

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektrotechniky a energetiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Technické porovnání zapouzdřené a částečně
zapouzdřené rozvodny**

autor:

Jiří Malý

Plzeň

2014

Anotace

Tato diplomová práce si klade za cíl popsat použité technologie v rozvodnách 110 kV, popsat jejich přednosti a slabá místa. V další části se práce zaměřuje na výpočet spolehlivosti technologie. V poslední části práce je pak posuzovaná nejvhodnější technologie pro stavbu rozvodny na novém pozemku a na stávajícím pozemku.

Klíčová slova

Zapouzdřená rozvodna, částečně zapouzdřená rozvodna, vzduchem izolovaná rozvodna, spolehlivost

Abstract

This master's thesis deals with the 110 kV substation technology. Strengths and weaknesses are described.

The second part is focused on reliability of the 110 kV substation technologies.

Finally, there is evaluated the most suitable substation technology in case of the building on the new site and on the present site.

Key words

encapsulated substation, partly encapsulated substation, air-insulated substation, reliability

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

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

V plzni dne 12.5.2014

jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce Doc.Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D., za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Ing. Kamilu Kosnarovi za jeho výjimečnou snahu a cenné rady i přes jeho pracovní vytížení. Neméně bych rád poděkoval Doc.Ing. Karlu Noháčovi, Ph.D., konzultantovi Ing. Františku Rajskému, Ph.D. a Doc. Ing. Jiřině Mertlové, CSc rovněž za cenné rady a připomínky. Na závěr bych rád poděkoval zástupcům výrobců za poskytnuté spolehlivostní parametry.

Zadání

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2013/2014

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

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří MALÝ**
Osobní číslo: **E12N0133P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Jaderná elektroenergetika**
Název tématu: **Technické porovnání zapouzdřené a částečně zapouzdřené rozvodny**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Popište technologie používané pro rozvodny 110 kV, uveďte jejich přednosti a slabé stránky.
2. Vypočtěte spolehlivost dodávky elektrické energie pro jednotlivé technologie.
3. Posuďte výběr technologie nejvhodnější pro stavbu rozvodny na novém pozemku a na stávajícím pozemku.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 14. října 2013
Termín odevzdání diplomové práce: 12. května 2014


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




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

V Plzni dne 14. října 2013

Obsah

| | |
|--|----|
| 1. Úvod | 13 |
| 1.1. Typy rozveden 110 kV z hlediska systému přípojnic | 14 |
| 1.1.1. Uzlová elektrická stanice s trojitým systémem přípojnic | 14 |
| 1.1.2. Distribuční stanice s dvojitým systémem přípojnic | 15 |
| 1.1.3. Distribuční stanice s jednoduchým systémem přípojnic | 16 |
| 1.2. Vybavení v elektrických stanicích | 17 |
| 1.3. Provedení rozveden | 21 |
| 2. Výrobci a technologie | 24 |
| 2.1 Technologie firmy Siemens | 24 |
| 2.1.1 Odpojovače a uzemňovače | 24 |
| 2.1.1.1 Horizontální odpojovač | 24 |
| 2.1.1.2 Pantografový odpojovač | 24 |
| 2.1.1.3 Vertikální odpojovač | 25 |
| 2.1.1.4 Odpojovač s dvojitým přerušením proudové dráhy | 25 |
| 2.1.2 Vypínače 3AP | 25 |
| 2.1.2.1 Live – Tank | 25 |
| 2.1.2.2 Dead – Tank | 26 |
| 2.1.2.3 DTC (Deat-Tank Compact) | 26 |
| 2.1.3 Kompaktní rozvodna | 27 |
| 2.1.3.1 SIMOBREAKER | 27 |
| 2.1.3.2 SIMOVER | 28 |
| 2.1.4 Zapouzdřená rozvodna 8DN8 | 29 |
| 2.2 Technologie firmy ABB | 29 |
| 2.2.1 Vypínače | 29 |
| 2.2.2 Odpojovače | 31 |
| 2.2.3 Kompaktní rozvodna COMPASS | 34 |
| 2.2.4 Zapouzdřená rozvodna HIS PASS MO | 35 |
| 2.2.5 Zapouzdřená rozvodna venkovní GIS- ELK-04 | 36 |
| 2.2.6 Zapouzdřená rozvodna vnitřní GIS – ELK-04 | 37 |
| 2.3 Technologie firmy SERW Sedlec | 38 |
| 2.4 Technologie firmy ALSTOM | 40 |

| | | |
|-----|--|----|
| 3. | Porovnání spolehlivostních parametrů různých technologií rozvoden 110 kV | 47 |
| 3.1 | Výpočet spolehlivosti přípojnice | 47 |
| 3.2 | Výpočet spolehlivosti spínacího prvku | 48 |
| 3.3 | Výpočet spolehlivosti odbočky AIS | 51 |
| 3.4 | Spolehlivost odbočky HIS | 53 |
| 3.5 | Spolehlivost odbočky GIS | 54 |
| 3.6 | Spolehlivost rozvodny H-schématu | 55 |
| 4. | Posouzení technologie rozvodny | 61 |
| 4.1 | Posouzení rozvodny z hlediska prostorové náročnosti | 61 |
| 4.2 | Posouzení rozvodny z hlediska životního prostředí | 65 |
| 4.3 | Porovnání rozvodny z hlediska časové náročnosti realizace stavby | 65 |
| 4.4 | Porovnání rozvodny z hlediska spolehlivosti | 65 |
| 4.5 | Porovnání rozvodny z hlediska ceny | 66 |
| 5. | Závěr | 69 |
| 6. | Použitá literatura | 70 |
| 7. | Použité programy | 70 |

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obr. 1 Dvojitý systém přípojníc s jedním zdrojem | 15 |
| Obr. 2 Dvojitý systém přípojníc se dvěma zdroji a pomocnou přípojnící | 16 |
| Obr. 3 H-schéma | 17 |
| Obr. 4 Plynem izolovaná rozvodna HIS | 22 |
| Obr. 5 Plynem izolovaná rozvodna GIS | 23 |
| Obr. 6 Vypínač 3AP1 Live-tank | 26 |
| Obr. 7 Kompaktní rozvodny – SIMOBREAKER | 28 |
| Obr. 8 Vypínač 145PM | 31 |
| Obr. 9 Odpojovač SDF | 32 |
| Obr. 10 Odpojovač GW54 | 33 |
| Obr. 11 Kompaktní rozvodna COMPASS | 35 |
| Obr. 12 Zapouzdřená rozvodna HIS PASS MO | 36 |
| Obr. 13 Zapouzdřená rozvodna venkovní GIS ELK-04 H schéma..... | 37 |
| Obr. 14 Zapouzdřená rozvodna vnitřní GIS ELK- 4..... | 38 |
| Obr. 15 Odpojovač VCB V- Typ | 40 |
| Obr. 16 S3C Oboustranný odpojovač | 41 |
| Obr. 17 SPO Nožový odpojovač | 42 |
| Obr. 18 SPV Pantografový odpojovač | 43 |
| Obr. 19 Dead-Tank..... | 44 |
| Obr. 20 Zapouzdřená rozvodna GIS HYpact | 45 |
| Obr. 21 Zapouzdřená rozvodna GIS F35 | 46 |
| Obr. 22 Spolehlivostní schéma SDF | 49 |
| Obr. 23 a) zjednodušené schéma odbočky, b) spolehlivostní schéma odbočky | 52 |
| Obr. 24 Spolehlivostní schéma odbočky HIS | 53 |
| Obr. 25 Střední doba do poruchy GIS | 55 |
| Obr. 26 Náзорné označení prvků pro spolehlivostní výpočet | 56 |
| Obr. 27 Zjednodušené spolehlivostní schéma..... | 56 |
| Obr. 28 Schéma minimálních řezů | 57 |
| Obr. 29 Spolehlivostní schéma s vyznačenými přípojnícemi | 59 |
| Obr. 30 Metoda nejmenších řezů s přípojnícemi | 59 |
| Obr. 31 Porovnání prostorové náročnosti rozvodny | 61 |
| Obr. 32 Rozměry pole GIS s dvojitým systémem přípojníc | 62 |
| Obr. 33 Rozměry pole AIS | 63 |
| Obr. 34 Rozměry rozvodny AIS | 63 |
| Obr. 35 Rozměry technologie HIS | 64 |
| Obr. 36 Řez polem HIS | 64 |

Seznam Tabulek

| | |
|--|----|
| Tab. 1 Parametry vypínače Live-Tank, | 24 |
| Tab. 2 Parametry vypínače Dead-Tank, | 25 |
| Tab. 3 Parametry vypínače DTC, | 26 |
| Tab. 4 Parametry kompaktní rozvodny SIMOBREAKER, | 26 |
| Tab. 5 Parametry kompaktní rozvodny SIMOVER, | 28 |
| Tab. 6 Parametry zapouzdřené rozvodny 8DN8, | 28 |
| Tab. 7 Parametry vypínače 145 PMx, | 29 |
| Tab. 8 Parametry vypínače LTB x, | 29 |
| Tab. 9 Parametry vypínače s uzemněnou nádobou 145 PMx, | 29 |
| Tab. 10 Parametry vypínače s neuzemněnou nádobou LTB x, | 30 |
| Tab. 11 Parametry odpojovače SDF, | 31 |
| Tab. 12 Parametry odpojovače GW54, | 32 |
| Tab. 13 Parametry kompaktní rozvodny COMPASS, | 33 |
| Tab. 14 Parametry zapouzdřené rozvodny HIS PASS MO, | 34 |
| Tab. 15 Parametry zapouzdřené rozvodny venkovní GIS ELK-04, | 35 |
| Tab. 16 Parametry zapouzdřené rozvodny vnitřní GIS ELK-04, | 36 |
| Tab. 17 Parametry odpojovače 3HT(U,W), | 38 |
| Tab. 18 Parametry odpojovače 1SPT(U), | 38 |
| Tab. 19 Parametry odpojovače 1SST(U,W), | 38 |
| Tab. 20 Parametry odpojovače SPO, | 40 |
| Tab. 21 Parametry odpojovače 3HT(U,W), | 41 |
| Tab. 22 Parametry vypínače Live-Tank, | 42 |
| Tab. 23 Parametry vypínače Dead-Tank, | 43 |
| Tab. 24 Parametry zapouzdřené rozvodny HIS HYpact, | 43 |
| Tab. 25 Parametry zapouzdřené rozvodny GIS F35, | 44 |
| Tab. 26 Spolehlivostní parametry komponent odpojovače SDF, | 47 |
| Tab. 27 Spolehlivostní parametry vypínače LTB, | 49 |
| Tab. 28 Spolehlivostní parametry odbočky HIS PASS MO, | 52 |
| Tab. 29 Porovnání nákladů technologií, | 66 |
| Tab. 29 Porovnání spolehlivostních ukazatelů odbočky jednotlivých technologií, | 54 |
| Tab. 30 Porovnání nákladů rozvodny GIS s ohledem na vývody, | 66 |

1. Úvod

Rozvodny o napěťové hladině 110 kV jsou nepostradatelnou součástí elektrizační soustavy a představují kritický bod elektrického systému z pohledu spolehlivosti. Rozvodny lze rozdělit do dvou základních typů:

- 1) Uzlové elektrické stanice
- 2) Transformační stanice

Uzlové transformační elektrické stanice tvoří společný bod mezi větvemi přenosové sítě o téže napětí a dále jsou důležitým propojovacím (transformačním) bodem mezi přenosovou a distribuční soustavou. Skládají se z elektrických polí, kterých bývá obvykle několik. To klade velké nároky na prostor, proto jsou konstruovány většinou jako venkovní rozvodny AIS v klasickém provedení, nicméně v nedávné době bylo v ČR zprovozněno několik uzlových transformačních stanic v provedení GIS (např. TR Chotějovice) Transformační stanice DS slouží k transformaci elektrické energie o různých napěťových hladinách, v případě DS v ČR se jedná o transformaci 110 kV/ vn, kde hladinu vn představuje v převažujícím poměru 22 kV, dále v Severních a Východních Čechách i 35 kV, ve sporadických případech i hladina 10 kV (staré městské kabelové sítě vn – např. Plzeň-Bory, Karlovy Vary). Tyto transformační stanice jsou umísťovány v blízkosti měst, obcí a průmyslových areálů. Mívají často jen jeden systém přípojníc a čtyři elektrická pole, proto u nich přichází v úvahu technologie úsporná k prostoru. Tyto technologie jsou uvedeny níže.

Tyto transformační stanice jsou na napěťové hladině 110 kV obvykle v H- schématu. Je to dáno prostorovou úsporou a typem sítě, do které stanice dodává energii. Těmito typy sítě jsou obvykle průběžné rozvody nebo okružní rozvody.

Každá rozvodna je tvořena přípojnícemi a odbočkami. Na přípojnici je přiváděna veškerá energie, která se dále přenáší na odbočky. Z toho vyplývá, že pokud dojde k poruše na přípojnici, je vážně ohrožena spolehlivost přenosových vedení. Výkon, který není přenesen přes poškozenou přípojnici, se přelije do okolních vedení a překročí-li jejich kapacitu, může tím dojít k postupnému kaskádnímu vypínání. V krajním případě může dojít až k rozpadu sítě.

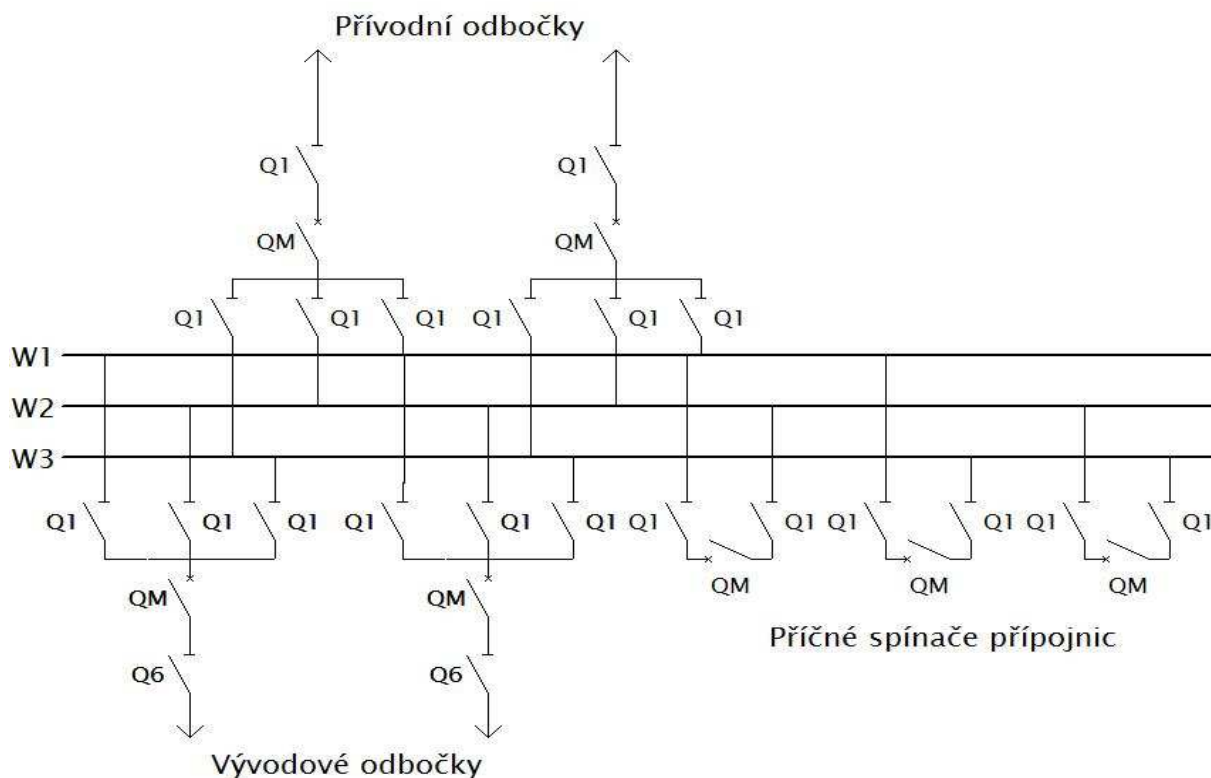
Cílem mé práce je popsat technologie využívané v rozvodnách na 110 kV. Tomu jsem věnoval první část, ve které jsem vymezil druhy užívaných rozvodů, druhy technologií užívaných v rozvodnách a současné nabízené výrobky. V druhé části jsem se zaměřil na výpočet spolehlivosti od elementární součástky po celou rozvodnu. V poslední části jsem pak porovnal jednotlivé druhy technologií s ohledem na zastavěnou plochu, cenu technologie, spolehlivost, šetrnost k okolí a doby dodávky.

1.1. Typy rozveden 110 kV z hlediska systému přípojnic

1.1.1. Uzlová elektrická stanice s trojitým systémem přípojnic

Jak bylo uvedeno výše, propojují přenosovou soustavu se soustavou distribuční. Odebíranou energii z přenosové soustavy přerozdělují na stejné napěťové hladině a transformují napětí v první řadě z napěťové hladiny zvn(vvn)/ vvn a a poté z napěťové hladiny vvn/ vn (typicky 110/ 22 kV).

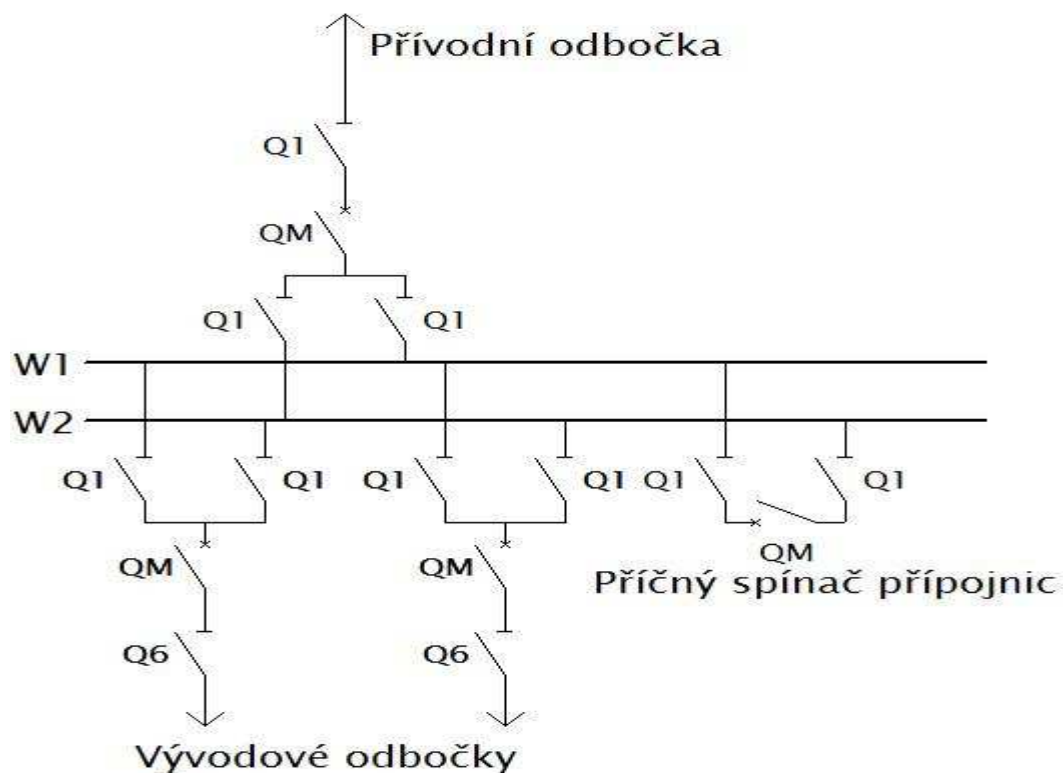
Jedná se o rozvodnu s trojitým systémem přípojnic, a proto se používá tam, kde je zapotřebí nepřetržitý provoz přípojnic při revizi, kde je třeba mít nepřetržitě oddělen dvojitý systém přípojnic. Dále se používají pro omezení zkratových a provozních proudů a k oddělení spotřebičů s kolísavým napětím od spotřebičů s konstantním napětím. Přípojnice musí být vybaveny příčným spínačem, aby se mohly přepojovat bez přerušení dodávky. Výhodou tohoto provedení je nepřetržitý provoz při poruše či údržbě. Nevýhodou je pak velice vysoká cena za vybudování tří přípojnic a systémů s tím spojených.



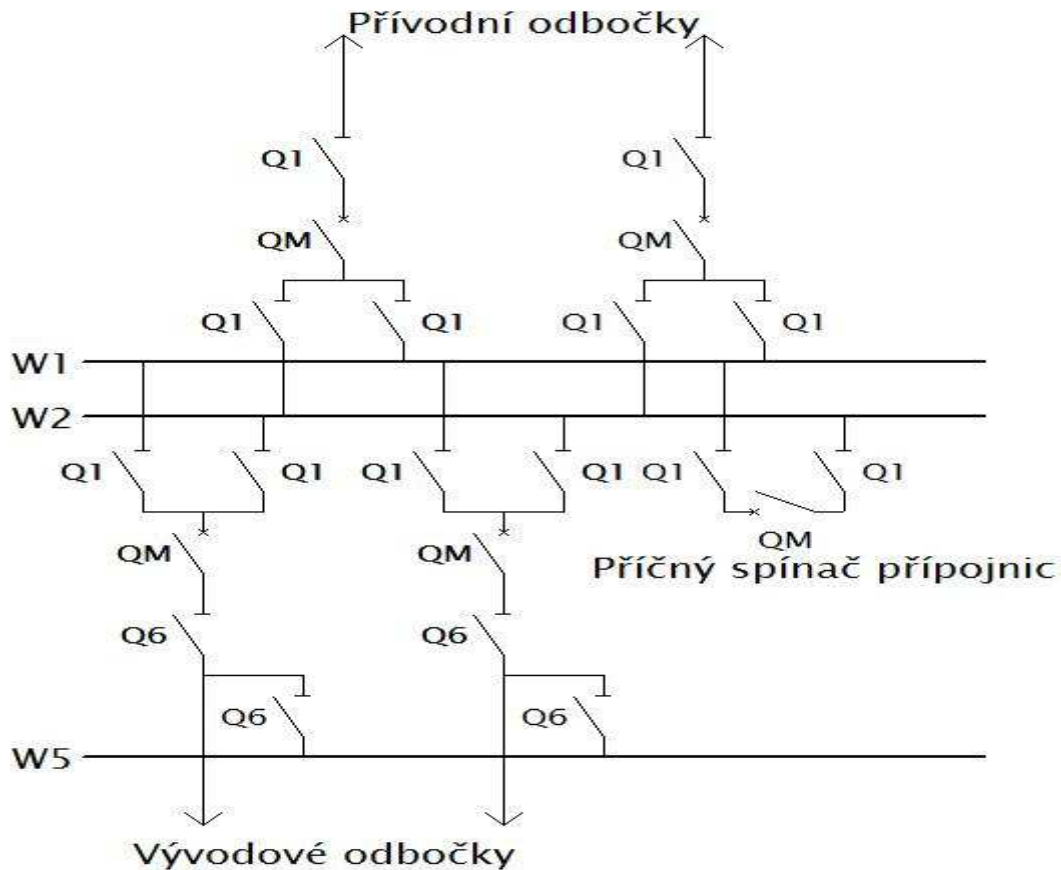
Obr. 1 Trojitý systém přípojnic

1.1.2. Distribuční stanice s dvojitým systémem přípojnic

Rozvodna slouží k přerozdělování energie o téže napětí a k transformaci vvn na vn. Je tvořena dvěma systémy přípojnic. Používá se tam, kde: není možné ani krátkodobé přerušení dodávky, je třeba omezit zkratové proudy, je třeba mít dva nespolečné zdroje, je třeba oddělit kabelové vedení od venkovního. Přípojnice musí být vybaveny příčným spínačem, aby se mohly přepojovat bez přerušení dodávky. Výhodou této koncepce je nepřetržitý provoz při poruše či revizi, tedy spolehlivost. Je také levnější než trojitý systém přípojnic. V případě provedení se dvěma nezávislými zdroji je spolehlivost dodávky výrazně vyšší. Rovněž při užití pomocné přípojnice roste spolehlivost dodávky energie. Nevýhodou je vyšší cena oproti jednoduchému systému přípojnic. Rovněž i pomocná přípojnice zvyšuje cenu rozvodny.



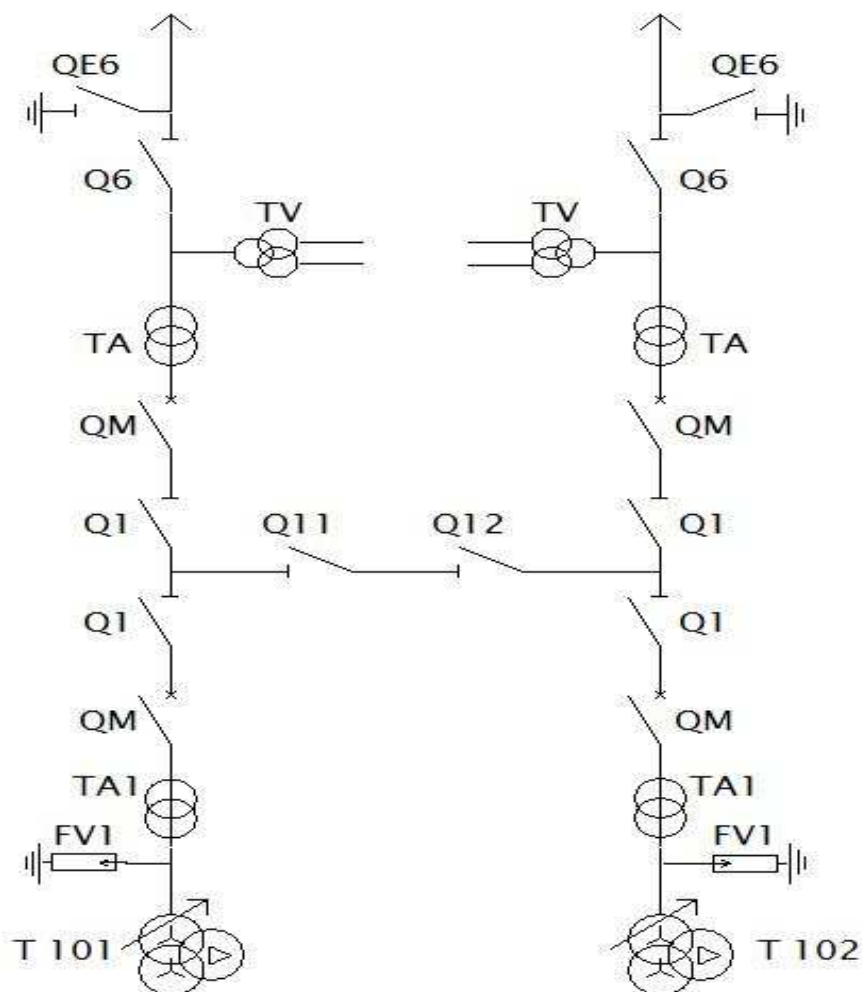
Obr. 1 Dvojitý systém přípojnic s jedním zdrojem



Obr. 2 Dvojitý systém přípojnic se dvěma zdroji a pomocnou přípojnici

1.1.3. Distribuční stanice s jednoduchým systémem přípojnic

Jedná se o rozvodnu, kde jsou přípojnice využity jako příčné spojky mezi odbočkami. Rozvodna má typicky čtyři odbočky (nejvíce šest odboček) a toto schéma se nazývá H-schéma. Můžeme se setkat s různými obměnami příčné spojky. V příčné spojce se využívá jeden odpojovač, dva odpojovače nebo kombinace dvou odpojovačů a vypínače. Jeden odpojovač představuje nejlacinější a nejjednodušší řešení. Jeho slabinou je však nutnost dočasného přerušení dodávky energie při re-konfiguraci rozvodny. Dva odpojovače jsou lacinější nežli provedení s vypínačem, zvyšují bezpečnost práce při údržbě, nicméně stále je nutné přerušení dodávky. Kombinace dvou odpojovačů a vypínače je nejdražší možné řešení, je však možné provádět re-konfigurace bez přerušení proudu. V současné době je převažujícím trendem osadit podélné dělení přípojnic pouze odpojovači (Q11+Q12). Výhodou H-schématu je menší prostorová náročnost a cena. Nevýhodou je, že v případě poruchy přípojnic nebo opravě dojde k odstavení celé stanice.



Obr. 3 H-schéma

1.2. Vybavení v elektrických stanicích

Elektrických stanice jsou vybaveny stejným nebo podobným vybavením, jež zajišťuje denní provoz elektrické stanice s ohledem na bezpečnost, předpisy, spolehlivost a životní prostředí. Dále jsou pak vybaveny speciálním vybavením podle účelu elektrické stanice, to jsou transformovny a měnírny.

Základní vybavení stanic:

- **elektrické rozvodné zařízení**- rozvodny, rozvaděče, rozvodnice
- **společná zařízení**- zařízení vlastní spotřeby, rozvod stlačeného vzduch, dozorna, ochrany, signalizace a měření
- **pomocná zařízení**- olejové hospodářství, sklady, dílny
- **komunikace**- koleje, zpevněné komunikace
- **protipožární technika**- hasící přístroje, detektory kouře

- **zařízení a prostředky pro ochranu zdraví a hygienu práce**- sociální zařízení
- **ochranné a bezpečnostní prostředky**- varovné tabulky, zábrany, zkratovací tyče, dielektrické rukavice
- **kompenzační zařízení**- kompenzační tlumivky, rotační kompenzátory
- **HDO**

Rozvodnu můžeme hrubě rozdělit na 

Přípojnice je tvořena souborem holých vodičů dimenzovaných průřezem a profilem na očekávané proudové zatížení, zkratové poměry a mechanickou pevnost. Energie na vodiče je přivedena z přívodních odboček a odvedena pomocí vývodových odboček.

Odbočky jsou tvořeny celou řadou přístrojů zjišťující bezpečný přívod a přerušování elektrické energie, její viditelné přerušování, měření, ochranu.

Základní přístroje odboček rozvodny vvn:

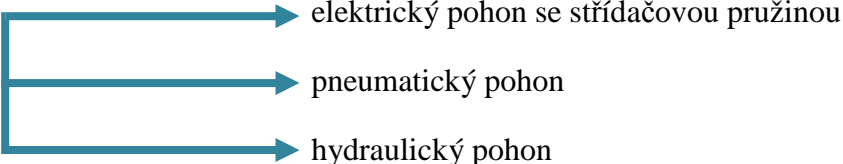
- **vypínač**- zajišťuje zapnutí a vypnutí odbočky pod zajištěním
- **přípojnicový odpojovač**- používá se pro viditelné odpojení odbočky od přípojnicového systému
- **vývodový odpojovač**- slouží k viditelnému odpojení vedení od rozvodny. Zpravidla bývá vybaven zemnicím nožem
- **měřicí transformátor proudu (MTP) a měřicí transformátor napětí (MTN), nebo jejich kombinované provedení (MTK)**- je specifický dle důležitosti odbočky, používají se k měření a zajištění funkce elektrických ochranných

Vypínač

Slouží k vypnutí a zapnutí odbočky pod zatížením, k zapnutí a vypnutí při zkratu.

Dříve se používaly vypínače tlakovzdušné, které vyžadovaly velké zázemí pro rozvod a výrobu stlačeného vzduchu. Měně se pak používaly vypínače maloolejové.

V dnešní době se používají zejména vypínače s plynem SF₆. Pohon je řešen pro každou fázi zvlášť nebo pro všechny současně. V dnešní době je standardem elektrický pohon.

provedení pohonu: 

Všechny druhy pohonů mívají obvykle záložní ruční pohon.

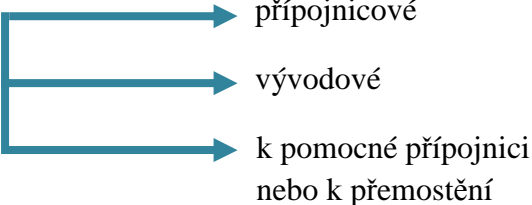
sledovanými parametry vypínače jsou:

- nejvyšší napětí přístroje[kV]
- jmenovitý proud[kA]
- jmenovitý vypínací proud[kA]
- jmenovitý dynamický proud[kA]
- vypínací doba[ms]
- zapínací doba[ms]
- druh pohonu

Odpojovač

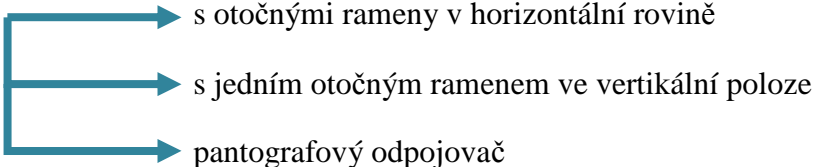
Slouží pouze pro viditelné odpojení, nedokáže vypínat ani zapínat pod zatížením. Odpojovač může být vybaven i zemnicím nožem, pro zvýšení bezpečnosti odpojeného úseku. Pohon je řešen trojpólově

podle umístění rozlišujeme tři skupiny:



- připojnicové
- vývodové
- k pomocné přípojnici
nebo k přemostění

podle provedení dále dělíme:



- s otočnými rameny v horizontální rovině
- s jedním otočným ramenem ve vertikální poloze
- pantografový odpojovač

Užité provedení odpojovače je závislé na provedení rozvodny.

provedení pohonu:



- tlakovzdušné
- motorové

Odpojovače jsou opět vybaveny záložní ručním pohonem.

Sledovanými parametry odpojovače jsou:

- jmenovité napětí odpojovače[kV]
- jmenovitý proud[kA]
- jmenovitý krátkodobý proud[kA]
- jmenovitý dynamický proud[kA]

Přístrojový transformátor proudu (PTP)

Je tvořen primárním a sekundárním vinutím, tlakové nádoby, porcelánového izolátoru, podstavce. Izolačním a chladicím médiem je dnes využíván plyn SF₆ a olej. Plyn SF₆ je drahý, proto je častěji využit jako maloolejový. Primární vinutí je tvořeno tyčovými vodiči.

sledované parametry jsou:

- nejvyšší napětí přístroje[kV]
- jmenovitý primární proud[kA]
- jmenovitý sekundární proud[kA]
- počet jader
- nadproudé číslo
- jmenovitý krátkodobý proud[kA]
- jmenovitý dynamický proud[kA]

Přístrojový transformátor napětí (PTN)

Je tvořen primárním, sekundárním a pomocným vynutím, tlakové nádoby, porcelánového izolátoru. Izolačním a chladicím médiem je SF₆ a olej. Častěji se však využívají maloolejové, neboť plyn SF₆ je drahý.

sledovanými parametry jsou:

- nejvyšší napětí přístroje[kV]
- jmenovité primární napětí[kV]
- jmenovité sekundární napětí[kV]
- jmenovité sekundární napětí pomocných napětí[kV]

[2]

Vyobrazení jednotlivých zařízení je v kapitole 2.

1.3. Provedení rozvoden

Technologie, jež jsou využívány pro rozvodny, se liší z hlediska prostorové náročnosti, izolačního média a nákladů na výstavbu. Základní dělení lze provést na základě izolačního média:

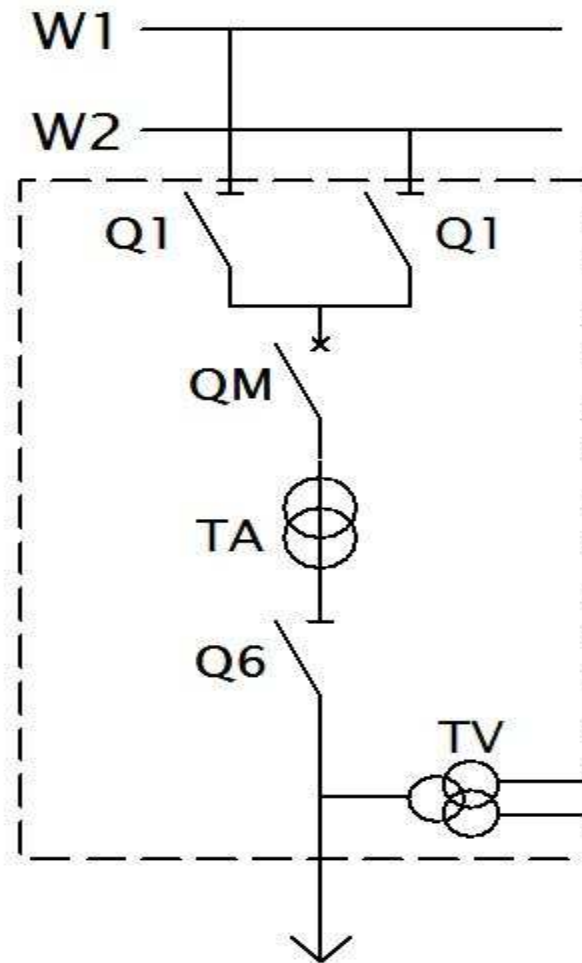
- 1) vzduchem izolované (AIS)
- 2) hybridní systém (HIS)
- 3) plynem izolované (GIS)

První uvedená technologie je prostorově nejnáročnější, je však nejjednodušší a nejlacinější při pořizování. Využívá se v místech, kde není prostorové omezení a kde nejsou vysoké náklady na pozemek. Umisťuje se do blízkosti měst a obcí. Dále je toto provedení omezeno znečištěním ovzduší. Polévaté znečištění snižuje izolační schopnost zařízení a míra znečištění je kategorizována do čtyř stupňů. V současné době i v této oblasti nabízí výrobci mnohá úsporná opatření slučováním prvků.

Technologie HIS kombinuje technologie vzduchem izolované a plynem izolované. Plynem izolované jsou silové zařízení pole, která jsou uzavřena ve vzduchotěsné nádobě a vzduchem izolované jsou pak jen přípojnice. Představují střední cestu, co se týče pořizovacích nákladů a místa. Využívá se v omezených či drahých pozemcích městské aglomerace nebo průmyslových zónách. Zejména vhodná je pak při rekonstrukcích stávajících rozvoden.

Zapouzdřená rozvodna HIS

Přístroje rozvodny jsou izolovány plynem SF₆ kromě přípojnic, které jsou izolovány vzduchem. Rozvodna má menší rozměry než klasické rozměry, vyšší spolehlivost a vyšší cenu. Ve srovnání s rozvodnou GIS má menší náklady na pořizování technologie, ale i menší spolehlivost nezapouzdřené přípojnice.



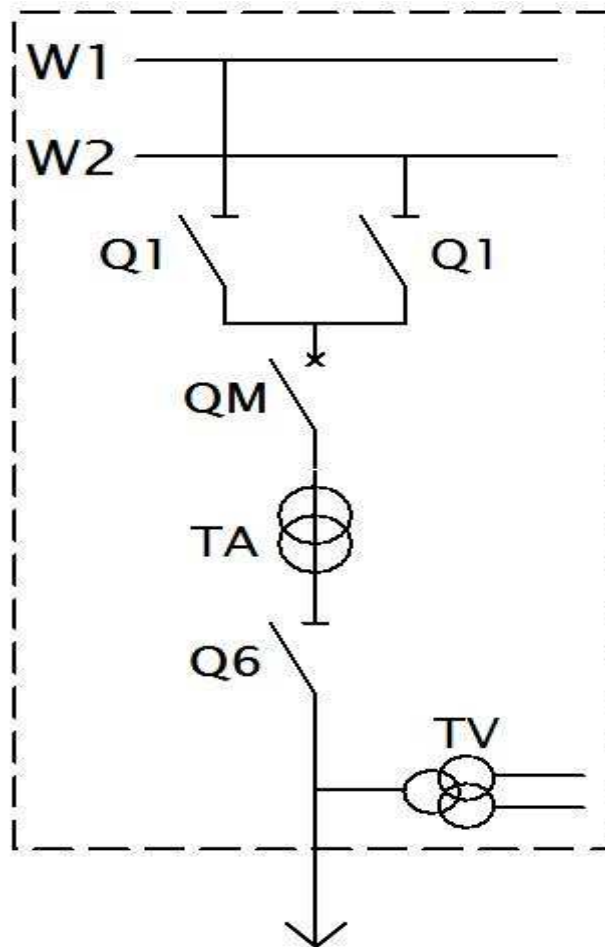
Obr. 4 Plynem izolovaná rozvodna HIS

Poslední uvedená technologie je prostorově nejméně náročná, je však ze všech uvedených technologií nejdražší. Využívá hermeticky uzavřených skříní, ve kterých jsou uloženy jednotlivé komponenty pole včetně systému přípojníc. Předností této technologie je její provozní spolehlivost, bezpečnost, snadné rozšíření či výměna poškozeného modulu. Jednotlivé moduly jsou od sebe odděleny plynotěsnými přepážkami, bránící úniku plynu při výměně a rovněž zabraňují přenosu tlakových rázů z modulu do modulu. Využívaným izolačním médiem je plyn SF₆. S ohledem na váhu jsou tvořeny z lehkých materiálů a jejich slitin, aby se daly umístit do pater budov.

Zapouzdřená rozvodna GIS

Jedná se o plynem SF₆ izolovanou rozvodnu honosící se minimálními rozměry, bezpečností a ochranou proti znečištění. Rozvodna je sestavena z jednotlivých polí izolovaných plynem SF₆ včetně přípojnícových oddílů a tyto pole jsou vzájemně spojeny.

Výhodu představují minimální rozměry, vysoká spolehlivost, vysoká bezpečnost pro obsluhu a až dvojnásobná doba životnosti v porovnání s klasickou technologií (dle interpretace od výrobců). Nevýhodou je její vysoká cena.



Obr. 5 Plynem izolovaná rozvodna GIS

Z hlediska spolehlivosti se budu dále zaměřovat pouze na odpojovače, vypínače popřípadě celé systémy polí.

Společnosti nabízející na našem trhu technologie do rozvodn o napěťové hladině 110 kV, jsou:

- Siemens
- Alstom
- ABB
- SERW, spol. s r.o.

2. Výrobci a technologie

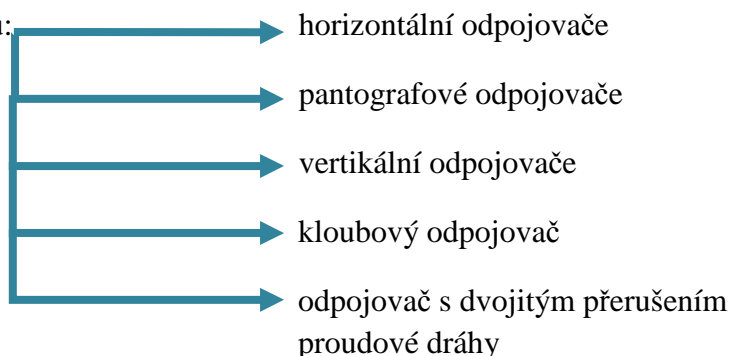
2.1 Technologie firmy Siemens

Společnost Siemens je zavedenou společností působící na našem území již řadu let. Její sektor Energy se zabývá projektováním, dodávkou, výstavbou, provozováním a servisem zdrojů elektrické energie i tepelné energie. Dále nabízí technologie, servis i komplexní řešení pro přenos a distribuci elektrické energie. Hlavní nabízené klasické přístroje pro vzduchem izolované rozvodny jsou odpojovače, uzemňovače a vypínače.

2.1.1 Odpojovače a uzemňovače

Odpojovače a uzemňovače dodává pro společnost Siemens firma RUHRTAL. Životnost odpojovače je udávána více než 40 let a dostupnost náhradních dílů po dobu minimálně 25 let.

nabízenými odpojovače jsou:



2.1.1.1 Horizontální odpojovač

Odpojovač je tvořen dvěma otočnými podpěrnými keramickými izolátory umístěné na základně s pohonem. Ramena proudové dráhy jsou umístěné na podpěrných izolátorech a proudová dráha se rozpojuje uprostřed rotačním pohybem ramen.

2.1.1.2 Pantografový odpojovač

Odpojovač je tvořen nůžkovým mechanismem, otočným izolátorem, podpěrným izolátorem. Nůžkový mechanismus je umístěn na izolátorech a ke spínání a rozpínání proudové dráhy dojde při zvedání nebo snižování nůžkového mechanismu. Koncové polohy jsou blokovány mrtvou polohou a není proto možné polohu silou změnit. Tento odpojovač se používá v rozvodně se třemi systémy přípojníc.

2.1.1.3 Vertikální odpojovač

Odpojovač je tvořen podpěrnými izolátory a ramenem odpojovače. Odpojovač vykonává vertikální kyvný pohyb a rotační pohyb ramene kolem své podélné osy. Rameno v koncové poloze je opět blokováno mrtvou polohou, aby nedošlo ke změně stavu.

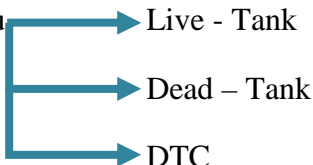
2.1.1.4 Odpojovač s dvojitým přerušením proudové dráhy

Je tvořen třemi izolátory z toho prostřední izolátor je otočný. Otočný izolátor nese otočné rameno proudové dráhy. Krajní izolátory jsou pevné.

2.1.2 Vypínače 3AP

Vypínače jsou v základu tvořeny samokompresní vypínací komorou, která odebírá energii oblouku a pružinovým střídačovým pohonem. Pro speciální užití je možné vypínač vybavit dvojitou zhášecí tryskou a elektrohydraulickým pohonem. Všechny vyráběné vypínače, bez ohledu na izolační médium, jsou tvořeny stejnými řadami komponent. To snižuje výrobní náklady a zvyšuje spolehlivost vypínačů.

Nabízenými druhy vypínačů jsou



```

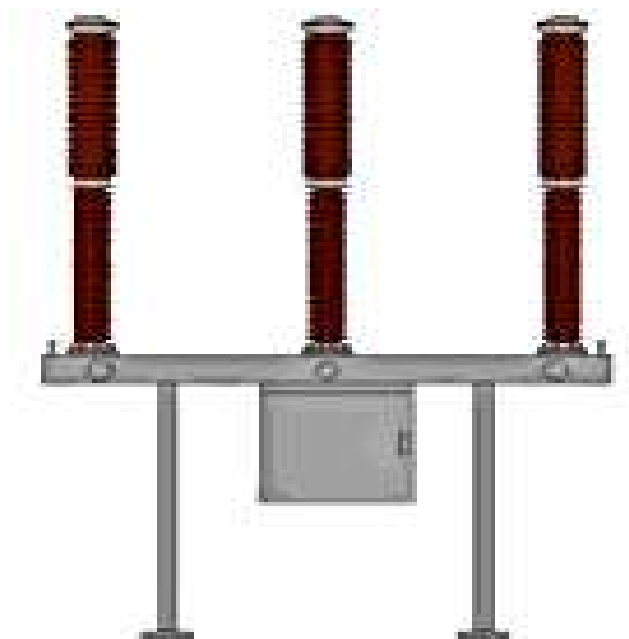
graph LR
    A[Nabízenými druhy vypínačů jsou] --- B[Live - Tank]
    A --- C[Dead - Tank]
    A --- D[DTC]
  
```

2.1.2.1 Live – Tank

Označení vypínače vzniklo podle jeho konstrukce, kde přerušovač je pod napětím, tedy je „Live“. Zhášedlo je pak umístěno uvnitř izolátoru, který může být z porcelánu nebo kompozitu ze skleněných vláken. Rozměry vypínače jsou dány přeskokovou vzdáleností na dané napěťové hladině. Vypínač je tvořen samokompresní zhášecí komorou, pružinovým střídačovým pohonem, podpěrným izolátorem, základnou vypínače, ovládací jednotkou.

Tab. 1 Parametry vypínače Live-Tank

| | |
|----------------------------|-----------|
| nejvyšší napětí přístroje | 123 kV |
| jmenovitý proud | až 4000 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 40kA-3s |



Obr. 6 Vypínač 3AP1 Live-tank
[Zdroj společnost Siemens]

2.1.2.2 Dead – Tank

V uzemněné kovové nádobě je umístěno zhášedlo, které je od nádoby izolované plynem SF₆. Kontakty zhášedla jsou vyvedeny na kontakty vvn pomocí venkovních průchodek. Označení „Dead“ je zde odvozeno od potenciálu uzemněné nádoby. Rychlost montáže se u vypínače 3AP1 uvádí pro jednoho dělníka na půl dne.

První inspekce vypínače 3AP1 je doporučena po 12 letech. První údržba je doporučena po 25 letech provozu.

Tab. 2 Parametry vypínače Dead-Tank

| | |
|----------------------------|-----------|
| nejvyšší napětí přístroje | 123 kV |
| jmenovitý proud | až 4000 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 40kA-3s |

2.1.2.3 DTC (Deat-Tank Compact)

Jedná se o vypínač hybridní koncepce, který v sobě kombinuje technologie AIS a GIS. V základu je tvořen vypínačem 3AP se střádačovým pohonem a technologií plynem izolované technologie SF₆ z 8DN8. Vypínač lze rozšířit o moduly odpojovačů a transformátorů pro GIS.

První větší kontrola je doporučena po 25 letech provozu a životnost je udána minimálně 50 let.

Tab. 3 Parametry vypínače DTC

| | |
|----------------------------|---------|
| nejvyšší napětí přístroje | 123 kV |
| jmenovitý proud | 3150 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 40kA-3s |

Společnost nabízí kromě klasických komponentů pro vzduchem izolované rozvodny i technologie méně náročné na prostor. Těmito technologiemi jsou:

- a) Kompaktní rozvodny AIS
- SIMOBREAKER
 - SIMOVER
- b) Zapouzdřené rozvodny
- GIS 8DN8
 - HIS 8DN8
 - HIS DTC-kompaktní rozvodna s moduly vypínačů „dead tank“

2.1.3 Kompaktní rozvodna

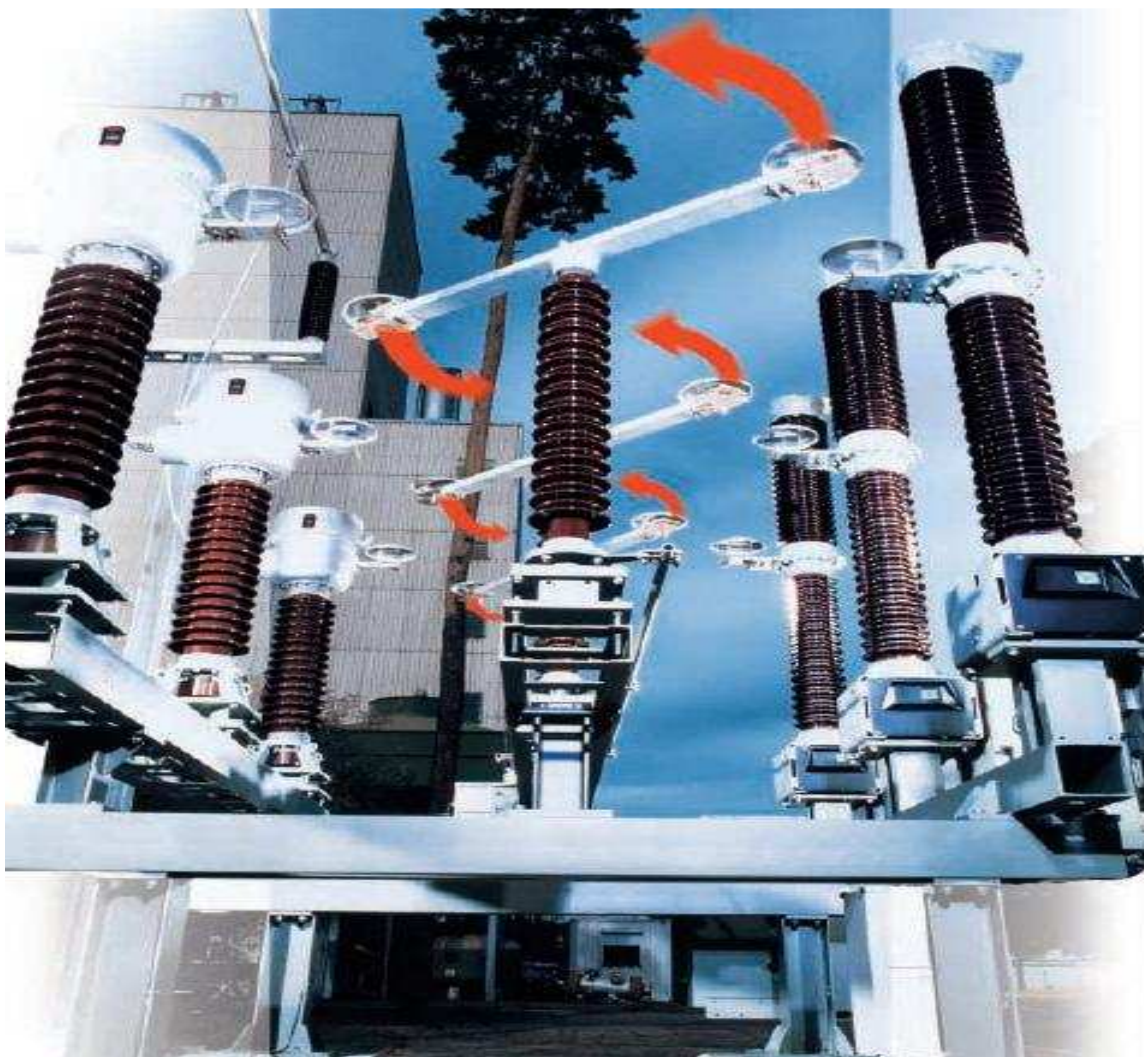
2.1.3.1 SIMOBREAKER

Kompaktní rozvodna SIMOBREAKER využívá společné základní konstrukce ze žárově zinkované ocele, na které jsou umístěny komponenty. V základním provedení pole je použit odpojovač, transformátor a vypínač řady 3AP1xx. Odpojovač je zde umístěn na otočném podpěrném izolátoru s dvojitou spínací dráhou. Vypínač je možné vybrat ve volitelném provedení typu 3AP1FG pro 3- pólové opětne zapínání nebo jako 3AP1FE nebo FI pro 1- a 3- pólové opětne zapínání. Dále je možné vybavit pole volitelnými doplňky, jako jsou: zemnicí nůž, standardizovaný ovládací pult. Ovládací pult se montuje přímo na ocelovou konstrukci a je vybaven všemi přístroji potřebnými ke kontrole a obsluze.

Výhodou tohoto provedení je úspora místa, neboť je vše integrováno do jednoho celku. Rovněž není zapotřebí budování samostatných základů. Velká rychlost uvedení do provozu, pole jsou maximálně předmontovaná. Udávaná úspora místa oproti klasickému poli je 50 %.

Tab. 4 Parametry kompaktní rozvodny SIMOBREAKER

| | |
|----------------------------|---------------------|
| nejvyšší napětí přístroje | 123 kV/145 kV |
| jmenovitý proud | 2000 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 31,5 kA-1 s/40kA-3s |



Obr. 7 Kompaktní rozvodny – SIMOBREAKER [Zdroj společnost Siemens]

2.1.3.2 SIMOVER

Kompaktní rozvodna SIMOVER využívá technologie výsuvného spínače. Má společnou základní konstrukci jako technologie SIMOBREAKER, kromě odpojovače jsou rovněž i použité přístroje totožné včetně variabilních doplňků. Technologie SIMOVER nepoužívá ani přípojnicové ani výstupní odpojovače, neboť jejich funkci zastává elektromechanický výsuvný spínač. Výsuvná jednotka je tvořena elektromotorem a vozíkem. Moment motoru je přenášen na vozík prostřednictvím řetězů. Pro bezpečnost provozu je pohyblivý vypínač vybaven koncovými čidly na blokaci funkce, tak aby nedošlo k pohybu při zapnutí vypínači a vytažení oblouku. Na straně vvn jsou pevné kontakty umístěny na izolátoru a na měřící popřípadě kombinovaný transformátor. Výrobce udává úsporu místa oproti klasickému poli ve výši 45 %.

Tab. 5 Parametry kompaktní rozvodny SIMOVER

| | |
|----------------------------|---------------------|
| nejvyšší napětí přístroje | 123 kV/145 kV |
| jmenovitý proud | 2000 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 31,5 kA-1 s/40kA-3s |

2.1.4 Zapouzdřená rozvodna 8DN8

Zapouzdřené rozvodny 8DN8 jsou zcela zapouzdřené, plynem SF₆ izolované. Provádí se jako třífázové. Jednotlivá zařízení jsou uzavřena v plynotěsných modulech. Každý modul má šířku 0,8 m, což i po sestavení představuje bezpečně nejmenší rozměry pole. Materiálem stěny modulu je hliník, tudíž se hmotnost pole pohybuje v rozmezí pouhých 2,8 – 3 tuny. Tato hmotnost neomezuje instalaci rozvodny i do patra budovy.

Každý modul je vybaven přetlakovým ventilem, který v případě vnitřního oblouku upustí přetlak, aby nedošlo k roztržení hermetického obalu. V žádném případě, však nesmí dojít k vyrovnání tlaku se sousedními komorami. Funkce sousedních komor musí zůstat nedotčená. Všechna pouzdra musí vydržet dvojnásobek jmenovitého tlaku a všechny sváry jeden a půl násobek jmenovitého tlaku. Interval údržby zcela zapouzdřených rozveden tak i HIS zapouzdřených rozveden by neměl být menší než 18 x vypnutí jmenovitého zkratového proudu nebo 6000 x vypnutí jmenovitého proudu, nebo 25 let provozu.

Tab. 6 Parametry zapouzdřené rozvodny 8DN8

| | |
|----------------------------|-----------|
| nejvyšší napětí přístroje | 145 kV |
| jmenovitý proud | do 3150 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 40kA-3s |

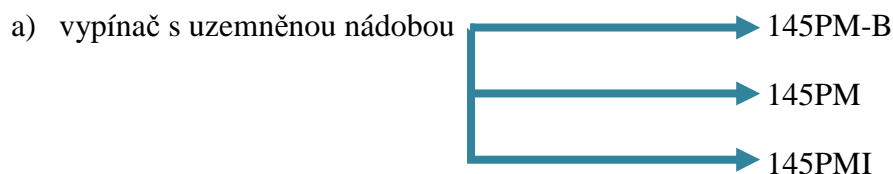
[4]

2.2 Technologie firmy ABB

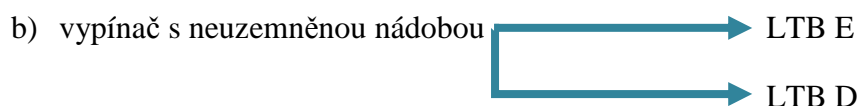
Společnost ABB je rovněž zavedenou společností fungující na našem území již řadu let. Prostřednictvím svých výrobků je u nás již od 70. let minulého století. Dnes bychom ji mohli nalézt ve více než 100 zemích.

2.2.1 Vypínače

Jedná se o klasický vypínač využitelný v AIS rozvodnách. Vypínače mají za sebou řadu let nasazení v provozu a mnoho inovací. Jsou nabízeny dvě varianty vypínače, těmi jsou:

**Tab. 7 Parametry vypínače 145 PMx**

| | |
|----------------------------|---------|
| nejvyšší napětí přístroje | 145 kV |
| jmenovitý proud | 2000 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 40kA-3s |

**Tab. 8 Parametry vypínače LTB x**

| | |
|----------------------------|---------------------|
| nejvyšší napětí přístroje | 123 kV/145 kV |
| jmenovitý proud | 2000 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 31,5 kA-1 s/40kA-3s |

2.2.1.1 Vypínače s uzemněnou nádobou

Vypínače s uzemněnou nádobou se skládají ze tří nádob z litého hliníku. Každá z nádob je vybavena vypínací jednotkou a je namontovaná na nosné pozinkované ocelové konstrukci, která je uzemněna. Dále jsou vybavena dvěma odnímatelnými pouzdry s transformátory proudu určenými k montáži na vrchol každé nádrže. Izolantem a zároveň chladivem je využíván plyn SF₆. V případě výměny transformátory proudu, není třeba odplynit vypínač.

Tab. 9 Parametry vypínače s uzemněnou nádobou 145 PMx

| | |
|----------------------------|----------------|
| nejvyšší napětí přístroje | 123 kV/ 145 kV |
| jmenovitý proud | 4000 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 40 - 63kA-3s |



Obr. 8 Vypínač 145PM [Zdroj společnost ABB]

2.2.1.2 Vypínače s neuzemněnou nádobou

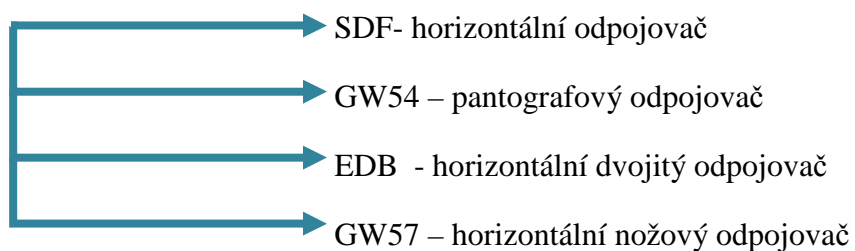
Vypínací komora je naplněna plynem SF₆ a je umístěna uvnitř izolátoru, který může být z porcelánu nebo kompozitu. Rovněž může být v jednopólovém nebo trojpólovém provedení.

Tab. 10 Parametry vypínače s neuzemněnou nádobou LTB x

| | |
|----------------------------|---------|
| nejvyšší napětí přístroje | 800 kV |
| jmenovitý proud | 4000 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 50kA-3s |

2.2.2 Odpojovače

Odpojovače



2.2.2.1 Odpojovač SDF

Jedná se o horizontální odpojovač, skládající se z pozinkovaného ocelového rámu se dvěma otočnými podstavci, na kterých jsou umístěny izolátory nesoucí proudovou dráhu. Každé fázi tak odpovídají dva otočné izolátory s prstními kontakty a pěstními kontakty. Otočné podstavce lze otočit o 360°, proto je možné umístit protikontakty kdekoli v obvodu ramene. Odpojovač je odolný na změnu pracovní polohy při bouřích či zemětřesení.

Tab. 11 Parametry odpojovače SDF

| | |
|----------------------------|---------------------|
| nejvyšší napětí přístroje | 123 kV/145 kV |
| jmenovitý proud | 2500 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 31,5 kA-1 s/40kA-3s |



Obr. 9 Odpojovač SDF
[Zdroj společnost ABB]

2.2.2.2 Odpojovač GW54

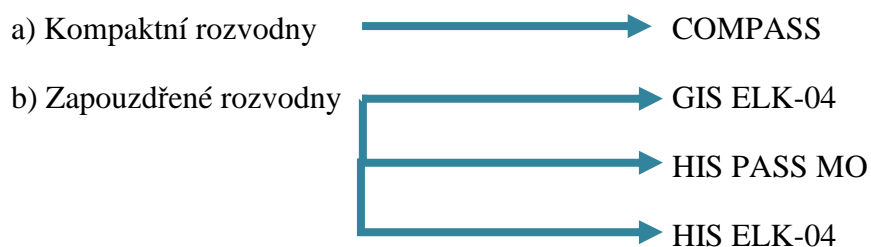
Pantografový odpojovač je tvořen třemi poli. Každé pole je tvořeno jedním nosným izolátorem, jedním otočným izolátorem, mechanismem sběrače, rameny nůžek a protizávaží. Materiálem ramen nůžek je hliník pro jeho lehkost a tuhost. Příkladná síla vodičů odpojovače se nastavuje v továrně a zůstává bez změny po celou dobu provozu odpojovače. Polohu odpojovače není možné změnit ani při silných bouřích a zemětřesení, jako tomu bylo u předchozího odpojovače.

Tab. 12 Parametry odpojovače GW54

| | |
|----------------------------|---------------------|
| nejvyšší napětí přístroje | 123 kV/145 kV |
| jmenovitý proud | ≤ 4000 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 31,5 kA-1 s/40kA-3s |

**Obr. 10 Odpojovač GW54
[Zdroj společnost ABB]**

Kromě klasické koncepce rozvodny společnost nabízí i pokročilejší technologie úsporné k místu. Nabízenými technologiemi jsou:



2.2.3 Kompaktní rozvodna COMPASS

Kompaktní rozvodna COMPASS je vzduchem izolovaná technologie jednoho pole instalovaného v jednom modulu, který je umístěn na nosné konstrukci. Výrobce udává úsporu místa 50 % oproti klasickému provedení.

Tab. 13 Parametry kompaktní rozvodny COMPASS

| | |
|----------------------------|---------|
| nejvyšší napětí přístroje | 123 kV |
| jmenovitý proud | 2000 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 40kA-3s |



Obr. 11 Kompaktní rozvodna COMPASS [Zdroj společnost ABB]

2.2.4 Zapouzdřená rozvodna HIS PASS MO

Tab. 14 Parametry zapouzdřené rozvodny HIS PASS MO

| | |
|----------------------------|----------|
| nejvyšší napětí přístroje | 145 kV |
| jmenovitý proud | 3150 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 50/63 kA |

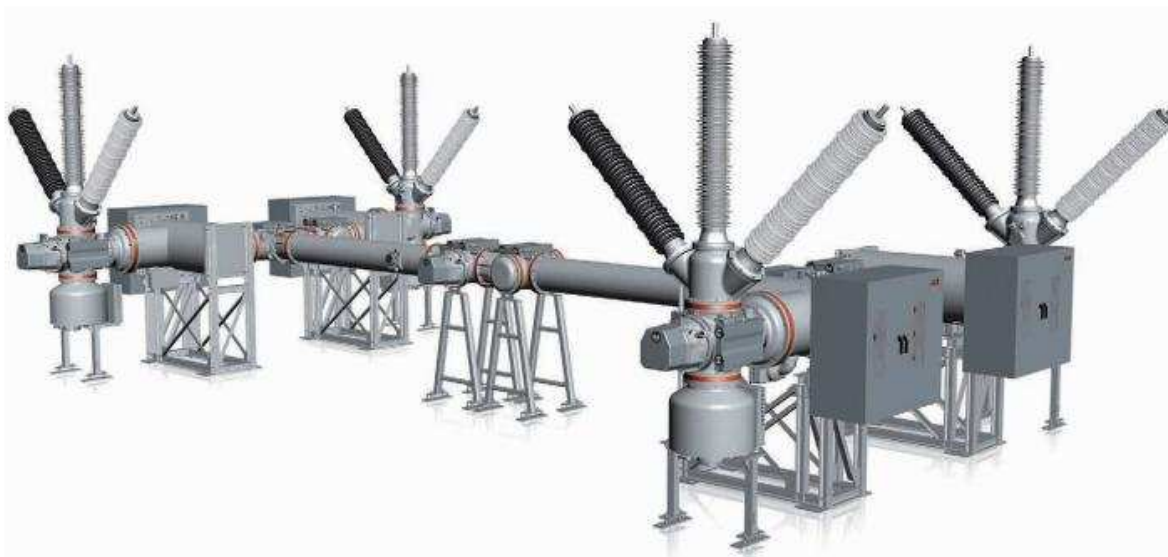


**Obr. 12 Zapouzdřená rozvodna HIS PASS MO
[Zdroj společnost ABB]**

2.2.5 Zapouzdřená rozvodna venkovní GIS- ELK-04

Tab. 15 Parametry zapouzdřené rozvodny venkovní GIS ELK-04

| | |
|----------------------------|-----------|
| nejvyšší napětí přístroje | 145 kV |
| jmenovitý proud | až 2500 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 40kA-3s |



Obr. 13 Zapouzdřená rozvodna venkovní GIS ELK-04 H schéma
[Zdroj společnost ABB]

2.2.6 Zapouzdřená rozvodna vnitřní GIS – ELK-04

Jedná se o plynem SF₆ izolovanou rozvodnu do napěťové hladiny 170 kV. Zařízení je uzpůsobeno pro budoucí modernizaci a rozšíření. Systém má dva hlavní okruhy, řízení a ochrany, konstruovány jako moduly. Rovněž i u tohoto výrobce platí, že při vzniku podmínek, které by zvyšovaly tlak izolantu, nesmí za žádných okolností dojít k protržení membrán mezi jednotlivými moduly a tím dojít k vyrovnání přetlaku. Materiálem hermetického obalu je hliník, aby hmotnost pole byla co nejnižší. Výrobce garantuje v normálních provozních podmínkách při pravidelné vizuální kontrole bezporuchový provoz minimálně 25 let.

Tab. 16 Parametry zapouzdřené rozvodny vnitřní GIS ELK-04

| | |
|----------------------------|---------|
| nejvyšší napětí přístroje | 170 kV |
| jmenovitý proud | 4000 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 63kA-3s |



Obr. 14 Zapouzdřená rozvodna vnitřní GIS ELK- 4 [Zdroj společnost ABB]

[5]

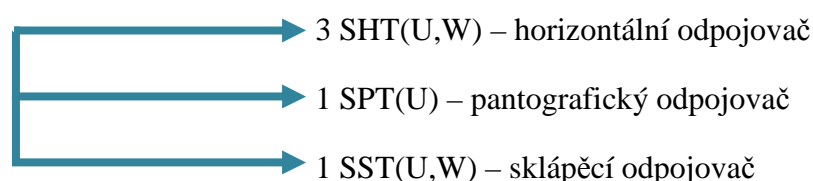
2.3 Technologie firmy SERW Sedlec

Společnost vznikla v roce 1975 jako jeden z provozů Škody Plzeň. V roce 1993 došlo k privatizaci společnosti. Dnes se společnost zaměřuje na systémy AIS a na vakuové komory na nižších napěťových hladinách. SERW může nabídnout pro napěťovou hladinu vvn pouze odpojovače, uzemňovače a pohony vlastní konstrukce pro tato zařízení. Vypínače ať vnitřní či venkovní nabízí pouze do hladiny 38,5 kV.

2.3.1 Odpojovače

Odpojovače firma nabízí v provedení horizontálním, pantografické nebo sklápěcím. Nabízené varianty jsou jednopólové, dvoupólové a trojpólové s pohonem motorovým nebo ručním, popřípadě kombinací obou.

Odpojovače



2.3.1.1 3 SHT(U,W) – horizontální odpojovač

Tab. 17 Parametry odpojovače 3HT(U,W)

| | |
|----------------------------|---------------|
| nejvyšší napětí přístroje | 123 kV |
| jmenovitý proud | 1600 - 3150 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 25 - 50 kA-1s |

2.3.1.2 1 SPT(U) – pantografický odpojovač

Tab. 18 Parametry odpojovače 1SPT(U)

| | |
|----------------------------|---------------|
| nejvyšší napětí přístroje | 123 kV |
| jmenovitý proud | 2000 - 3150 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 40 - 50 kA-1s |

2.3.1.3 1 SST(U,W) – sklápěcí odpojovač

Tab. 19 Parametry odpojovače 1SST(U,W)

| | |
|----------------------------|---------------|
| nejvyšší napětí přístroje | 123 kV |
| jmenovitý proud | 2000 - 3150 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 40 kA-1s |

2.3.2 Uzemňovače

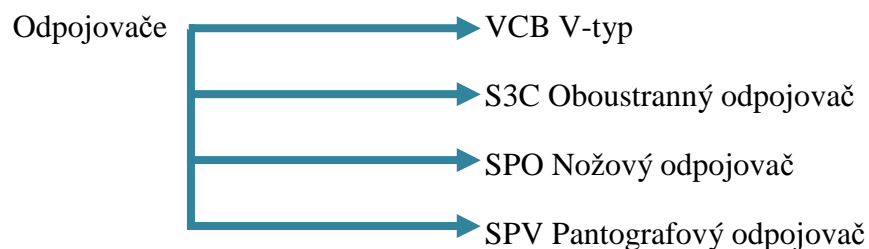
Mohou být dodány jako samostatné přístroje v provedení dle napěťové hladiny jako jednopólové, dvoupólové a trojpólové. Opět lze volit mezi pohonem motorovým nebo ručním, popřípadě kombinací obou.

[6]

2.4 Technologie firmy ALSTOM

Alstom je také zavedenou společností na našem území. Rovněž i jako jeho konkurence je přítomný ve více než 100 zemí.

2.4.1 Odpojovače



2.4.1.1 VCB V- Typ

Jedná se o odpojovač, který má umístěn na pozinkované ocelové konstrukci dva izolátory. Oba izolátory vykonávají rotační pohyb při zapínání a vypínání dráhy. Odpojovač lze dodat s jedním či dvěma uzemňovači, popřípadě je lze snadno nainstalovat dodatečně. Výrobce rovněž nabízí řadu individuálních řešení jako je: paralelní spojení, in- line, diagonální, vertikální, podvěsné, fáze- fáze



Obr. 15 Odpojovač VCB V- Typ
[Zdroj společnost ALSTOM]

2.4.1.2 S3C Oboustranný odpojovač

Jedná se o odpojovač tvořený třemi izolátory umístěnými na nosné pozinkované ocelové konstrukci. Středový izolátor je otočný a nese rameno proudové dráhy. Otočením středového izolátoru dojde k propojení či rozpojení proudové dráhy s krajními fixními izolátory. Izolátor je konstruován až do napětí 300 kV. Lze ho rovněž dodat s jedním či dvěma uzemňovači a individuálním řešením v podobě vertikálního provedení.



Obr. 16 S3C Oboustranný odpojovač [Zdroj společnost ALSTOM]

2.4.1.3 SPO Nožový odpojovač

Odpojovač je tvořen dvěma izolátory umístěnými na pozinkované ocelové konstrukci. Na izolátorech jsou umístěna ramena, která mají poloviční délku vzdálenosti mezi izolátory. Propojení proudové dráhy dojde právě v polovině vzdálenosti. Odpojovače jsou koncipovány do 1200 kV a mohou být vybaveny jedním či dvěma uzemňovači.

Tab. 20 Parametry odpojovače SPO

| | |
|----------------------------|---------|
| nejvyšší napětí přístroje | 245 kV |
| jmenovitý proud | 4000 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 63kA-3s |



Obr. 17 SPO Nožový odpojovač [Zdroj společnost ALSTOM]

2.4.1.4 SPV Pantografový odpojovač

Odpojovač je tvořen nůžkovým mechanismem, který propojuje spodní odbočky s horními přípojnícemi. Odpojovače jsou navrženy do 1000 kV a lze je vybavit speciální vypínací komorou s plynem SF₆.

Tab. 21 Parametry odpojovače 3HT(U,W)

| | |
|----------------------------|---------|
| nejvyšší napětí přístroje | 245 kV |
| jmenovitý proud | 4000 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 63kA-3s |



Obr. 18 SPV Pantografový odpojovač [Zdroj společnost ALSTOM]

2.4.2 Vypínače

Vypínače jsou konstruovány pro odběr energie oblouku a pružinovým mechanismem.

Nabízenými vypínači jsou:



2.4.2.1 Live-Tank

Jedná se o vypínač, který má přerušovač pod napětím. Přerušovač je poté umístěn v porcelánovém izolátoru. Z potenciálu přerušovače získal svoje označení. Vypínače jsou v provedení jednopólovém a trojpólovém a využívají plynu SF₆.

Vypínač je tvořen porcelánovou zhášecí komorou, podpěrným izolátorem, základnou vypínače, střídačovým pružinovým pohonem.

Tab. 22 Parametry vypínače Live-Tank

| | |
|----------------------------|----------|
| nejvyšší napětí přístroje | 123 kV |
| jmenovitý proud | 3150 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 40 kA-3s |

2.4.2.2 Dead-Tank

Vypínač je tvořen uzemněnou nádobou, ve které je umístěno zhášedlo. Zhášedlo je poté izolováno od nádoby plynem SF₆. Vypínač lze dodat v provedení s kompozitním pouzdem.

Tab. 23 Parametry vypínače Dead-Tank

| | |
|----------------------------|----------|
| nejvyšší napětí přístroje | 123 kV |
| jmenovitý proud | 2000 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 40 kA-3s |



Obr. 19 Dead-Tank [Zdroj společnost ALSTOM]

Nabízeným inovativním řešením rozvodem je:

Zapouzdřená rozvodna  HIS HYpact
GIS F35

2.4.3 Zapouzdřená rozvodna HIS HYpact

Tab. 24 Parametry zapouzdřené rozvodny HIS HYpact

| | |
|----------------------------|---------|
| nejvyšší napětí přístroje | 145 kV |
| jmenovitý proud | 2500 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 40kA-3s |



Obr. 20 Zapouzdřená rozvodna GIS HYpact [Zdroj společnost ALSTOM]

2.4.4 Zapouzdřená rozvodna – GIS F35

Jedná se o plynem izolovanou rozvodnu do napěťové hladiny 170 kV. Izolační médiem je i zde plyn SF₆. Rozvodna se dodává již maximálně předmontovaná, aby se doba výstavby i možnost nežádoucích chyb při sestavování co nejvíce zminimalizovala. Velikost modulu při napěťové hladině do 170 kV je 0,8 m.

Tab. 25 Parametry zapouzdřené rozvodny GIS F35

| | |
|----------------------------|-----------|
| nejvyšší napětí přístroje | 145 kV |
| jmenovitý proud | až 3150 A |
| jmenovitý krátkodobý proud | 40kA-3s |



Obr. 21 Zapouzdřená rozvodna GIS F35
[Zdroj společnost ALSTOM]

[7]

3. Porovnání spolehlivostních parametrů různých technologií rozvoden 110 kV

Spolehlivost je vlastnost zařízení splňovat po určitou dobu a za určitých podmínek danou funkci. Spolehlivost složitějších systému, např. rozvodny, je dána spolehlivostí jednotlivých dílčích prvků či skupin prvků a jejich vzájemnými vazbami. Sestavení modelu spolehlivosti složitějšího systému vyžaduje mnoho zjednodušujících předpokladů a znalost činnosti systému. Blokové schéma popisující činnost systému obvykle představuje sériové či paralelní řazení prvků blokového schématu. Sériové řazení prvků značí, že porucha jakéhokoli prvku způsobí poruchu celého systému. Systém s paralelním řazením prvků je v poruše jedině tehdy, jsou-li v poruše všechny prvky. Tato jednoduchá bloková schémata mohou být použita pro stanovení spolehlivosti spínacího prvku a odbočky rozvodny. Pro složitější systémy, jejichž spolehlivostní schémata nevytváří sérioparalelní strukturu, je potřeba řešit k tomu určenými metodami, jako je např. metoda minimálních řezů.

Dále provedu rozbor spolehlivosti od jednotlivých prvků přes spolehlivost odbočky, kde využiji spolehlivostní schéma se sériovým řazením prvků, až po celou rozvodnu H-schématu, kde použiji metodu řezů.

3.1 Výpočet spolehlivosti přípojnice

Přípojnice má velmi vysokou spolehlivost blízkou se 100 %. Já budu v dalších výpočtech uvažovat pravděpodobnost bezporuchového provozu přípojnice $R_{(t)}=0,99999$. Výpočetní dobu t zvolím 15 let. Pro výpočty využiji vzorce z literatury [1].

Nyní spočtu intenzitu poruch λ ze zvolené pravděpodobnosti bezporuchového provozu.

$$R_{(\text{přípojnice})} = e^{-\lambda t}$$

$$0,99999 = e^{-15\lambda}$$

$$-15\lambda = \log_e(0,99999)$$

$$\lambda = 0,00000067$$

Střední doba mezi poruchami pro přípojnicí je poté:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

$$MTBF = \frac{1}{0,00000067} = 1499992,5 \text{ let}$$

3.2 Výpočet spolehlivosti spínacího prvku

Pro příklad zde uvedu podrobný výpočet spolehlivosti vzduchem izolovaného odpojovače SDF a poté spolehlivostní výpočet vypínače LTB. Z obdržných parametrů od výrobce pro jednotlivé komponenty odpojovače, které jsou uvedeny v tabulce 26, je nutno spočítat spolehlivost odpojovače.

Tab. 26 Spolehlivostní parametry komponent odpojovače SDF

| číselné označení | komponenty | funkce | $Q_{(t)}$ - Pravděpodobnost poruchy | $R_{(t)}$ - Pravděpodobnost bezporuchového provozu |
|------------------|--|--|--|---|
| 1 | motor | pohybový moment pro ramena odpojovače | 0,0001 | 0,9999 |
| 2 | Gear train (převody) | přenos momentu z motoru na výstupní hřídel | 0,00001 | 0,99999 |
| 3 | Lead screw (vodící šroub) | převod rotačního momentu na lineární moment | 0,00001 | 0,99999 |
| 4 | Cam profile (vačka) | Převod lineárního momentu na rotační moment | 0,00001 | 0,99999 |
| 5 | Auxiliary switch (pomocný spínač) | hlídá koncové polohy hlavních kontaktů | 0,0001 | 0,9999 |
| 6 | Serrated shaft (ozubená hřídel) | přenos krouticího momentu z vačky na odpojovač | 0,001 | 0,999 |
| 7 | Electrical components (elektrické komponenty) | kontrola a sledování funkce | 0,0001 | 0,9999 |
| 8 | Enclosure box (zapouzdřený box) | chrání zapouzdřené zařízení před účinky okolí | 0,00001 | 0,99999 |
| 9 | Sealing (těsnění) | chrání zařízení proti účinkům z okolí | 0,0001 | 0,9999 |
| 10 | Levers (páky) | přenos krouticího momentu | 0,0001 | 0,9999 |
| 11 | Links rods with rod ends (spojení táhel s koncovým táhlem) | přenos sil | 0,0001 | 0,9999 |
| 12 | Clamps (svorky) | přenos krouticího momentu | 0,00001 | 0,99999 |
| 13 | Operating rod (provozní tyč) | přenos krouticího momentu | 0,00001 | 0,99999 |

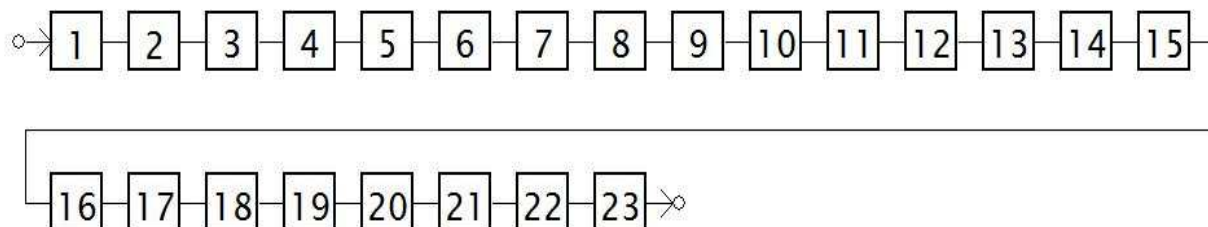
| | | | | |
|----|------------------------------------|--|---------|---------|
| 14 | Structure (konstrukce) | podpora pole a pohonu | 0,0001 | 0,9999 |
| 15 | Contacts (kontakty) | přenos proudu | 0,0001 | 0,9999 |
| 16 | Support bracket (podpěra) | podpěra zemnicího kontaktu | 0,00001 | 0,99999 |
| 17 | Clamp (svěrka) | přenos krouticího momentu | 0,00001 | 0,99999 |
| 18 | Bearing (ložisko) | umožňuje volný rotační pohyb | 0,00001 | 0,99999 |
| 19 | Seal (těsnění) | ochrana ložiska proti povětrnostním podmínkám | 0,00001 | 0,99999 |
| 20 | Insulator (izolátor) | izoluje rám od proudové dráhy | 0,00001 | 0,99999 |
| 21 | Current path (proudová dráha) | přenos proudu mezi dvěma pevnými kontakty | 0,00001 | 0,99999 |
| 22 | Finger contacts (prstové kontakty) | Přenos proudu mezi pevným kontaktem a pohyblivým kontaktem | 0,00001 | 0,99999 |
| 23 | Fixed contact (pevný kontakt) | přenos proudu na sběrnici | 0,00001 | 0,99999 |

zdroj [5]

Příklad výpočtu bezporuchového provozu $R_{(t)}$ pro určitou součást odpojovače, např. kontakty:

$$R_{(t)} = 1 - Q_{(t)} = 1 - 0,00001 = 0,99999$$

Spolehlivostní schéma k výpočtu spolehlivosti vzduchem izolovaného odpojovače je sériové spojení výše uvedených komponent. Sériové řazení prvků značí, že porucha jakéhokoliv prvku způsobí poruchu celého systému. Jednotlivým komponentám je přiřazeno číslo, pod kterým jsou uvedeny ve spolehlivostním schématu uvedeném na obrázku



Obr. 22 Spolehlivostní schéma SDF

Výpočet pravděpodobnosti poruchy odpojovače:

$$\begin{aligned}
 Q_{SDF} &= 1 - R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 R_6 R_7 R_8 R_9 R_{10} R_{11} R_{12} R_{13} R_{14} R_{15} R_{16} R_{17} R_{18} R_{19} R_{20} R_{21} R_{22} R_{23} \\
 &= 1 - 0,9999 * 0,99999 * 0,99999 * 0,99999 * 0,9999 * 0,999 * 0,9999 \\
 &\quad * 0,99999 * 0,9999 * 0,9999 * 0,9999 * 0,99999 * 0,99999 * 0,9999 \\
 &\quad * 0,9999 * 0,99999 * 0,99999 * 0,99999 * 0,99999 * 0,99999 * 0,99999 \\
 &\quad * 0,99999 * 0,99999 = 1 - 0,99806 = 0,001939 = 1,939 * 10^{-3}
 \end{aligned}$$

Výpočet pravděpodobnosti bezporuchového provozu odpojovače

$$\begin{aligned}
 R_{SDF} &= R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 R_6 R_7 R_8 R_9 R_{10} R_{11} R_{12} R_{13} R_{14} R_{15} R_{16} R_{17} R_{18} R_{19} R_{20} R_{21} R_{22} R_{23} \\
 &= 0,9999 * 0,99999 * 0,99999 * 0,99999 * 0,9999 * 0,999 * 0,9999 \\
 &\quad * 0,99999 * 0,9999 * 0,9999 * 0,9999 * 0,99999 * 0,99999 * 0,9999 \\
 &\quad * 0,9999 * 0,99999 * 0,99999 * 0,99999 * 0,99999 * 0,99999 * 0,99999 \\
 &\quad * 0,99999 * 0,99999 = 0,99806
 \end{aligned}$$

Nyní uvedu výpočet střední doby mezi poruchami (MTBF) pro odpojovač, který je zásadní pro další posuzování spolehlivosti v práci. Nejprve však musím vypočítat intenzitu poruch λ . Dobu t volím pro všechny výpočty 15 let.

$$R_{(SDF)} = e^{-\lambda t}$$

$$0,99806 = e^{-15\lambda}$$

$$-15\lambda = \log_e(0,99806)$$

$$\lambda = 0,00013$$

Ze získané intenzity poruch λ nyní provedu výpočet parametru MTBF:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

$$MTBF = \frac{1}{0,00013} = 7692,3 \text{ let}$$

Rovněž i vypínač je tvořen celou řadou dílčích komponent. Tyto dílčí spolehlivosti vypínače mi však nejsou známi, neboť jsem obdržel od výrobce spolehlivost vypínače jako celku. V tabulce 27 jsou uvedeny získané hodnoty pro vypínač od výrobce.

Tab. 27 Spolehlivostní parametry vypínače LTB

| | intenzita poruch λ | střední doba mezi poruchami MTBF [roky] |
|----------------|----------------------------|---|
| závažné závady | 0,13 | 7,69 |
| lehké závady | 0,3 | 3,33 |

zdroj [5]

Lehké závady jsem ve výpočtu neuvažoval, neboť neovlivňují přímo správnou funkci vypínače. Těmito závadami mohou být větší vůle v pohyblivých spojích, lehké úniky SF₆,

apod. V případě včasného neodstranění těchto drobných závad, může dojít k akumulaci, která dle charakteru může ovlivnit správnou funkci vypínače nebo výrazně snížit dobu provozu. V dalším výpočtu budu uvažovat pouze závažné závady. Ze známé intenzity poruch λ pro závažné závady musím spočítat pravděpodobnost bezporuchového provozu vypínače $R_{(t)}$, jelikož v kapitole 3.2 je vypínač zahrnut do výpočtu spolehlivosti odbočky rozvodny. Dobu sledovaného období t jsem zvolil 15 let.

$$R_{(LTB)} = R_3 = e^{-\lambda t} = e^{-0,13 \cdot 15} = 0,14227$$

Pravděpodobnost poruchy vypínače je:

$$Q_{(LTB)} = 1 - R_{(LTB)} = 1 - 0,14227 = 0,85773$$

3.3 Výpočet spolehlivosti odbočky AIS

S využitím spolehlivostí spočtených v kapitole 3.2 nyní spočtu spolehlivost odbočky. Spolehlivost odbočky je důležitá pro další porovnání technologie, neboť technologie GIS a HIS představuje jednu odbočku.

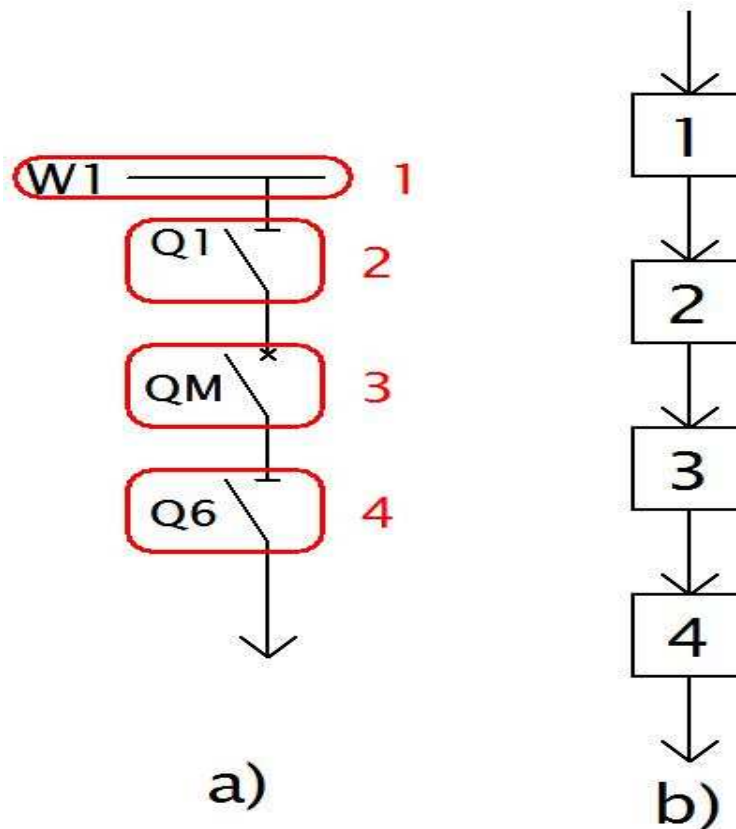
Odbočka představuje sériové spojení přípojnice, dvou odpojovačů a jednoho vypínače při zanedbání svodičů přepětí, přístrojových transformátorů a propojek mezi přístroji. Přístrojové transformátory lze zanedbat, neboť z hlediska spolehlivosti nepředstavují výraznější riziko.

Spolehlivostní schéma odbočky je na obrázku 23.

Užiji exponenciálního rozdělení, jelikož je v energetice nejpoužívanější, rovněž i výrobci s ním pracují.

Exponenciální rozdělení dovoluje analytické řešení i poměrně složitých systémů. Rozdělení se používá u zařízení, které se nachází v období normálního provozu. Předpokládá se proto, že se na zařízení neprojevuje degradace, opotřebení či stárnutí nebo že jsou tyto nepříznivé vlivy zamezeny vhodnou údržbou či výměnou zařízení.

Další možnosti využití jsou popsány v literatuře pod označením [1].



Obr. 23 a) zjednodušené schéma odbočky, b) spolehlivostní schéma odbočky

Pravděpodobnost bezporuchového provozu odbočky se spočte podle následujícího vzorce

$$R_{(AIS)} = R_1 R_2 R_3 R_4$$

po dosažení pravděpodobnosti bezporuchového provozu odpojovače SDF, který je výše uveden do vzorce za R_2 a R_4 , dosažením pravděpodobnosti bezporuchového provozu přípojnice $R_1 = 0,99999$, viz kapitola 3.1 a vypínače $R_3 = 0,14227$ získáme:

$$R_{(AIS)} = 0,99999 * 0,99806 * 0,14227 * 0,99806 = 0,14172$$

Z výsledné hodnoty pravděpodobnosti bezporuchového provozu odbočky vypočtu intenzitu poruch λ pro odbočku.

$$R_{(AIS)} = e^{-\lambda t}$$

$$0,14172 = e^{-15\lambda}$$

$$-15\lambda = \log_e(0,14172)$$

$$\lambda = 0,13026$$

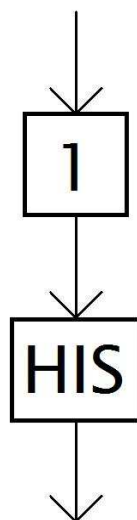
Z vypočtené intenzity poruch λ pro odbočku nyní vypočtu střední dobu mezi poruchami MTBF pro odbočku.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

$$MTBF = \frac{1}{0,13026} = 7,67695 \text{ let}$$

3.4 Spolehlivost odbočky HIS

Jak je patrné z obrázku 4, technologie HIS představuje spojení vzduchem izolované přípojnice a plynem SF₆ izolovaných přístrojů. Toto spojení je sériové a je uvedeno na obrázku 24.



Obr. 24 Spolehlivostní schéma odbočky HIS

Uvedu zde výpočet zahrnující pouze technologii HIS bez uvažování spolehlivosti přípojnice a poté zde uvedu výpočet zohledňující spolehlivost přípojnice vycházející z obrázku 24. Spolehlivostní parametry jsem získal od výrobce a jsou uvedeny níže v tabulce 28. Rovněž využiji exponenciálního rozdělení jako při výpočtu spolehlivosti vypínače v kapitole 3.3 a budu uvažovat pouze závažné závady. Dobu pro výpočet jsem zvolil stejně jako v kapitole 3.3, tj. $t=15$ let.

Tab. 28 Spolehlivostní parametry odbočky HIS PASS MO

| | intenzita poruch λ | střední doba mezi poruchami MTBF [roky] |
|----------------|----------------------------|--|
| závažné závady | 0,0071 | 140,8 |
| lehké závady | 0,0373 | 26,8 |

zdroj [5]

Výpočet pravděpodobnosti bezporuchového provozu technologie HIS ze známé intenzity poruch λ :

$$R_{(HIS)} = e^{-\lambda t} = e^{-0,0071 \cdot 15} = 0,89896$$

Výpočet pravděpodobnosti poruchy technologie HIS:

$$Q_{(HIS)} = 1 - R_{(t)} = 1 - 0,89896 = 0,10103$$

Výše jsem uvedl zjednodušený výpočet spolehlivosti technologie HIS, ten by však nebyl zcela korektní, jelikož technologie HIS má vzduchem izolované přípojnice, proto níže uvedu spolehlivostní výpočet, jenž zahrnuje tuto skutečnost a vychází z obrázku 24. Spolehlivost přípojnice volím stejně jako v kapitole 3.3 a to $R_1 = 0,99999$. Pravděpodobnost bezporuchového provozu technologie HIS je poté:

$$R_{(HIS+přípojnice)} = R_1 * R_{(HIS)} = 0,99999 * 0,89896 = 0,89895$$

Pravděpodobnost poruchy technologie HIS je:

$$Q_{(HIS+přípojnice)} = 1 - R_{(HIS+přípojnice)} = 1 - 0,89895 = 0,10105$$

Nyní spočtu parametr MTBF pro technologii HIS se spolehlivostí přípojnice. Dobu t opět volím 15 let.

$$R_{(HIS+přípojnice)} = e^{-\lambda t}$$

$$0,89895 = e^{-15\lambda}$$

$$-15\lambda = \log_e(0,89895)$$

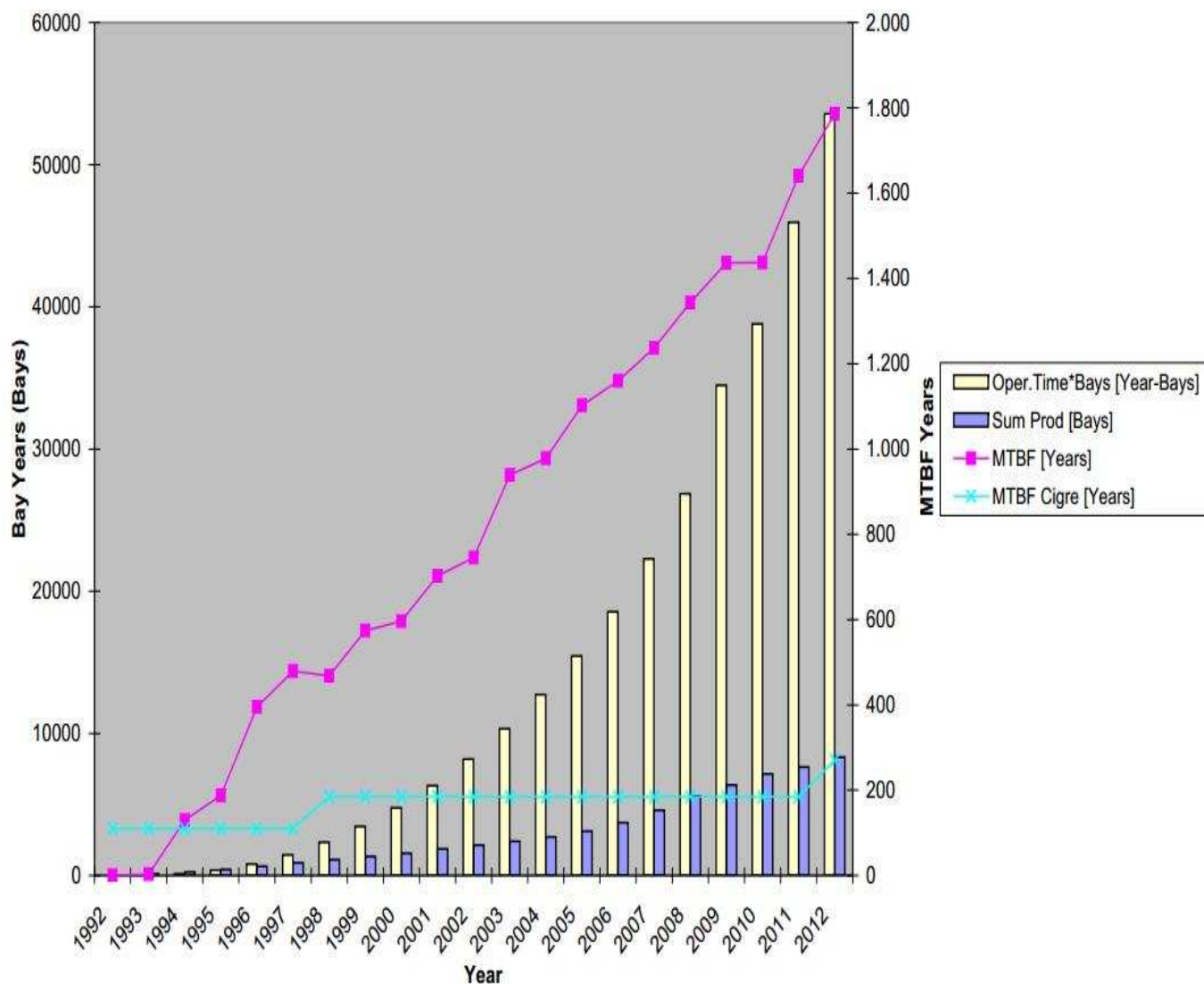
$$\lambda = 0,007102$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda}$$

$$MTBF = \frac{1}{0,007102} = 140,8 \text{ let}$$

3.5 Spolehlivost odbočky GIS

Spolehlivostní parametry pro technologii odbočky GIS byly získány přímo od výrobce. Ze získaných dat od společnosti ABB lze vyčíst, že parametr střední doby mezi poruchami (MTBF) pro jedno pole je přibližně 300 let, čemuž odpovídá intenzita poruch $\lambda = 0,0033$.



Obr. 25 Střední doba do poruchy GIS [5]

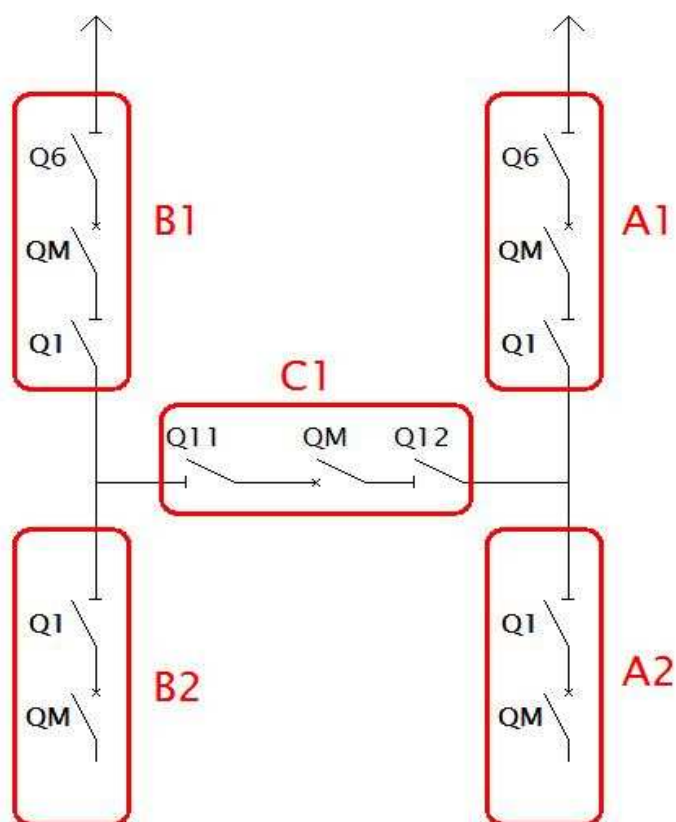
Tab. 29 Porovnání spolehlivostních ukazatelů odbočky jednotlivých technologií

| | MTBF [roky] | λ |
|-----|-------------|-----------|
| AIS | 7,68 | 0,1303 |
| HIS | 140,8 | 0,0071 |
| GIS | 300 | 0,0033 |

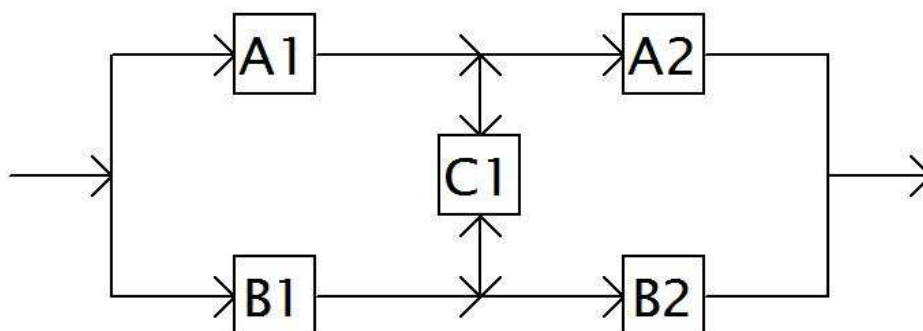
3.6 Spolehlivost rozvodny H-schématu

Pro rozvodnu v zapojení H-schématu je nevhodnější využít metodu minimálních řezů, jak je popsáno ve zdroji [8]. Metoda spočívá v určení prvků, které při vzájemné poruše způsobí poruchu systému. Pokud však jediný prvek z tohoto systému nemá poruchu, poté nemá poruchu ani celý systém.

Zjednodušené spolehlivostní schéma je vyznačeno na obrázku 27. Z obrázku 26 je patrné, že pod označením A1, B1 a C1 je vždy sériové spojení vypínače a dvou odpojovačů. Pod označení A2, B2 je sériové spojení vypínače a odpojovače.

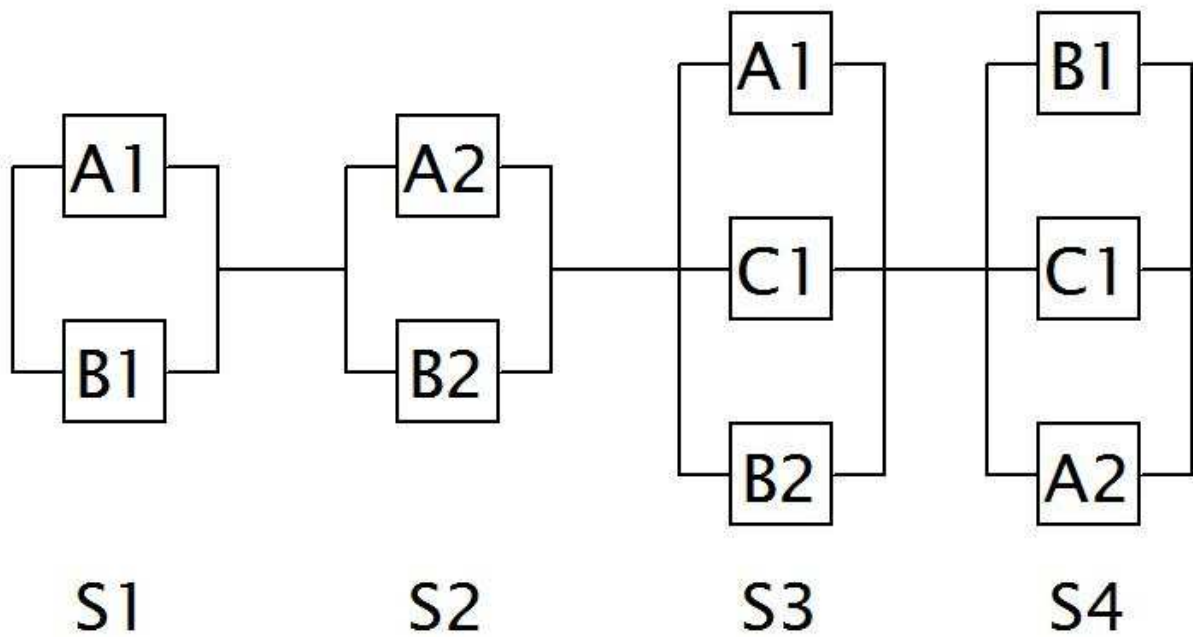


Obr. 26 Názorné označení prvků pro spolehlivostní výpočet



Obr. 27 Zjednodušené spolehlivostní schéma

Využitím metody nejmenších řezů získáme schéma pro výpočet spolehlivosti znázorněné na obrázku 28. Z uvedeného obrázku je patrné, že po aplikování metody vzniknou čtyři minimální řezy. Výsledné schéma je kombinací sério-paralelního spojení prvků.



Obr. 28 Schéma minimálních řezů

Jednotlivé řezy jsou vyznačeny na obrázku 28 pod označením S1-S4. Pravděpodobnost poruchy prvků v jednom řezu budou nadále značeny $P(S_i)$. Pro naše schéma minimálních řezů dostaneme:

$$P(S1) = Q_{A1}Q_{B1}$$

$$P(S2) = Q_{A2}Q_{B2}$$

$$P(S3) = Q_{A1}Q_{C1}Q_{B2}$$

$$P(S4) = Q_{B1}Q_{C1}Q_{A2}$$

Pravděpodobnost poruchy systému pro n řezů je definována vztahem:

$$Q_S = P(C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_i \cup \dots \cup C_n)$$

po úpravě pro výše uvedené schéma získáme:

$$Q_S = P(S_1 \cup S_2 \cup S_3 \cup S_4)$$

jelikož jsou některé prvky obsaženy ve více řetězech, je nutno využít závislost jednotlivých řezů

$$\begin{aligned} Q_S = & P(S1) + P(S2) + P(S3) + P(S4) - P(S1 \cap S2) - P(S1 \cap S3) - P(S1 \cap S4) \\ & - P(S2 \cap S3) - P(S2 \cap S4) - P(S3 \cap S4) + P(S1 \cap S2 \cap S3) \\ & + P(S1 \cap S2 \cap S4) + P(S1 \cap S3 \cap S4) + P(S2 \cap S3 \cap S4) - P(S1 \cap S2 \\ & \cap S3 \cap S4) \end{aligned}$$

po dosazení do rovnice získáme vztah:

$$Q_S = Q_{A1}Q_{B1} + Q_{A2}Q_{B2} + Q_{A1}Q_{C1}Q_{B2} + Q_{B1}Q_{C1}Q_{A2} - Q_{A1}Q_{B1}Q_{A2}Q_{B2} - Q_{A1}Q_{B1}Q_{B2}Q_{C1} - Q_{A1}Q_{B1}Q_{A2}Q_{C1} - Q_{A1}Q_{A2}Q_{B2}Q_{C1} - Q_{B1}Q_{A2}Q_{B2}Q_{C1} + 2Q_{A1}Q_{B1}Q_{A2}Q_{B2}Q_{C1}$$

dosazením jednotlivých prvků označených na obrázku 26, získáme:

$$\begin{aligned} Q_S = & (Q_6Q_MQ_1)(Q_6Q_MQ_1) + (Q_1Q_M)(Q_1Q_M) + (Q_6Q_MQ_1)(Q_{11}Q_MQ_{12})(Q_1Q_M) \\ & + (Q_6Q_MQ_1)(Q_{11}Q_MQ_{12})(Q_1Q_M) - (Q_6Q_MQ_1)(Q_6Q_MQ_1)(Q_1Q_M)(Q_1Q_M) \\ & - (Q_6Q_MQ_1)(Q_6Q_MQ_1)(Q_1Q_M)(Q_{11}Q_MQ_{12}) \\ & - (Q_6Q_MQ_1)(Q_6Q_MQ_1)(Q_1Q_M)(Q_{11}Q_MQ_{12}) \\ & - (Q_6Q_MQ_1)(Q_1Q_M)(Q_1Q_M)(Q_{11}Q_MQ_{12}) \\ & - (Q_6Q_MQ_1)(Q_1Q_M)(Q_1Q_M)(Q_{11}Q_MQ_{12}) \\ & + 2[(Q_6Q_MQ_1)(Q_6Q_MQ_1)(Q_1Q_M)(Q_1Q_M)(Q_{11}Q_MQ_{12})] \end{aligned}$$

Pro výpočet spolehlivosti rozvodny H-schématu jsem využil programu MATLAB. Dosazením dílčích spolehlivostí do výše uvedeného vzorce, jsem získal pravděpodobnost poruchy systému rozvodny:

$$Q_S = 2,76604 * 10^{-6}$$

pravděpodobnost bezporuchového provozu H-schématu pak vyšel:

$$R_S = 0,999997$$

Výpis z programu MATLAB

```

clc;
format long;
q1=0.001939;
q6=0.001939;
q11=0.001939;
q12=0.001939;
qm=0.85773;
QS=(q6*qm*q1)*(q6*qm*q1)+(q1*qm)*(q1*qm)+(q6*qm*q1)*(q11*qm*q12)*(q1*qm)+(q
6*qm*q1)*(q11*qm*q12)*(q1*qm)-(q6*qm*q1)*(q6*qm*q1)*(q1*qm)*(q1*qm)-
(q6*qm*q1)*(q6*qm*q1)*(q1*qm)*(q11*qm*q12)-
(q6*qm*q1)*(q6*qm*q1)*(q1*qm)*(q11*qm*q12)-
(q6*qm*q1)*(q1*qm)*(q1*qm)*(q11*qm*q12)-
(q6*qm*q1)*(q1*qm)*(q1*qm)*(q11*qm*q12)+2*[(q6*qm*q1)*(q6*qm*q1)*(q1*qm)*(q
1*qm)*(q11*qm*q12)];
Rs=1-QS;
QS =

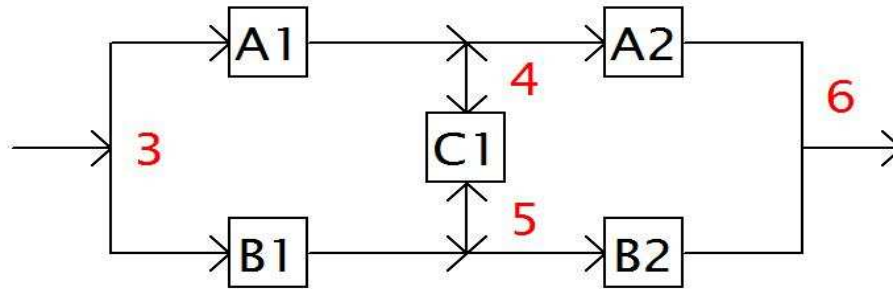
2.76604e-006

Rs =

0.999997

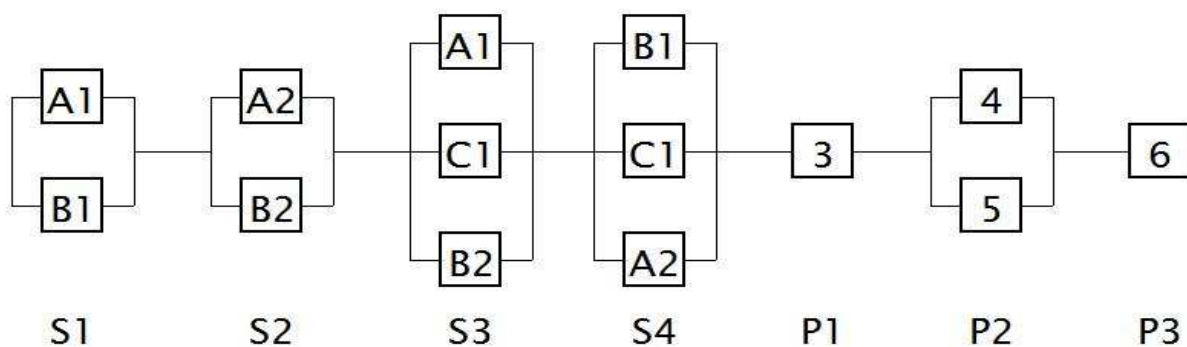
```

V případě zahrnutí i spolehlivosti přípojníc, které jsou znázorněny ve spolehlivostním schématu na Obr. 29 číselným označením 3 – 6 a jsou zvýrazněny červenou barvou, by spolehlivostní schéma vypadalo následovně.



Obr. 29 Spolehlivostní schéma s vyznačenými přípojnici

Při využití metody nejmenších řezů, bude schéma pro další výpočet vypadat následovně.



Obr. 30 Metoda nejmenších řezů s přípojnici

Rovněž i výše uvedené vzorce musí být rozšířeny o spolehlivost přípojníc

$$\begin{aligned}
 Q_S = & P(S1) + P(S2) + P(S3) + P(S4) - P(S1 \cap S2) - P(S1 \cap S3) - P(S1 \cap S4) \\
 & - P(S2 \cap S3) - P(S2 \cap S4) - P(S3 \cap S4) + P(S1 \cap S2 \cap S3) \\
 & + P(S1 \cap S2 \cap S4) + P(S1 \cap S3 \cap S4) + P(S2 \cap S3 \cap S4) \\
 & - P(S1 \cap S2 \cap S3 \cap S4) + P(P1) + P(P2) + P(P3) - P(P1 \cap P2) \\
 & - P(P1 \cap P3) - P(P2 \cap P3) + P(P1 \cap P2) + P(P1 \cap P3) + P(P2 \cap P3) \\
 & - P(P1 \cap P2 \cap P3)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_S = & Q_{A1}Q_{B1} + Q_{A2}Q_{B2} + Q_{A1}Q_{C1}Q_{B2} + Q_{B1}Q_{C1}Q_{A2} - Q_{A1}Q_{B1}Q_{A2}Q_{B2} - Q_{A1}Q_{B1}Q_{B2}Q_{C1} \\
 & - Q_{A1}Q_{B1}Q_{A2}Q_{C1} - Q_{A1}Q_{A2}Q_{B2}Q_{C1} - Q_{B1}Q_{A2}Q_{B2}Q_{C1} + 2Q_{A1}Q_{B1}Q_{A2}Q_{B2}Q_{C1} \\
 & + Q_3 + Q_4Q_5 + Q_6 - Q_3Q_4Q_5 - Q_3Q_6 - Q_4Q_5Q_6 + Q_3Q_4Q_5 + Q_3Q_6 \\
 & + Q_4Q_5Q_6 - Q_3Q_4Q_5Q_6
 \end{aligned}$$

po dosazení prvků

$$\begin{aligned}
Q_S = & (Q_6 Q_M Q_1)(Q_6 Q_M Q_1) + (Q_1 Q_M)(Q_1 Q_M) + (Q_6 Q_M Q_1)(Q_{11} Q_M Q_{12})(Q_1 Q_M) \\
& + (Q_6 Q_M Q_1)(Q_{11} Q_M Q_{12})(Q_1 Q_M) - (Q_6 Q_M Q_1)(Q_6 Q_M Q_1)(Q_1 Q_M)(Q_1 Q_M) \\
& - (Q_6 Q_M Q_1)(Q_6 Q_M Q_1)(Q_1 Q_M)(Q_{11} Q_M Q_{12}) \\
& - (Q_6 Q_M Q_1)(Q_6 Q_M Q_1)(Q_1 Q_M)(Q_{11} Q_M Q_{12}) \\
& - (Q_6 Q_M Q_1)(Q_1 Q_M)(Q_1 Q_M)(Q_{11} Q_M Q_{12}) \\
& - (Q_6 Q_M Q_1)(Q_1 Q_M)(Q_1 Q_M)(Q_{11} Q_M Q_{12}) \\
& + 2[(Q_6 Q_M Q_1)(Q_6 Q_M Q_1)(Q_1 Q_M)(Q_1 Q_M)(Q_{11} Q_M Q_{12})] + Q_{P3} + Q_{P4} Q_{P5} \\
& + Q_{P6} - Q_{P3} Q_{P4} Q_{P5} - Q_{P3} Q_{P6} - Q_{P4} Q_{P5} Q_{P6} + Q_{P3} Q_{P4} Q_{P5} + Q_{P3} Q_{P6} \\
& + Q_{P4} Q_{P5} Q_{P6} - Q_{P3} Q_{P4} Q_{P5} Q_{P6}
\end{aligned}$$

Po dosazení všech hodnot za jednotlivé prvky a pravděpodobnosti poruchy přípojnice $Q_{Pn}=0,000001$, získáme pravděpodobnost poruchy rozvodny s přípojnici Q_S :

$$Q_S = 2,27661 * 10^{-5}$$

a pravděpodobnost bezporuchového provozu rozvodny

$$R_S = 0,99998$$

Výpis z programu MATLAB

```

clc
format long;
q1=0.001939;
q6=0.001939;
q11=0.001939;
q12=0.001939;
qm=0.85773;
qP3=0.00001;
qP4=0.00001;
qP5=0.00001;
qP6=0.00001;
Qs=(q6*qm*q1)*(q6*qm*q1)+(q1*qm)*(q1*qm)+(q6*qm*q1)*(q11*qm*q12)*(q1*qm)+(q
6*qm*q1)*(q11*qm*q12)*(q1*qm)-(q6*qm*q1)*(q6*qm*q1)*(q1*qm)*(q1*qm)-
(q6*qm*q1)*(q6*qm*q1)*(q1*qm)*(q11*qm*q12)-
(q6*qm*q1)*(q6*qm*q1)*(q1*qm)*(q11*qm*q12)-
(q6*qm*q1)*(q1*qm)*(q1*qm)*(q11*qm*q12)-
(q6*qm*q1)*(q1*qm)*(q1*qm)*(q11*qm*q12)+2*[(q6*qm*q1)*(q6*qm*q1)*(q1*qm)*(q
1*qm)*(q11*qm*q12)]+qP3+(qP4*qP5)+qP6-(qP3*qP4*qP5)-(qP3*qP6)-
(qP4*qP5*qP6)+(qP3*qP4*qP5)+(qP3*qP6)+(qP4*qP5*qP6)-(qP3*qP4*qP5*qP6)
Qs =
2.27661e-005
Rs=1-Qs
Rs =

0.99998

```

4. Posouzení technologie rozvodny

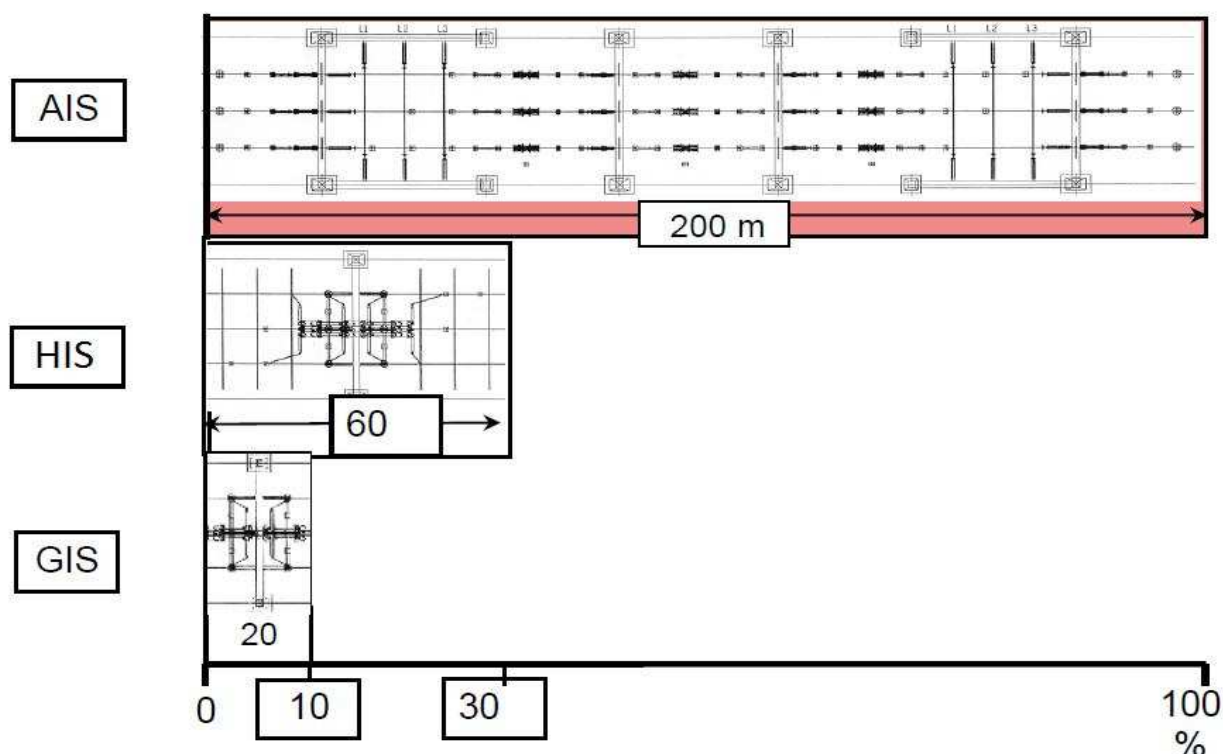
V následující kapitole bude posouzena technologie z hlediska prostorové náročnosti, ekologie, časové náročnosti realizace stavby, spolehlivosti a ceny.

4.1 Posouzení rozvodny z hlediska prostorové náročnosti

Lokace je jedním z klíčových prvků při výběru technologie. Investor musí zvážit dva hlavní aspekty. První aspekt je velikost pozemku a druhý aspekt je okolní prostředí, obzvláště pak bude li rozvodna vnitřní nebo venkovní.

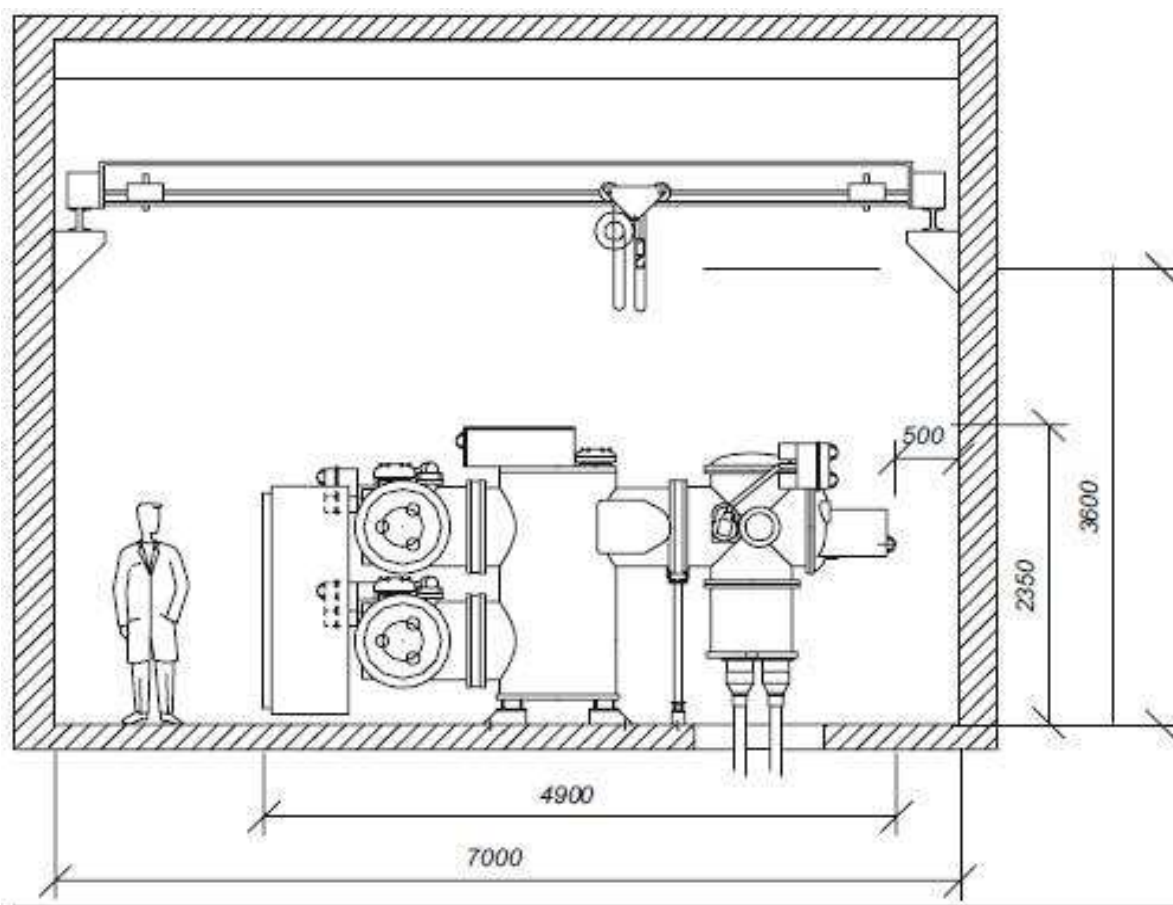
Pro vnitřní rozvodnu je nejvhodnější využít technologii GIS, jelikož její velikost je nejmenší i konstrukce rozvodny je z lehkých materiálů. Rovněž je GIS vhodná na venkovní provedení ve znečištěném prostředí. Vnitřní rozvodnu lze vytvořit i s použitím technologie HIS. Nejméně vhodnou technologií je technologie AIS s ohledem na její velikost.

Na obr.31 můžeme vidět srovnání prostorové náročnosti rozvodn různých technologií. Z uvedeného obrázku je patrné, že technologie GIS představuje 10 % z plochy technologie AIS. Technologie HIS představuje 30 % zastavěné plochy oproti AIS.



Obr. 31 Porovnání prostorové náročnosti rozvodny, [3]

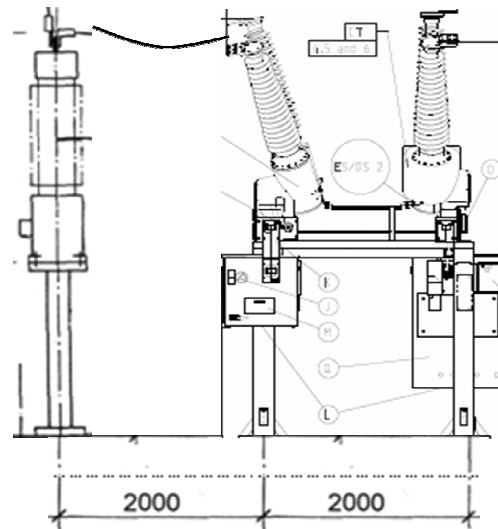
Řez polem GIS



Obr. 32 Rozměry pole GIS s dvojitým systémem přípojnic

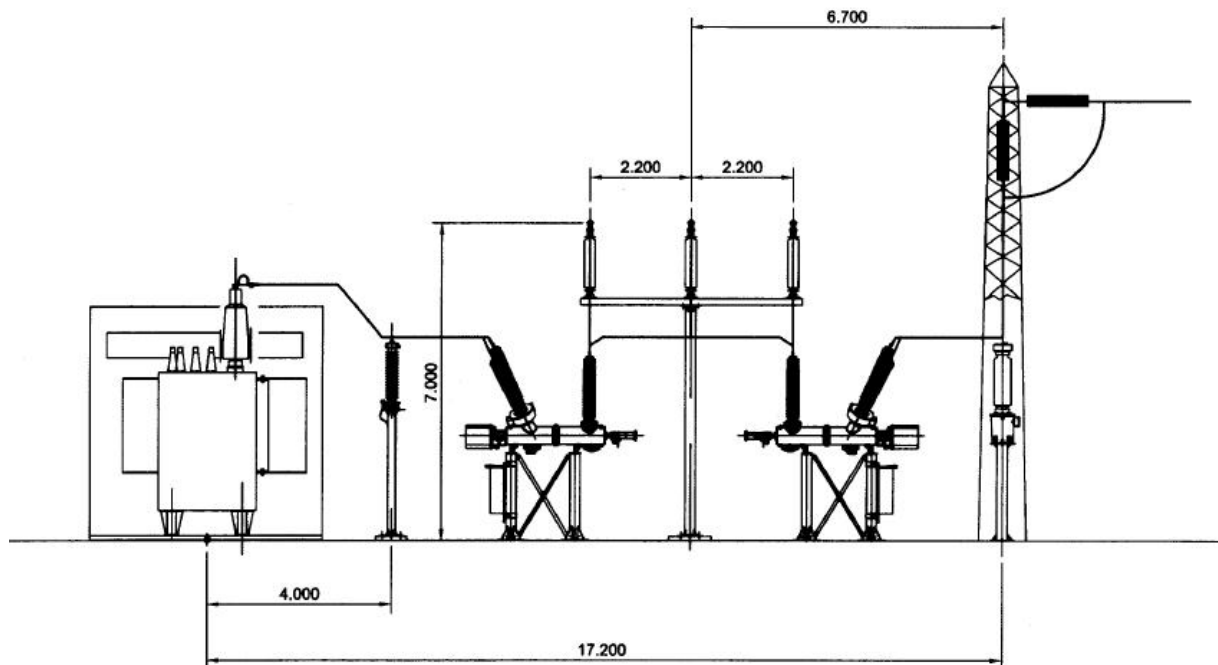
Na obrázku 34 je znázorněn řez rozvodnou AIS v rozšířeném zapojení typu H.

Řez polem HIS



Obr. 35 Rozměry technologie HIS

Na obrázku 35 jsou znázorněny rozměry technologie HIS včetně měřícího transformátoru napětí (MTN) umístěného na obrázku vlevo. Tato sestava se používá, pokud integrovaný měřící transformátor neodpovídá požadavku odběratele.



Obr. 36 Řez polem HIS

4.2 Posouzení rozvodny z hlediska životního prostředí

Pro posouzení z hlediska životního prostředí je zapotřebí zvážit vhodnost technologie pro dané prostředí, dopad na krajinu, hluk, úniky provozních médií a elektromagnetická pole. Vhodnost technologie a dopad na krajinu je úzce spojena se zastavěnou plochou, množstvím výkopových prací, dopadem na povrchovou a spodní vodu. Nejvýznamnějším producentem hluku jsou vzduchem izolované odpojovače a vypínače. Dalším výrazným zdrojem hluku jsou částečné výboje koróny. Technologie GIS a HIS představuje výrazné omezení hluku, neboť jsou zapouzdřené a izolační plyn SF₆ je výrazný zvukový absorbér. Možnost úniku provozních látek není vyloučena u žádné z technologií, nicméně pravděpodobnost úniku je zvýšena u technologie GIS, neboť má větší plochu pláště a tedy i potenciálních míst pro únik. Elektromagnetické pole je způsobeno především průtokem proudu a uspořádáním rozvodny. U technologie GIS je úroveň pole zcela zanedbatelná, protože je pole odstíněno uzemněnou nádobou. U technologie AIS může být zvýšena intenzita pole, nicméně jen v areálu rozvodny.

4.3 Porovnání rozvodny z hlediska časové náročnosti realizace stavby

Časový aspekt intervalu od zadání poptávky po připojení rozvodny do provozu bývá jedním z kritérií pro výběr technologie. Obecně je snaha od výrobců časový interval minimalizovat pro všechny technologie. Dosahuje se toho maximální předmontovaností komponent a co nejvyšší možnou shodou zařízení ve všech technologiích. Avšak i tak je velký rozdíl v časovém intervalu pro technologie. Rozdíl je způsoben dobou přípravy, transportu, výstavby a uvedení do provozu. Doba přípravy je výrazně kratší pro HIS a GIS, neboť tyto technologie jsou dodávány jako komplet s minimálními individuálními úpravami. Technologie AIS je časově dosti náročná už kvůli možným individuálním přizpůsobením zákazníkovi.

Doba transportu je rovněž kratší pro HIS a GIS, jelikož představují kompaktní moduly o malých rozměrech.

Doba výstavby je ovlivněna množstvím předmontovaných dílů a množstvím dílů jednotlivě přepravovaných. V tomto aspektu má rovněž výhodu HIS a GIS. Uvedení do provozu je závislé na množství a složitosti testů. Technologie AIS představuje nejnáročnější testování, protože dovoluje velké množství individuálních přizpůsobení a kombinace technologie od různých výrobců. Proto je třeba provést testy na vzájemné rušení vypínačů, odpojovačů, měřících zařízení, signalizace atd.

4.4 Porovnání rozvodny z hlediska spolehlivosti

Spolehlivost je jeden z nejdůležitějších parametrů pro výběr rozvodny. Spolehlivost je ovlivněna zejména zařízeními přerušujícími proudovou dráhu. Zařízení musí být schopny přerušit velké výkony i v nejméně příznivých podmínkách. Tato zařízení jsou namáhána

tepelnými a dynamickými účinky. Velmi vážným faktorem spolehlivosti rozvodny jsou poruchy na přípojnicích, schopné vyřadit celou rozvodnu z provozu.

Vzhledem k výrobním cenám, spolehlivosti a výrobním kapacitám jsou komponenty maximálně shodné ve všech technologiích. Například vypínač je použit totožný pro všechny technologie. Spolehlivost rozvodny je nejvíce ovlivněna množstvím nezapouzdřených prvků, zejména pak vypínačem.

Nejspolehlivější technologie je proto technologie GIS, která je umístěna v budově. Tato technologie má vynikající izolační vlastnosti. Nepodléhá korozi ani znečištění prostředím. Pravděpodobnost úmyslného poškození je rovněž omezena. Druhou nejspolehlivější technologií je technologie HIS. Spolehlivost oproti GIS je snížena o nezapouzdřené prvky a vodiče, které podléhají korozi a povětrnostním a znečišťujícím vlivům. Nejméně spolehlivou technologií je technologie AIS, která je vystavena znečištění, povětrnostním vlivům a korozi. Může být rovněž terčem vandalismu.

Tyto teoretické předpoklady jsem ověřil výpočtem v bodě 3 zadání. K dispozici jsem měl spolehlivostní parametry od dvou výrobců. Použitelné se však ukázaly být pouze jedny. U druhého výrobce byly neúplné. Jednak kvůli přejímání výroby a jednak kvůli krátké době vyhodnocování. Jednoznačně nejspolehlivější je technologie GIS, která má více než dvojnásobnou dobu mezi poruchami oproti HIS a 39 x vyšší než technologie AIS. Technologie AIS je nejvíce ovlivněna spolehlivostí vypínače, který má dobu mezi poruchami pouze 7,69 roků.

Výhodou HIS a GIS je, že technologie je navržena, vyrobena a odzkoušena jedním výrobcem. Výhodou a zároveň nevýhodou je, že doba života je určena pro celé zařízení, bez ohledu na opotřebení jednotlivých komponent. Technologie AIS představuje v tomto aspektu výhodu, jelikož je zohledněno individuální opotřebení komponent a vyměňuje se pouze postižená komponenta.

Z hlediska seismické odolnosti je nejlepší řešením technologie GIS, která je robustnější. Technologie HIS je rovněž odolnější než technologie AIS, která je nejvíce zranitelná.

4.5 Porovnání rozvodny z hlediska ceny

Pro potřeby rozvodny určujeme tzv. náklady za život (LCC-Life Cycle Cost). Tyto náklady jsou dány cenou za nákup technologie, provozními náklady a náklady na likvidaci.

Náklady za život lze stanovit ze vzorce

$$LCC = \text{cena}_{\text{nákupu}} + \text{cena}_{\text{provozu}} + \text{cena}_{\text{likvidace}}$$

Cenové kalkulace, ke kterým jsem měl přístup, jsou dále nešifrovatelné, proto v následující tabulce uvedu pouze procentuální porovnání ceny za jednotlivé technologie. Řádky označené hvězdičkou byly uvedeny za metr čtvereční rozvodny. Já jsem neměl k dispozici celkové rozměry rozvodny pro jednotlivé technologie, proto jsem tyto kalkulace vztáhl na

procentuální porovnání rozměrů polí jednotlivých technologií uvedené v kapitole 4.1. Cenu za údržbu jsem odvodil z intervalů mezi jednotlivými údržbami. U technologie AIS činí interval 4 roky, u technologie HIS je interval 8 let a u GIS je doporučen každých 20 let, ale nyní se provádí každých 12 let.

Tab. 29 Porovnání nákladů technologií

| doba života | 40 let | | |
|---------------------------------------|--|-----|-----|
| | cena v procentech vztažená k technologii AIS | | |
| | AIS | HIS | GIS |
| pořizovací cena | 100 | 139 | 240 |
| plocha pozemku | 100 | 30 | 10 |
| hrubé terénní úpravy a stavební práce | 100 | 30 | 10 |
| silové propojení vodiči v polích | 100 | 0 | 0 |
| daň z pozemku | 100 | 30 | 10 |
| údržba | 100 | 50 | 33 |
| uzemnění * | 100 | 30 | 10 |
| osvětlení * | 100 | 30 | 10 |
| celkové náklady | 500 | 39 | 23 |

Z kalkulací, do kterých jsem měl možnost nahlédnout je patrné, že u technologie AIS a HIS se cenové kalkulace liší dle využitých propojek mezi přípojnicemi a přístroji, odpojovači a transformátory. U technologie GIS se cena liší dle provedení vývodu. Pro příklad zde uvedu procentuální porovnání nákladů pro různé způsoby vyvedení.

Tab. 30 Porovnání nákladů rozvodny GIS s ohledem na vývody

| Rozvodna GIS 110 kV | | | |
|---|------------------|-------------------|-----------------|
| vývod | kabel/trubka [%] | trubka/trubka [%] | kabel/kabel [%] |
| pořizovací cena | 93 | 100 | 91 |
| budova rozvodny | 15,62 | 15,62 | 15,62 |
| obslužný jeřáb 3,5 t | 1,96 | 1,96 | 1,96 |
| součinnost zhotovitele | 0,62 | 0,62 | 0,62 |
| POK pro ukotvení přírodního vedení na budově | 0,063 | 0,063 | 0 |
| kotevní izolátorové sestavy pro ukotvení přírodního | 0,33 | 0,33 | 0 |

| | | | |
|---|--------------|--------------|----------------|
| vedení | | | |
| kotevní izolátorové sestavy na stožáru | 0,33 | 0,33 | 0 |
| realizace AIFe vedení mezi koncovým stožárem a budovou | 0,84 | 0,84 | 0 |
| výkopy pro kabelové vedení | 0 | 0 | 0,061 |
| přívodní kabel vvn mezi GIS a koncovkami na stožáru | 0 | 0 | 9,03 |
| uzemnění GIS v budově rozvodny | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| protipožární ucpávky | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| kabelové lávky nn v budově rozvodny | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| předkomplexní a komplexní zkoušky | 0,77 | 0,77 | 0,77 |
| dokončovací práce v rozvodně | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| celkové náklady | 113,9 | 120,9 | 119,431 |

Z uvedeného porovnání vývodů je zřejmé, že nejlépe vychází provedení s vývodem kabel/trubka a to o 5,5 % méně v porovnání s vývodem kabel/kabel a o 7 % méně než s vývodem trubka/trubka. Jako referenční hodnotu jsem zvolil pořizovací cenu rozvodny GIS v provedení vývodu trubka/trubka, jelikož tato hodnota byla největší položkou srovnání.

[3]

Technologie, která by byla nejvhodnější pro modernizaci či stavbu nové rozvodny, je značně ovlivněna místním prostředím, terénem a stavebními možnostmi. S přihlédnutím k výše uvedeným porovnáním v kapitolách 4.1-4.5 je zřejmé, že inovativní řešení mají řadu nesporných výhod i přes jejich vyšší náklady na pořízení. Technologie HIS je ideální náhradou za technologie AIS, neboť náklady na pořízení nejsou několikanásobně vyšší, v některých případech mohou být stejné nebo dokonce nižší. Stavební práce jsou stejného charakteru a jsou úměrné zastavěné ploše. Výborně se hodí i do rozvodn s větším počtem polí. V neposlední řadě celkové náklady za život vycházejí pro technologie HIS v porovnání s AIS velice příznivě. Technologie GIS je velmi závislá na individuálním posouzení, zejména pak se stavebními úkony nutnými pro stavbu budovy. Rovněž se nedá technologie GIS obecně doporučit do složitějších rozvodn. Technologie GIS a HIS je limitována počtem

přípojnic a to maximálně dvěma. Do rozvodu se třemi systémy přípojnic se zatím používá pouze technologie AIS.

5. Závěr

Výpočet spolehlivosti dodávky je proveden pouze pro výrobce ABB, neboť mi tento výrobce dodal kompletní a použitelné spolehlivostní parametry. Společnost Siemens dodala pouze částečné spolehlivostní parametry, které byly pro výpočet nesměrodatné. Společnost Alstom spolehlivostní parametry nedodala vůbec.

Ze získaných spolehlivostních parametrů je však patrné, že při spolehlivostním porovnání technologie je technologie GIS výrazně spolehlivější a to 39 x vyšší nežli AIS a více než dvojnásobná pro HIS. Spolehlivost technologie AIS je zásadně ovlivněna spolehlivostí vypínače, který má parametr MTBF pouze 7,69 let v porovnání s odpojovačem SDF, který má MTBF 7692,3 roků a přípojnicí, která má MTBF 1499992,5 roků.

Lze tedy usuzovat, ačkoliv to nebylo zcela zohledněno ve výpočtu, ale je to patrné z porovnání technologie HIS a GIS, že množství zapouzdřených prvků výrazně zvyšuje spolehlivost rozvodny.

Rovněž i celkové náklady za životnost rozvodny jsou příznivější pro inovativní řešení koncepce rozvodny. Technologie AIS sice umožňuje sledování jednotlivých zařízení rozvodny a jejich individuální výměnu, ale životnost prvků je pouze okolo 30 let. Technologie HIS a GIS se vyměňuje jako celek, bez ohledu na opotřebení jednotlivých zařízení, ale jejich životnost je udávána minimálně 50 let. Z toho je patrné, že za dobu života HIS a GIS uplyne téměř dvakrát život technologie AIS. To se nepříznivě projeví v celkových nákladech za život (LCC), uvedené v kapitole 4.5, neboť je nutno oproti HIS, GIS technologii AIS 2x pořídit a 2x zlikvidovat.

6. Použitá literatura

- [1] TŮMA, Jiří. *Spolehlivost v elektroenergetice*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2006?, 291 s. ISBN 80-239-6483-6.
- [2] MERTLOVÁ, Jiřina a Lucie NOHÁČOVÁ. *Elektrické stanice a vedení*. 1. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická, 2008, 168 s. ISBN 978-80-7043-724-7
- [3] WORKING GROUP B3.20. *Evaluation of different switchgear technologies (AIS, MTS, GIS) for rated voltages of 52 V and above* [online]. August 2009.
- [4] Katalog výrobce Siemens [online]. Dostupné z: <http://www.siemens.com/answers/cz/cz/>
- [5] Katalog výrobce ABB [online]. Dostupné z: <http://www.abb.cz>
- [6] Katalog výrobce SERW [online]. Dostupné z: <http://www.serw.cz/>
- [7] Katalog výrobce ALSTOM [online]. Dostupné z: <http://www.alstom.cz>
- [8] IEEE. *Reliability Analysis of Power Substation with Common Cause Failure* [online]. [cit. 2009, March 18-20, Lisabon, Portugal]

7. Použité programy

1. Microsoft Office Word
2. ProfiCAD
3. MATLAB