1 a podle této třídy je také provedena ochrana před bleskem. Jelikož datové centrum obsahuje mnoho citlivé elektroniky (servery, routery, PC, switche, a další IT technologie), musí být řádně provedeno vnitřní uzemnění a pospojování vodivých částí, k zamezení přepětí (atmosférické, spínací) a elektromagnetických vlivů.

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

a) Knihy a brožury

- [1] BENDA V., STANĚK K., WOLF P.: „*Fotovoltaické systémy*“, učební texty VUT Brno, Brno 2011.
- [2] CETL T.: „*Aplikace elektrochemických zdrojů*“, skripta ČVUT-FEL, Praha 2004, ISBN 8001028593.
- [3] FENCL F.: „*Elektrická rozvodná zařízení*“, skripta ČVUT-FEL, Praha 2003, ISBN 9788001027714.
- [4] HASMAN T.: „*Přepětí v elektroenergetických soustavách*“, skripta ČVUT-FEL, Praha 1997, ISBN 9788001016992.
- [5] KRÍŽ M.: „*Dimenzování a jištění elektrických zařízení – tabulky a příklady*“, IN-EL, Praha 2011.
- [6] VOŽENÍLEK P., NOVOTNÝ V., MINDL P.: „*Elektromechanické měniče*“, skripta ČVUT-FEL, Praha 2011, ISBN 9788001031377.

b) Články v časopisech a ostatní

- [7] FIALA K.: „*Klasifikace TIER*“, textový dokument fy. ATICO, s r.o., Praha 2014.
- [8] ŽÁČEK J.: „*Zdroje nepřerušovaného napájení UPS*“, časopis Elektro 2001, č. 10.

c) Firemní materiály

- [9] Delta – UPS
(zdroj: <http://www.deltapowersolutions.com/>).
- [10] FIAMM
(zdroj: <http://www.fiamm.com/en/weurope/starter-mobility/prodotti.aspx>).
- [11] NKT cables
(zdroj: <http://www.nktcables.com/cz/>).
- [12] Phoenix – Zeppelin
(zdroj: <http://zeppelin.cz/online-katalog/energeticke-systemy>).
- [13] Schneider Electric
(zdroj: <http://www.schneider-electric.com/site/home/index.cfm/cz/>).

d) Internetové odkazy

- [14] SPŠ HAVÍŘOV: „*UPS záložní napájecí zdroj*“
(zdroj: http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/epo/ups.pdf).
- [15] Učební materiály ze serveru PowerWiki k předmětu X15PEG – Projektování
(zdroj: <https://www.powerwiki.cz/wiki/X15PEG>).

[16] Učební materiál ze serveru PowerWiki k předmětu A1M15PRE
(zdroj: https://www.powerwiki.cz/attach/PRE/PRE_Dolezel_2.pdf).

10 SEZNAM POUŽITÝCH NOREM ČSN

- ČSN EN 50600-1 – *Zařízení a infrastruktury datových center – Část 1: Obecné pojmy,*
ČSN EN 50600-1 – *Zařízení a infrastruktury datových center – Část 2-1: Výstavba budov,*
ČSN EN 62305-1- *Ochrana před bleskem – Část 1: Obecné principy,*
ČSN EN 62305-2 - *Ochrana před bleskem – Část 2: Řízení rizika,*
ČSN EN 62305-3 - *Ochrana před bleskem – Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života,*
ČSN EN 62305-4 – *Ochrana před bleskem – Část 4: Elektrické a elektronické systémy,*
ČSN 33 2000-5-54 ed.3 – *Elektrické instalace nízkého napětí – Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení – Uzemnění a ochranné přístroje,*
ČSN EN 50310 ed. 3 – *Použití společné soustavy pospojování a zemnění v budovách vybavených zařízeními informační technologie,*
ČSN 33 2000-4-41 ed2 - *Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti – Ochrana před úrazem elektrickým proudem.*
ČSN 33 2000-4-444- *Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4-444: Bezpečnost - Ochrana před napěťovým a elektromagnetickým rušením*

11 PŘÍLOHY

- [DC1] Energetická bilance
- [DC2] Zkratové poměry
- [DC3] Schéma zapojení FVE
- [DC4] Rozvaděč RHG1
(ukázka zapojení rozvaděče RHG1)
- [DC5] Rozvaděč RC1
(ukázka zapojení rozvaděče RC1)
- [DC6] Rozvaděč RUPS1.1
(ukázka zapojení rozvaděče RUPS1.1)
- [DC7] Přehledové schéma napájení DC
- [DC8] Půdorys datového centra
- [DC9] Schéma hromosvodu – střecha DC
- [DC10] Schéma uzemnění
- [DC11] Pospojování a uzemnění v DC
- [DC12] Jižní pohled DC
- [DC13] Severní pohled DC