

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Strategie instalace automatizačních prvků do sítí VN

Bc. Jan Sika

2016/17

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2016/2017

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

Jméno a příjmení: **Bc. Jan SIKÁ**
Osobní číslo: **E15N0115P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Strategie instalace automatizačních prvků do sítí VN**
Zadávací 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 základní rozdělení poruch v sítích VN včetně metod jejich lokalizace.
2. Uveďte dostupné automatizační prvky v sítích VN, jejich funkce a použití.
3. Navrhněte strategii pro automatizaci sítí VN z pohledu zvyšování spolehlivosti dodávky elektřiny.
4. Na základě reálných poruch v síti určete nejvhodnější místa pro instalaci budoucích automatizačních prvků a popište očekávanou funkčnost systému.
5. Zhodnoťte přínos automatických prvků ke snížení ukazatelů nepřetržitosti dodávky SAIDI a SAIFI, popř. ke Q - komponentě regulačního vzorce.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 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 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2017**


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




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

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou přínosu distribuční automatizace z hlediska snižování ukazatelů nepřetržitosti dodávky elektrické energie. Obecně představuje síť vysokého napětí, její funkci, provoz i vyskytující se poruchy. Dále se pak věnuje popisu konkrétních automatizačních prvků i problematice ukazatelů nepřetržitosti dodávky. V praktické části diplomové práce je navržen postup pro výběr vývodů vhodných pro nasazení prvků distribuční automatizace. Tento postup je aplikován na vývody ve zvolené napájecí oblasti. Pro vybrané vývody je vytvořeno několik variant nasazení prvků a také vyčíslen a vyhodnocen přínos.

Klíčová slova

distribuční automatizace, ukazatelé nepřetržitosti, SAIDI, SAIFI, recloser, úsečník, indikátor poruch

Abstract

The diploma thesis deals with the benefit of distribution automation to reliability indices reducing. It describes the middle voltage network in general, function, operation, and faults. Further, it deals with description of distribution automation elements as well as reliability indices. In practical part of thesis, there is proposed the procedure for selecting feeders suitable for installation of distribution automation elements. Feeders in given supply region are assessed by using the proposed procedure. Scenarios of distribution automation installation for suitable feeders are proposed and their benefit is assessed.

Key words

distribution automation, reliability indices, SAIDI, SAIFI, recloser, sectionalizer, fault indicator

Prohlášení

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.

.....
podpis

V Plzni dne 1.4.2017

Jan Sika

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Miloslavě Tesařové Ph.D. za její neocenitelné rady, vynaložený čas a velikou vstřícnost.

Dále také konzultantovi Ing. Jiřímu Čeledovi z firmy E.ON distribuce a.s., za jeho odpovědi na nesčetně otázek a trpělivost.

Obsah

Seznam symbolů a zkratek	9
Seznam obrázků.....	10
Seznam tabulek.....	11
Úvod	12
1 Distribuční síť VN.....	13
1.1 Popis řešené sítě.....	13
1.2 Provoz	14
2 Automatizační prvky VN.....	17
2.1 Ručně ovládané úsečníky.....	17
2.2 Dálkově ovládané úsečníky (DOÚ)	19
2.3 Recloser	20
2.4 Indikátory.....	21
2.5 Nové trendy.....	22
3 Řešení poruch ve venkovním vedení distribuční soustavy.....	23
3.1 Signalizace ZS	23
3.2 Vyhledání vývodu se ZS	24
3.3 Lokalizace ZS	25
4 Řešení poruch v kabelových sítích distribuční soustavy	29
4.1 Detekce	29
4.2 Lokalizace	29
5 Ukazatelé nepřetržitosti dodávky elektrické energie.....	31
5.1 Sledované ukazatele nepřetržitosti.....	31
5.2 Vyhodnocování a limity.....	33
5.3 Statistiky	35
5.4 Příčiny nedodávky	36
5.5 Zlepšení ukazatelů nepřetržitosti	37

6	Strategie pro nasazování distribuční automatizace (případová studie)	39
6.1	Vstupní data	40
6.2	Zpracování dat	42
6.3	Výběr vývodů	44
6.4	Rozbor vybraných vývodů.....	48
6.4.1	Vývod Frymburk	50
6.4.2	Vývod Netřebice.....	54
6.4.3	Vývod Rožmitál.....	56
6.4.4	Vývod Planá	58
6.4.5	Vývod Soběslav	60
6.5	Vyhodnocení.....	62
7	Závěr.....	63
	Seznam literatury a informačních zdrojů.....	64
	Přílohy	67

Seznam symbolů a zkratk

DS	Distribuční soustava
VN	Vysoké napětí
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
OZ	Opětovné zapnutí
ZS	Zemní spojení
DA	Distribuční automatizace
ÚO	Úsekový odpínač
DOÚ	Dálkově ovládaný úsečník
OZ	Opětovné zapnutí
REC	Recloser
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy
OM	Odběrné místo
DTS	Distribuční trafostanice

Seznam obrázků

Obr. 1.1: Přehled kabelizace v rámci všech provozovatelů distribučních soustav (PDS) v České republice [14].....	14
Obr. 2.1: DOÚ komorový, olejový [27]	19
Obr. 2.2: Recloser [10]	21
Obr. 2.3: Indikátor [2]	21
Obr. 2.4: Průběh vypínání [24].....	22
Obr. 3.1: Schéma a sekvence připování odporníku a přizemnění [13].....	24
Obr. 3.2: Vývod VN s 1f zemním spojením na odbočce [8].....	25
Obr. 3.3: Schéma zjednodušeného vývodu VN [12].....	27
Obr. 4.1: Plán kabelové sítě a pruchod poruchového proudu [12].....	30
Obr. 5.1: Použití Q-komponenty [5].....	33
Obr. 5.2: Vývoj ukazatelů nepřetržitosti dodávky [14].....	35
Obr. 5.3: Celkové SAIDI (zahrnovány plánované, neplánované i mimořádné události) [26]	36
Obr. 5.4: Zlepšení ukazatelů v Helsinkách v průběhu přibližně 20 let [25].....	37
Obr. 5.5: Porovnání dvou přístupů ke snižování SAIDI [25].....	38
Obr. 6.1: Grafický princip lichoběžníkové metody [16]	46
Obr. 6.2: Schéma vývodu Frymburk s vyznačenými místy poruch	52
Obr. 6.3: Schéma vývodu Frymburk s rozložením OM	53
Obr. 6.4: Schéma vývodu Netřebice s vyznačenými místy poruch.....	55
Obr. 6.5: Schéma vývodu Netřebice s rozložením OM.....	55
Obr. 6.6: Schéma vývodu Rožmitál s vyznačenými místy poruch.....	56
Obr. 6.7: Schéma vývodu Rožmitál s rozložením OM.....	57
Obr. 6.8: Schéma vývodu Planá s vyznačenými místy poruch	58
Obr. 6.9: Schéma vývodu Planá s rozložením OM	59
Obr. 6.10: Schéma vývodu Soběslav s vyznačenými místy poruch.....	60
Obr. 6.11: Schéma vývodu Soběslav s rozložením OM.....	61

Seznam tabulek

Tab. 2.1: Parametry různých typů ÚO [17]	18
Tab. 2.2: Porovnání pulseclosingu pro tři poruchy [24].....	22
Tab. 6.1: Kódové označení pro zaznamenávání událostí [19].....	41
Tab. 6.2: Výsledné pořadí vývodů dle ukazatele SAIDI.....	44
Tab. 6.3: Výsledné pořadí vývodů dle ukazatele SAIFI.....	45
Tab. 6.4: Souhrné hodnoty z poruch za rok 2015.....	47
Tab. 6.5: Přínos a pořizovací ceny prvků DA	49
Tab. 6.6: Navrhované varianty pro vývod Frymburk.....	50
Tab. 6.7: Navrhované varianty pro vývod Netřebice	54
Tab. 6.8: Navrhované varianty pro vývod Rožmitál	56
Tab. 6.9: Navrhované varianty pro vývod Planá.....	58
Tab. 6.10: Navrhované varianty pro vývod Soběslav	60

Úvod

Tato diplomová práce je zaměřena na dnes u nás velmi diskutovanou technologii distribuční automatizace. Energetický regulační úřad v rámci jeho motivační politiky zavedl limity sledovaných ukazatelů nepřetržitosti dodávky elektrické energie, pro jednotlivé provozovatele distribučních soustav. Při nedodržení těchto limitů uděluje sankce a naopak při velmi dobrých hodnotách bonusy. Díky tomu, má být vytvářen tlak na provozovatele distribučních soustav, aby zkvalitnili své služby z pohledu nepřetržitosti dodávky elektrické energie. Jednou z cest k dosažení tohoto cíle je právě zmiňovaná distribuční automatizace. Dalšími možnostmi jsou například kabelizace, kvalitní údržba prvků soustavy (čištění izolátorů, pravidelná revize), pravidelné průseky koridorů venkovních linek, nebo i dobrá koordinace všech prováděných prací.

První, teoretická část, se věnuje nejprve popisu distribuční soustavy (DS). Její topologií, součástmi, a provozem. Pro základní představu je užitečné i v krátkosti popsat poruchy, které v soustavě mohou vzniknout. Dále jak tyto poruchy detekovat a lokalizovat jejich polohu. Všechny překládané principy či postupy, budou zaměřeny na venkovní vedení VN. Následně budou představeny prvky distribuční automatizace. Jejich funkce, princip, vlastnosti a použití. Všechny výše zmíněné věci, vedou k poslednímu bodu teoretické části, kterým jsou ukazatele nepřetržitosti dodávky elektrické energie. Právě podle těchto ukazatelů hodnotí regulační úřad provozovatele DS, zda splnili nastavené limity, či nikoliv a tedy jaká bude jejich výše odměn, nebo naopak pokuta.

Druhá, praktická část, je přímo zaměřená na distribuční soustavu společnosti E.ON se sídlem v Českých Budějovicích a její síť venkovního vedení 22 kV. Společnost zajišťuje chod sítí v Jihočeském kraji, kraji Vysočina a Jižní Moravě, ovšem práce se bude zabývat pouze oblastí E.ON Západ zahrnující Jihočeský kraj a část Vysočiny. Význam práce spočívá ve vyhodnocování záznamů poruch a z daných výsledků bude navržena strategie nasazování distribuční automatizace. Také bude na několika vybraných vývodech nastíněn konkrétní princip nasazení prvků, jejich funkce a přínos na snižování ukazatelů nepřetržitosti dodávky.

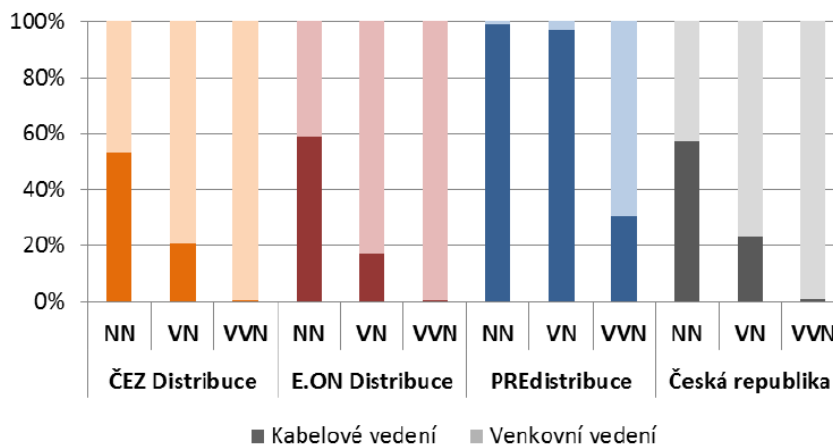
1 Distribuční síť VN

Do distribuční soustavy patří síť 110 kV, vysokého a nízkého napětí. Mají za úkol rozvést elektrickou energii od předávacích míst s přenosovou soustavou přímo ke koncovým zákazníkům. V této kapitole budou popsány základní vlastnosti a provoz, krátký rozbor poruch a výčet zařízení a prvků obsažených v distribuční síti na úrovni vysokého napětí.

1.1 Popis řešené sítě

S přihlédnutím na téma práce a fakt, že vznikla ve spolupráci se společností E.ON, bude uveden krátký popis jejich distribuční sítě VN, která je nejčastěji na hladině 22 kV. Další obvykle provozovanou hladinou je i 35 kV.

Společnost E.ON působí v kraji Jihočeském, Vysočina a Jižní Moravě. Spravuje oblast 26 499 km² a elektrickou energií zásobuje 1 506 394 odběratelů. Jejich distribuční soustava je napájena hlavně z nadřazené, přenosové soustavy vlastněné společností ČEPS z předávacích transformačních stanic 400/110 kV, popř. 220/110 kV. Těchto stanic je celkově 8. Jsou jimi rozvodny Tábor, Kočín, Dasný, Slavětice, Mírovka, Čebín, Sokolnice a Otrokovice. Další napájení je z výroben, závodních elektráren a lokálních zdrojů. Linky velmi vysokého napětí 110 kV společnosti E.ON distribuce, poté z předávacích míst rozvádí elektrickou energii do distribučních trafostanic 110/22 kV. Samotná síť 22 kV je provozována paprskově, pouze v případě potřeby zvýšené spolehlivosti paralelně. Vystavěna je ovšem jako zauzlovaná, což poskytuje možnost v případě poruchy, či odstavení zařízení z provozních důvodů napájení paprsků z druhé strany. Celková délka venkovních linek 22 kV je 18 593 km a 3 827 km kabelů. Počet transformoven VVN/VN 87 a z 19 028 trafostanic z hladiny VN na NN. [18], [6]



Obr. 1.1: Přehled kabelizace v rámci všech provozovatelů distribučních soustav (PDS) v České republice [14]

Obrázek 1.1 ukazuje podíl venkovního a kabelového vedení. Největší procento kabelů má společnost PREdistribuce. Ta však působí pouze v Praze a jejím nejbližším okolí, což je velice hustě obydlená a zastavěná oblast, kde jsou kabelové sítě nejlepším a mnohdy jediným řešením.

1.2 Provoz

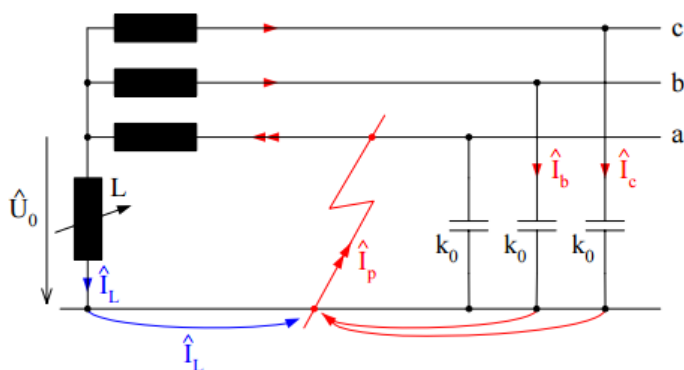
Sítě VN v sobě zahrnují hned několik napěťových hladin. Pro distribuční soustavu VN se využívají hlavně napětí 35 kV a 22 kV. Další, v praxi využívanou hladinou je 6 kV, která se vyskytuje ve většině větších, průmyslových rozvodech. Sítě vysokého napětí se provozují jako izolované, nebo nepřímo uzemněné přes odporník, či zhášecí tlumivku. Linky 110 kV spadající také do DS jsou provozované jako přímo uzemněné.

Práce je zaměřena na venkovní síť 22 kV, a proto bude uveden jeho bližší rozbor. Je provozována s neúčinně uzemněným uzlem transformátoru a to buď přes zhášecí (Petersonovu) tlumivku, jedná-li se o venkovní vedení, či přes odporník v případě kabelového vedení. Propojení uzlu transformátoru se zemí přes indukčnost má dvě výhody. Zaprvé zmenší velikost proudu v případě spojení jedné fáze se zemí a také pozitivně přispívá k samozhášení obloukových spojení, takže není nutný jakýkoliv zásah. Takto zapojený uzel sítě nemá výrazný vliv na fungování v normálním stavu, mění pouze chování během poruchy.

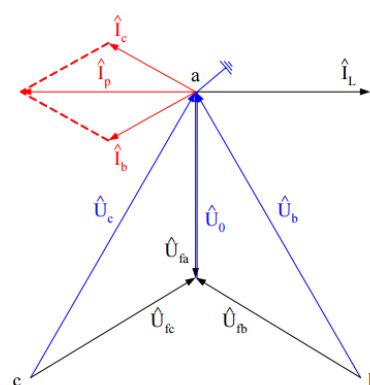
Poruch ve venkovní VN síti může nastat několik. Prvotní rozdělení je na poruchy přechodné, či trvalé. Poruchy přechodného charakteru zanikají sami od sebe bez jakéhokoliv zásahu (například vychýlené a spadlé větve, které shoří). V případě obloukových poruch je velice účinná právě Petersonova tlumivka. Další kategorií jsou poruchy trvalé, vyžadující zásah pracovníků (spadlé stromy, přetržený vodič, cizí předmět na vedení, či porucha zařízení). Dále se poruchy dělí na jednopólové a vícepólové.

Vícepólové poruchy (3f, 2f zkrat a 2f ZS), vedou k vytvoření značného zkratového proudu, detekovány jsou klasickými nadproudovými ochranami a okamžitě vypínány. Ochrany disponují i funkcí rychlého opětovného zapnutí (OZ), pro případ kdy je porucha přechodného charakteru. Pokud po OZ ochrany opět vybaví, pokusí se cca po dvou minutách dispečer o ruční zapnutí vývodu (tzv. dopínání). Jestli i pak dojde k vypnutí vývodu, jedná se o trvalou poruchu.

V případě jednopólové poruchy, tedy spojení jedné fáze se zemí, nehovoří se již o zkratu, ale o tzv. 1f zemním spojení. Poruchový proud se zde uzavírá přes svodové kapacity, zem a tlumivku zapojenou do uzlu zdroje. Má kapacitní charakter a velikost nezávisí na vzdálenosti od zdroje, ale celkové délce napájeného úseku vedení (ta ovlivňuje jeho výslednou kapacitu). [1] Kapacitní proud může při rozlehlé napájené oblasti (například 300 km) dosahovat i 50% jmenovité hodnoty. Výsledný proud tekoucí poruchou je však dán nejen zmíněnou kapacitou sítě, ale výrazný vliv hraje i tlumivka. Vlivem vzniklé poruchy se na cívce objeví napětí, které protlačí induktivní proud. Ten má tu vlastnost, že nám kapacitní proud vykompenzuje a tím ho zmenší (přibližně na 20% jeho jmenovité hodnoty).



Obr. 1.2: Schéma kompenzované soustavy se ZS [13]



Obr. 1.3: Fázorový diagram kompenzace [13]

Výsledný proud je tedy dán vektorovým součinem kapacitního a induktivního proudu. Vše je přehledně ukázáno na obrázku 1.2. Proto se o venkovních vedeních VN hovoří jako o kompenzované síti.

Na fázorovém diagramu (obr. 1.3) jsou ukázány napěťové a proudové poměry. Napětí postižené fáze klesne v případě ideálního kovového spojení na nulu, mezi uzlem transformátoru a zemí stoupne na fázovou hodnotu a na nepostižených fázích vzroste na hodnotu sdruženou. Místem poruchy jak již bylo řečeno protéká vektorový součet kapacitního svodového proudu zdravých fází a induktivního proudu tlumivky. Tímto způsobem lze ideálně poruchový proud zmenšit na nulovou hodnotu. Ve skutečnosti však nelze zanedbat činné odpory ani vliv vyšších harmonických a tak se nulového proudu nikdy nedosáhne.

Jako kompenzované (s Petersonovou tlumivkou), se musejí provozovat pouze rozsáhlejší sítě, kde proud poruchou přesahuje dovolenou hodnotu danou normou (10 A). Doporučená hodnota je však 5 A, jelikož od této hodnoty se značně zhoršují podmínky pro samozhášení obloukových spojení. Menší sítě se provozují jako izolované. Správné nastavení indukčnosti provádí automatika ladění zhášecí tlumivky využívající rezonanční křivku.

Díky nízké hodnotě proudu je možné postižené vedení provozovat, ovšem pouze po dobu nezbytně nutnou pro nalezení poruchy. Samotná tlumivka je dimenzována na provoz po dobu dvou hodin. [27]

2 Automatizační prvky VN

Samotná distribuční síť na hladině VN (tedy 22 kV), to nejsou jen vodiče, či kabely. Obsahuje celou řadu dalších, nezbytně nutných prvků. Kromě zařízení, která jsou společná s hladinami VVN a NN, jako například transformátory, vypínače, atd., má síť VN svá specifika. Jsou jimi úsekové odpínače (ÚO). Jedná se o odpínač instalovaný přímo na stožár ve vývodu, ovládaný místně.

Tato zařízení jsou nezbytná pro správné fungování distribuční sítě. Rozdělují vývody na úseky a umožňují změnu konfigurace. Jak bylo řečeno v úvodu, DS je provozována paprskově, ovšem vystavěna zauzlovaně. A právě rozdělovací místa okruhů jsou jedno z míst pro ÚO. Dále se používají k vymezení a vyčlenění části vedení s poruchou ze soustavy, aby byl minimální dopad na odběratele, či změnu topologie.

S potřebou pružněji a v kratších časech měnit konfiguraci sítě se dostávají do popředí zájmu prvky spadající do kategorie distribuční automatizace (DA). Jsou to takové prvky, které zlepšují ovládání distribuční sítě, popřípadě jsou schopné automatické reakce při předem definovaných stavech. Řadí se sem dálkově ovládané úsečníky, reclorery a indikátory poruch. Zájem o možné nasazování těchto prvků je díky zavedené motivační politice ze strany Energetického regulačního úřadu (viz kapitolu 5). Principu jakým DA přispívá k lepší manipulaci s DS, se věnuje kapitola 3.

2.1 Ručně ovládané úsečníky

I přesto, že místně ovládané úsekové odpínače nelze zařadit mezi distribuční automatizaci, je důležité se o nich zmínit, jelikož níže uváděné dálkově ovládané úsečníky jsou jejich nadstavbou.

Jedná se o odpínač instalovaný přímo na stožáru v distribuční síti VN. Jsou umístěné jak v hlavním kmeni vývodu, tak v odbočkách. V případě poruchy tak máme možnost oddělit ze sítě jen nezbytně malou část, kde porucha vznikla a pokud je to možné zbylé části přepojit na jiné napájení. Přesnější popis lze nalézt v kapitole 3.

Úsečníky se tedy podílejí na minimalizaci výpadku elektrické energie v případě poruchy a zlepšují ukazatele nepřetržitosti dodávky, o kterých je pojednáno v dalších kapitolách. Ovládání spínacího mechanismu je umístěno na sloupu a je tedy nutné, aby při nutnosti manipulace četa fyzicky přijela ke stožáru. Pokud se k tomuto připočte skutečnost, že sloupy mnohdy bývají zarostlé a u všech není možné přijet přímo k nim, může čas mezi požadavkem na manipulaci a jejím provedení dosahovat od třiceti minut výše.

Existuje několik provedení spínacího mechanismu. Nejjednodušší je růžkové a pružinové provedení. Další variantou je komorový, máloolejový úsečník, který disponuje vyšší vypínací schopností. V praxi se typ volí dle umístění a jeho spínací schopnosti (viz tab. 2.1). Pro kmen vývodu se nasazují komorové ÚO (společnost DRIBO) pro jejich výkonnost, u odboček růžkové (IVEP) a před trafostanicemi VN/NN pružinové (Krompach) pro viditelné rozpojení. [16]

Tab. 2.1: Parametry různých typů ÚO [17]

Typ úsečníku	Jmenovitý proud (A) (pro $U_n = 25$ kV)	Jmenovitý zkratový zapínací proud ¹ (kA)	Jmenovitý vypínací proud obvodu uzavřené smyčky (A) (pro $U_n = 25$ kV)	Jmenovitý vypínací nezatíženého kabelového vedení (A) (pro $U_n = 25$ kV)
Fla 15/60 (olejový, komorový)	400/630	18	400	20
DRIBO Flb (růžkový)	400/630	16	31,5	16
DRIBO Flc (pružinový)	400/630	10	20	16

¹ Platí při dostatečně rychlém ručním ovládní.

2.2 Dálkově ovládané úsečníky (DOÚ)

Funkce DOÚ je shodná s ručně ovládanými, zde je však obrovskou výhodou možnost, na dálku ovládat jeho spínání, či vypínání a není tak nutné na místo vysílat čtu. Pro komunikaci a přijímání povelů z dispečinku využívají DOÚ rádiové signály, nebo mobilní síť. Provedení silové části je totožné s ručně ovládanými, ovšem je přidán pohon pro pohyb kontaktů, napájecí transformátor, anténa a ovládací skříň. Obsahují také střádač energie a akumulátorové baterie pro bezpečné spínání i bez hlavního napájení z linky. Napájení je vždy jen z jedné strany stožáru, což jen zvyšuje potřebu akumulace energie. Některé používané typy disponují koncovým spínačem pro hlášení vypnutého, či zapnutého stavu bez ohledu na stav pohonu.

Nasazování DOÚ je stejné jako pro ručně ovládané, ovšem kvůli vyšším pořizovacím nákladům se umísťují pouze na strategické pozice. Typicky to jsou rozpojovací místa na linkách pro napájení z jiné rozvodny, dále je možné nalézt jeden až dva v hlavním kmeni, či u důležitých odboček a odběratelů.



Obr. 2.1: DOÚ komorový, olejový [27]

Dálkově ovládané úsečníky jsou dnes nedílnou součástí každého vývodu a jejich nasazování se dále rozšiřuje. Jejich umístování se řídí konceptem zmíněným v této kapitole. V současnosti jsou ve společnosti E.ON nasazeny pouze DOÚ bez jakéhokoliv měření.

Nadstavbou již používaných DOÚ, jsou úsečníky s měření P, Q a U. Mají tu výhodu, že dokáží signalizovat průchod poruchového proudu a dispečer tak má snadnější práci při její lokalizaci.

Investiční náklady na úsečník bez měření jsou cca 220 000 Kč, s měřením P, Q a U se dá pořídit za cca 350 000 Kč. [16]

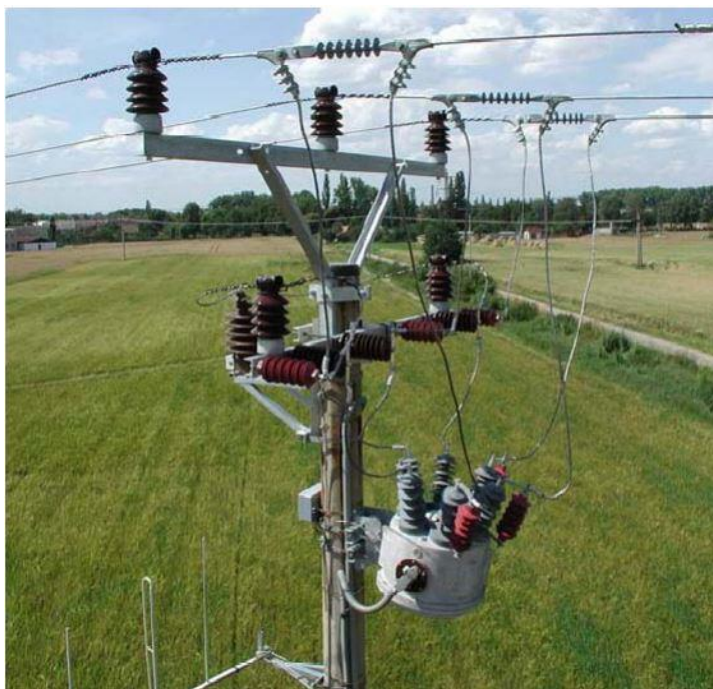
2.3 Recloser

Moderní zařízení, které v sobě spojuje výkonový vypínač, měření a ochrany. Je určený k instalaci přímo na stožár v distribuční síti a napomáhá tak rychle řešit nejenom poruchové stavy, ale následně i opětovnou dodávku elektrické energie. Jeho vybavení je srovnatelné s vývodovým vypínačem a tak díky předsazení v distribuční síti reaguje na poruchu už před vypínačem v rozvodně a tak minimalizuje počet odběratelů postižených výpadkem. Disponuje měření proudů a napětí, i jejich nulových složek, nadproudou, zkratovou, podpětíovou a zemní ochranou a umožňuje rychlý a pomalý OZ. [3] Nejčastějším typem jsou vakuové vypínače. Při zaznamenání poruchového stavu reaguje automaticky s přednastavenou selektivitou, ovšem je možné také ovládání z dispečinku.

Umístění:

- a) V hlavním (kmenovém) vedení.
 - Umožňuje rozdělit vedení na více sekcí. Pokud bude porucha například až na konci vedení, nemusí dojít k jeho celému vypnutí, ale pouze části.
- b) Na začátku dlouhých odboček či odboček s vysokou poruchovostí.
 - Lze tak velice rychle oddělit problematickou odbočku od zbytku linky.
- c) Za důležitým zákazníkem.
 - Zamezí se tím ovlivňování zákazníka poruchami vzniklými za ním.

I přes nesporné výhody, které recloser nabízí, je vždy proti vysoká pořizovací cena. Orientační cena jednoho recloseru činí cca 410 000 Kč. [16] V plném provozu má společnost E.ON prozatím tři a to na Písecku.



Obr. 2.2: Recloser [10]

2.4 Indikátory

Mají za úkol pouze signalizovat poruchy linky, kterou hlídají. Mohou zaznamenávat zemní spojení i zkraty. Signalizace je buď místní, v podobě světla, či barevných terčů, nebo se posílá signál na dispečink například prostřednictvím radiového signálu. Také mohou spolupracovat s dálkově ovládanými úsečníky a využívat jejich komunikační linku. Indikátory jsou bezkontaktní a pracují na principu snímání elektrického a magnetického pole vodiče. [2] Napájení je zajištěno pomocí akumulátoru, nebo fotovoltaických článků.

V současné době se v DS společnosti E.ON indikátory nevyužívají. Ovšem v budoucnu se plánuje jejich nasazení. Orientační cena je okolo 15 000 Kč pro hromadné nasazování, pro jednotlivé osazení v řádu jednotek kusů je cena vyšší 50.000 Kč. [16]



Obr. 2.3: Indikátor [2]

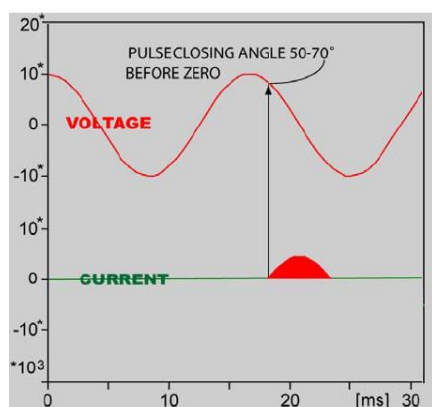
2.5 Nové trendy

Smart VN rozvaděče

Jeden z prvků DA určený pro kabelové sítě. Rozvaděč se umísťuje do VN části distribučních trafostanic. Obsahuje zařízení pro snímání proudu procházejícího každou fází (nejlépe průvlečné měřicí transformátory proudu), ochrany, dálkově ovládaný vypínač, či odpojovač s pojistkami, zdroj napájení, záložní akumulátory a zařízení pro sběr a odesílání dat. [12] Poskytují možnost dálkového ovládní vypínačů, měření poruchového proudu a provozních veličin, či například sběr hodnot z chytrých elektroměrů.

Pulseclosing

Jedná se o odlišný systém vypínání poruchových proudů. Zde je okamžik oddálení kontaktů řízen na základě měření průběhu napětí. Přístroj vypíná pokud možno v maximu napětí. Tím při uvažování převážně induktivní zátěže je docíleno vypínání při malém proudu poruchy (ten se bude pohybovat v blízkosti průchodu nulou) a tak i minimalizace proudového rázu posílaného zpět do sítě. Na průběhu v obrázku 2.4 je tento princip znázorněn.



Obr. 2.4: Průběh vypínání [24]

Tab. 2.2: Porovnání pulseclosingu pro tři poruchy [24]

Fault 1	RMS Current	Duration	I ² T
Conventional Reclosing	2,000 A	0.5420 s	2,168,000 A ² s
Pulseclosing	930 A	0.0053 s	4,800 A ² s (0.22%)
Fault 2			
Conventional Reclosing	5,000 A	0.1620 s	4,050,000 A ² s
Pulseclosing	2460 A	0.0055 s	34,400 A ² s (0.85%)
Fault 3			
Conventional Reclosing	12,500 A	0.0880 s	13,750,000 A ² s
Pulseclosing	6380 A	0.0056 s	236,900 A ² s (1.72%)

Díky tomuto systému vypínání se docílí kratších vypínacích časů, menší hodnoty přepětí a také menšího proudového namáhání prvků distribuční soustavy. Toto zlepšení je demonstrováno v tabulce 2.2. V prvním sloupci je vypínaný proud, v druhém trvání vypnutí a v posledním vzniklá energie. Tento odstavec byl zpracován na základě zahraničního článku [24].

3 Řešení poruch ve venkovním vedení distribuční soustavy

Cílem této kapitoly je ukázání postupů pro co nejrychlejší odstranění poruch v DS. Postupy se různí, jestliže se jedná o zkraty, nebo zemní spojení.

Pro zkraty jsou kroky následující. Z důvodů vysoké hodnoty proudů, nadproudová ochrana dává popud vypínači k vypnutí. Po vybavení ochrana provádí krátký OZ, pro zjištění jestli je porucha přechodného, či trvalého charakteru. Poté má dispečer informace o konkrétním vypadlém vývodu z důvodu zkratu na lince. Shodným způsobem jako u zemních spojení (rozebráno v kapitole 3.3) vymanipulovává přesné místo poruchy.

Kroky v případě zemních spojení jsou pro první fázi složitější. Lze je rozdělit na tři. První dva mají na starosti ochrany. Na ZS reagují ochrany zemní. Nejprve signalizují vznik a poté se snaží o určení postiženého vývodu. Třetí krok je opět na dispečerovi, který má za úkol lokalizovat přesné místo. Pro ZS se neprovádí OZ.

Zemní spojení je nejčastější poruchou ve venkovních linkách distribuční soustavy. Proto bude uveden přesnější rozbor výše zmíněných kroků.

3.1 Signalizace ZS

Sledování napětí uzlu

V kapitole 2 bylo ukázáno, že v případě zemního spojení dojde k výskytu napětí mezi uzlem zdroje a zemí, jehož velikost závisí na odporu poruchy. Při čistě kovovém spojení to může být až fázová hodnota. Pokud tedy dojde ke zvýšení hodnoty nad stanovenou mez ($30\%^2 U_f$), je signalizováno zemní spojení. [11]

Tento způsob pouze informuje o existenci ZS v napájené síti. Bohužel nerozliší, v jakém vývodu se porucha nachází.

² Hodnota používaná společností E.ON. Nastavení ochran závisí čistě na provozovateli.

3.2 Vyhledání vývodu se ZS

Na každém vývodu z rozvodny je instalována zemní wattmetrická ochrana. Ta měří činnou část netočivé složky proudu. Pokud tedy tento proud překročí prahovou hodnotu, dává informaci o přítomnosti zemního spojení. V případě příliš malé hodnoty, například v případě odporových zemních spojení, je možné využít automatiku připínání odporníku.

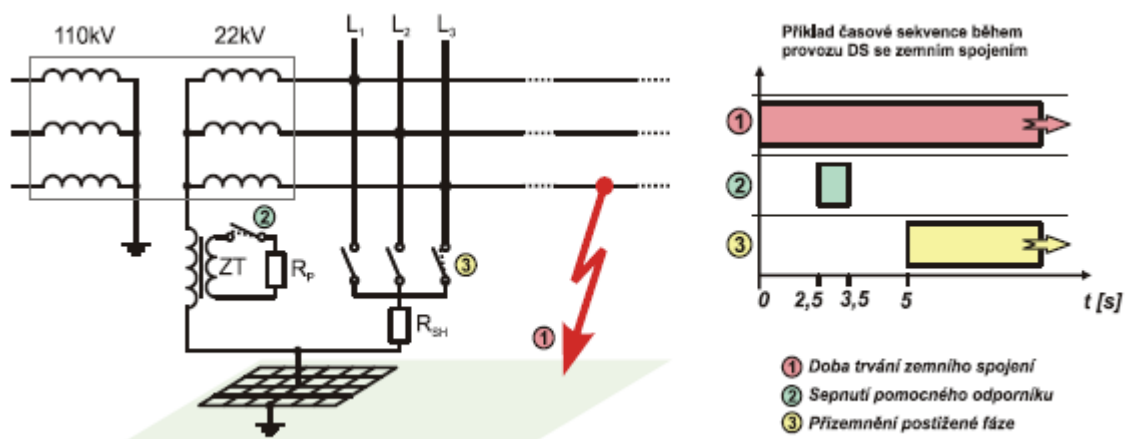
Připínání odporníku

Jeho paralelním připojením k tlumivce se zvýší činná složka proudu poruchy a je tak snáze detekovatelný. Odporník se připojuje pouze na nezbytně dlouhou dobu pro identifikaci vývodu se zemní poruchou (přibližně jedna sekunda [27]). Poté se odpojí a začíná fáze lokalizace postiženého úseku vedení (více v kapitole 3.3). Odporník má velikost v řádech jednotek ohmů.

Tento systém má společnost E.ON nainstalován u každé provozované tlumivky.

Shuntování

Pokud je požadavek na provozování linky i po identifikaci ZS, je možné použít přizemnění postižené fáze (tzv. šentování) v blízkosti rozvodny. Dojde tak k rozdělení poruchového proudu mezi místo poruchy a připojený odpor. Tímto se zmenší riziko krokového napětí u místa poruchy a navíc se zmenší proudové zatěžování postižené linky. Přizemňovací odpor se připojuje k zemnicí soustavě rozvodny. [13]



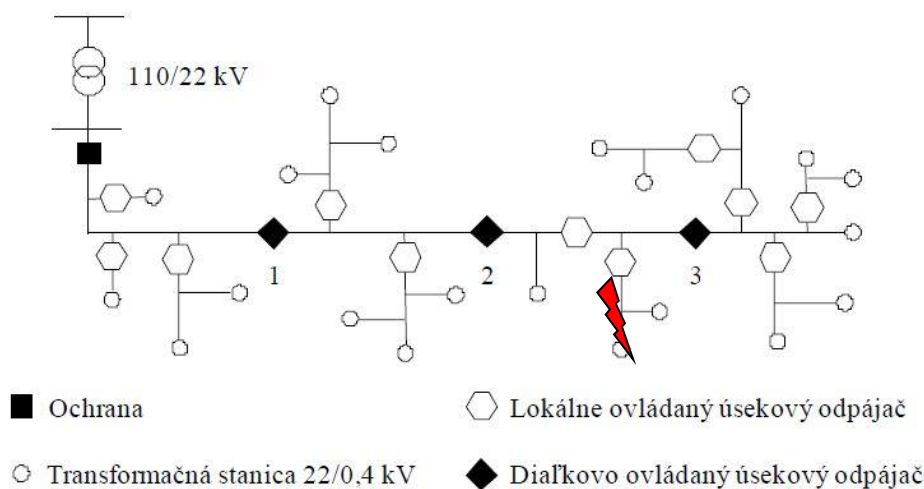
Obr. 3.1: Schéma a sekvence připínání odporníku a přizemnění [13]

Na obrázku 3.1. je zobrazena rozvodna s kompenzační tlumivkou, odporníkem a systémem shuntování. Jsou zde i vyobrazeny časy, kdy která součástka je spínaná. Vyznačené časy jsou pouze běžně využívané, nikoli však závazné. Společnost E.ON má tento systém nově nainstalovaný v rozvodně Jindřichův Hradec. [16]

3.3 Lokalizace ZS

V předchozích podkapitolách byla ukázána činnost zemních ochran. Díky nim je známo na jakém vývodu se ZS nachází. Nyní se musí určit přesné místo poruchy, pro vyslání čety a její odstranění. Přestože kompenzovaná síť VN mohou být provozovány s jedno-pólovou zemní poruchou, je i tak nutné ji co nejdříve odstranit. Jelikož vždy existuje reálná šance rozšíření poruchy na dvou pólovou a tím vypnutí celého vývodu.

Bude ukázán v praxi využívaný způsob lokalizace při současném stavu distribuční sítě. Tedy při použití ÚO a DOÚ bez měření dle koncepce uvedené v předchozí kapitole.



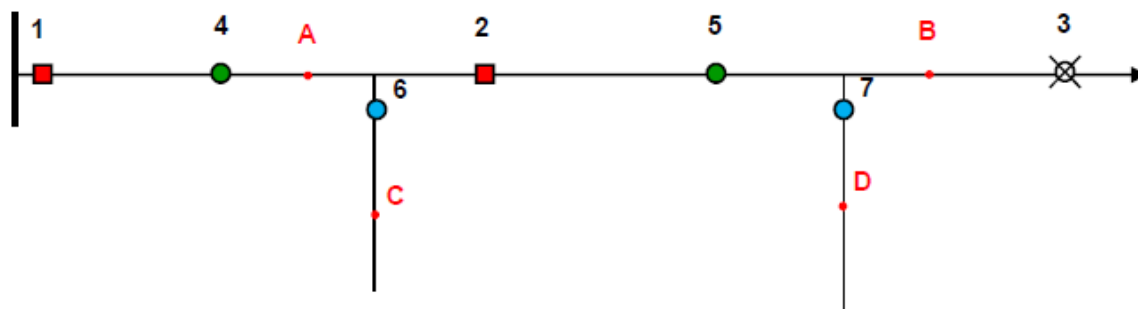
Obr. 3.2: Vývod VN s 1f zemním spojením na odbočce [8]

Na obrázku 3.2 je zobrazen vývod s několika odbočkami. V jedné vzniklo zemní spojení. V hlavním kmenu jsou nasazeny tři DOÚ bez měření a na začátku každé odbočky klasický ÚO. Prvotní akce je automatická. Ochrana určí postižený vývod a předá informace na dispečink. Obecná poučka zní, že vypne celý vývod, na dálku ho rozpojí pomocí DOÚ v polovině (v našem případě rozpojí DOÚ 2) a opět vývod zapne. Ochrana již ZS nedetekuje a je jasné, že se porucha nachází za úsečником číslo 2. Dále by vývod vypnul, rozpojí DOÚ 3, sepnul 2 a vývod opět zapnul. Ochrana detekuje ZS a dispečer ví, že porucha se nachází mezi DOÚ 2 a 3. Vysílá tedy na místo četu a s jejich pomocí manipuluje ručně ovládanými úsečníky při stejném principu, dokud se nelokalizuje přesné místo poruchy.

Ve skutečnosti však dispečeré manipulují na základě zkušenosti a každý má svůj vlastní osvědčený způsob. Někteří používají vypínání od konce vedení. Vědí, která místa jsou problémová (lesní úseky, otevřená krajina) a díky tomu zkracují dobu pro určení místa poruchy. Přesto je zde problém s nutností vypínání celého vývodu, jelikož úsečnickové odpínače by neměli vypínat poruchový proud a také čas dojezdu čety v případě ručně ovládaných úsečníků.

Jak již bylo zmíněno, distribuční automatizace, má zlepšit časy do vymanipulování poruchy, snížit počet postižených odběratelů a tím pádem odstranit výše zmíněné problémy. Tato skutečnost bude demonstrována na ilustrativním příkladu.

Příklad



Obr. 3.3: Schéma zjednodušeného vývodu VN [12]

Pro názornost je mezi prvky 1 a 4, 4 a 2, 2 a 5, 5 a 3 vždy připojeno 500 odběrných míst (OM). Zemní spojení vzniklo v místě C. Nejprve bude uvažován současný stav. Prvek 1 je vypínač v rozvodně, 2 a 3 DOÚ a 4 až 7 ručně ovládané ÚO. Časy převzaty z [21].

- Dispečer na základě informace z ochrany v rozvodně vypíná celý vývod (odpojeno 2000 OM), rozezne DOÚ 2, sepne vývod (odpojeno 1000 OM). ZS stále přetrvává.
- Spíná DOÚ 3 a zajistí tak části vývodu napájení z druhé strany (odpojeno 0 OM). Současně ze zkušenosti vysílá četú k úsečníku číslo 6 a vypíná vypínač v rozvodně (odpojeno 1000 OM).
- Po jejím příjezdu (čas od vyslání 35 minut), rozezne za pomoci čety 6 a sepne vývod (odpojeno 500 OM). ZS zmizelo a porucha je tím vymanipulována.

Se zanedbáním času mezi dálkovými manipulacemi bylo během vymanipulování, opakovaně přerušeno napájení celému vývodu a 1000 OM nemělo dodávku elektrické energie po 35 minut. Do odstranění poruchy pak bude bez napájení 500 OM.

Nyní na shodném schématu bude nasazena DA. Prvek 2 a 3 je REC, 4 až 7 DOÚ bez měření.

- Dispečer dostává informaci, že na vývodu je ZS a poruchový proud neprotéká přes REC 2. Sepne 3 a rozepne 2 (odpojeno 0 OM).
- Následně vypne vypínač v rozvodně (odpojeno 1000 OM), rozpojí DÚO 6 a vývod opět zapne (odpojeno 500 OM). Porucha zmizela a může tak přijít na řadu nalezení konkrétního místa a odstranění poruchy.

Při této variantě bylo napájení krátkodobě vypnuto 1000 OM a 500 OM zůstane odpojeno do odstranění poruchy. Na tomto ilustrativní příkladu je tedy patrné, že DA snížila dobu pro vymezení poruchy o 35 minut.

4 Řešení poruch v kabelových sítích distribuční soustavy

Jak je možné dohledat v první kapitole, kabelové sítě společnosti E.ON tvoří přibližně 17% z celkového rozsahu DS a dá se očekávat jejich pokračující rozšiřování a nahrazování místo venkovních vedení. Pro svou vysokou kapacitu proti zemi a s tím spojený vysoký kapacitní proud, provozují se kabelové sítě s nepřímo uzemněným uzlem přes odporník s hodnotou odporu řádově desítky Ω .

4.1 Detekce

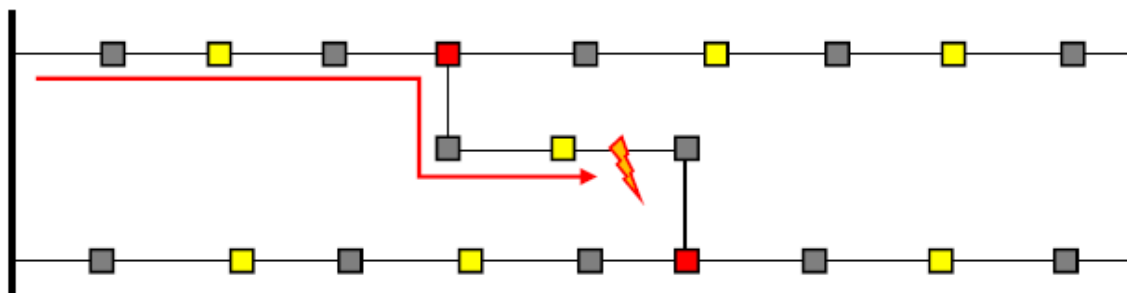
Poruchový kapacitní proud se zde nesnažíme kompenzovat, ale pouze omezovat za pomoci odporníku. Je to hlavně proto, že poruchy v kabelových sítích nebývají přechodného charakteru a je velké riziko přechodu jednofázových poruch do vícefázových. Hodnota poruchového proudu často bývá více jak 100 A a proto je její detekce možná i klasickými nadproudovými prvky. Po zaznamenání poruchy se vývod okamžitě vypíná.

I přesto, že odporník neposkytuje možnost provozu sítě se ZS, má své opodstatnění. Zmenší proud zemním spojením, poskytuje tlumení vzniklých přepětí a umožňuje použití jednoduchých číslicových ochran pro vyhodnocování poruch. [13]

4.2 Lokalizace

Lokalizace místa poruchy je u kabelových sítí obdobná jako pro venkovní sítě. Distribuční trafostanice, jsou navíc vybaveny indikátory poruch s možností odesílání stavu na centrální dispečink. Důležité stanice pak mají dálkově ovládaný vypínač. Princip je možné vidět na obrázku 4.1. [12]

Žlutou barvou jsou znázorněny trafostanice s dálkovou indikací poruch a červenou dálkově ovládaná trafostanice.



Obr. 4.1: Plán kabelové sítě a pruchod poruchového proudu [12]

Je zřejmé, že prvků v síti umožňujících indikaci poruch bude v kabelových sítích potřeba mnohem více. Oproti venkovním, jsou topologicky složitější a většina kabelů bude uložena v zemi bez možnosti snadného přístupu a vizuální kontroly. Je tudíž potřeba abychom přesně věděli, kde se porucha nachází, než započnou například výkopové práce.

5 Ukazatelé nepřetržitosti dodávky elektrické energie

Nejzásadnějším důvodem zájmu o ukazatele nepřetržitosti, je zavedení motivační politiky ze strany Energetického regulačního úřadu (ERÚ). Ta nabyla platnosti roku 2013, a odvíjí se od ní cena elektřiny jednotlivých distributorů. ERÚ stanovuje limity ukazatelů SAIDI³ a SAIFI⁴, které je distributor povinen dodržet. Pokud nesplní dané limity, bude penalizován. Naopak při velice dobrém výsledku obdrží bonusy. Toto opatření by mělo vytvářet tlak na provozovatele DS investovat do svých sítí a inovovat je.

Veškeré ukazatele rozpočítávají sledovanou veličinu (čas, či četnost) na jednoho zákazníka z posuzovaného celku. Poskytují cenné informace jednak samotným provozovatelům distribuční sítě, tak odběratelům do ní připojených. Budoucí zákazníci (odběratelé), si mohou zjistit jaká je kvalita dodávky elektrické energie a podle toho vybírat například konkrétní místo pro svoji stavbu. To se pochopitelně nejvíce využije při stavbách průmyslových závodů, kdy každý výpadek napájení, i třeba kratší (řádově desítky minut), znamená finanční ztrátu. Na druhou stranu provozovatel díky těmto ukazatelům získává představu o stavu své sítě. Přesně tak ví, do jakých úseků má investovat a která opatření provést.

5.1 Sledované ukazatele nepřetržitosti

Pro potřeby Regulačního úřadu, jsou sledovány ukazatelé SAIDI a SAIFI. Ty počítají s dlouhotrvajícími poruchami. To jsou takové, jejichž délka trvání je delší než 3 minuty. Je potřeba zmínit, že se ukazatele dále dělí na hladinové a systémové. Hladinový se vypočítává pro každou napěťovou hladinu samostatně. Systémový pak zahrnuje celou uvažovanou soustavu napříč hladinami. ERÚ vyhodnocuje pouze systémové ukazatele. Dalšími ukazateli jsou CAIDI⁵, MAIFI⁶, či ENS⁷.

Následující vztahy jsou převzaty z pravidel provozování distribučních soustav (PPDS), přílohy 2 [19].

³ Průměrná doba přerušení dodávky na odběratele za daný čas (System average interruption duration index).

⁴ Průměrný počet přerušení dodávky na odběratele za daný čas (System average interruption frequency index)

⁵ Průměrná doba trvání jednoho přerušení u odběratele (Customer average interruption duration index)

⁶ Průměrný počet krátkodobých přerušení dodávky na odběratele za daný čas (Momentary average interruption frequency index)

⁷ Nedodaná elektrická energie (Energy not supplied)

SAIDI (system average interruption duration index)

Udává průměrnou dobu všech přerušení dodávky na jednoho odběratele za určité časové období. Většinou se udává v minutách na odběratele za jeden rok.

Hladinový ukazatel:

$$SAIDI_h = \frac{\sum_j (t_{ji} \cdot n_{jhi})}{N_{sh}}$$

kde t_{ji} = doba trvání i -tého kroku manipulací při j -té události

n_{jhi} = počet zákazníků na hladině h , jímž byla přerušena dodávka při i -té manipulaci j -té události

N_{sh} = celkový počet zákazníků připojených do hladiny h

Systémový ukazatel:

$$SAIDI_s = \frac{\sum_{h=nn}^{vvn} \sum_j (t_{ji} \cdot n_{jhi})}{N_s}$$

kde N_s = celkový počet zákazníků připojených do soustavy

SAIFI (system average interruption frequency index)

Vyjadřuje počet přerušení u zákazníka za daný čas. Uvádíme ho v počtu přerušení na odběratele za rok.

Hladinový ukazatel:

$$SAIFI_h = \frac{\sum_j n_{jh}}{N_{sh}}$$

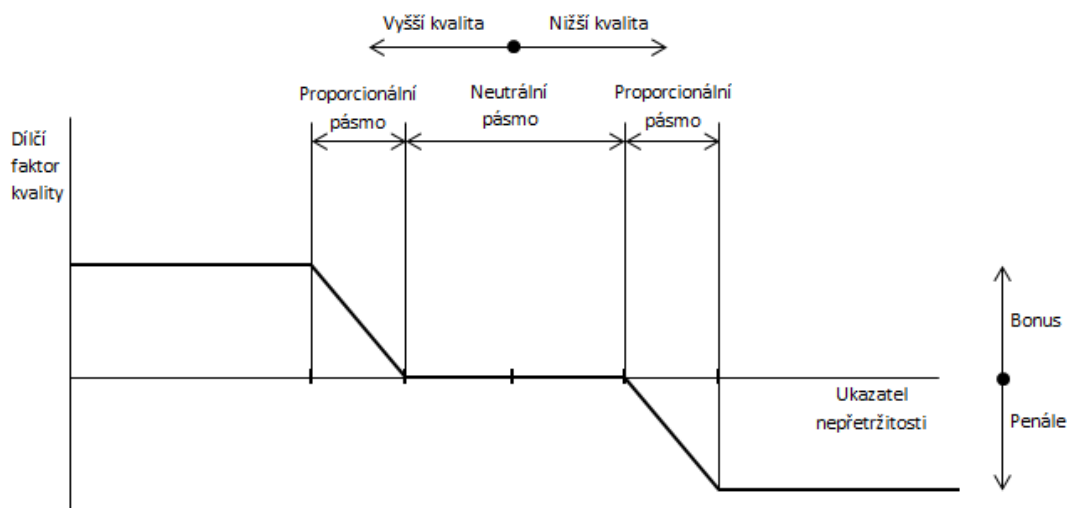
kde n_{jh} = počet zákazníků postižených j -tou událostí na hladině h

Systémový ukazatel:

$$SAIFI_s = \frac{\sum_{h=nn}^{vvn} \sum_j n_{jh}}{N_s}$$

Q-komponenta

Jedná se o pojmenování způsobu vyhodnocování ukazatelů nepřetržitosti dodávky elektrické energie. Na obrázku 5.1 je možné vysvětlit princip vyhodnocování.



Obr. 5.1: Použití Q-komponenty [5]

Pokud se distributor pohybuje v neutrálním pásmu, není nijak penalizován, ani odměňován. Pokud je jeho ukazatel kvality nízký, platí penále a je tak v jeho zájmu aby zainvestoval do vybavení své distribuční soustavy a zlepšil tak její stav. Naproti tomu pokud je jeho soustava vystavěná dobře a faktor kvality má vysoký, obdrží bonus, nebo si bude moci účtovat více za elektřinu. [5]

5.2 Vyhodnocování a limity

Pokud jde o pravidla okolo ukazatelů pro Českou republiku, vše je stanoveno a obsaženo v PPDS a přílohách [19]. Ty jsou vytvářeny všemi provozovateli DS a schvalovány Energetickým regulačním úřadem. Definují, že do výpočtů se nezapočítávají přerušení s dobou trvání kratší než 3 minuty. Také nezahrnuje situace, se kterými provozovatel nemohl nic dělat. Sem patří neplánované poruchy v distribuční i přenosové soustavě vzniklé za nepříznivých povětrnostních podmínek, jednáním třetí osoby a událostmi mimo soustavu a u výrobce. Také se nepočítá s přerušeními vynucenými a mimořádnými.

Do výpočtů se tedy zahrnují pouze neplánované a plánované události mající původ v zařízení přenosové nebo distribuční soustavy provozovatele soustavy nebo jejím provozu za obvyklých povětrnostních podmínek. [7], [20]

Tab. 5.1: Limity SAIFI pro PDS pro rok 2017 a 2018 [20]

SAIFI	Referenční hodnota	Roční zpřisňování	Požadovaná hodnota pro rok 2016	Požadovaná hodnota pro rok 2017	Požadovaná hodnota pro rok 2018	Hranice neutrálního pásma	Maximální bonus/penále
ČEZ Distribuce	2,360	1,25%	2,331	2,301	2,273	± 5%	± 15%
E.ON Distribuce	1,570	0,75%	1,558	1,547	1,535	± 5%	± 15%
PREdistribuce	0,440	25%, 3%	0,330	0,320	0,310	± 10%	± 25%

Tab. 5.2: Limity SAIFI pro PDS pro rok 2017 a 2018 [20]

SAIFI	Referenční hodnota	Roční zpřisňování	Požadovaná hodnota pro rok 2016	Požadovaná hodnota pro rok 2017	Požadovaná hodnota pro rok 2018	Hranice neutrálního pásma	Maximální bonus/penále
ČEZ Distribuce	262,700	2,5%	256,133	249,729	243,486	± 5%	± 15%
E.ON Distribuce	275,360	5%	261,592	248,512	236,087	± 5%	± 15%
PREdistribuce	37,370	5%	35,502	33,726	32,040	± 10%	± 25%

V tabulce 5.1 a 5.2 jsou ukázány aktuálně nastavené limity dle ERÚ pro následující roky. Je možné vidět, že pro každého distributora se nastavují individuálně. Motivační politika, má vytvářet tlak na PDS pro zlepšování soustavy. Ovšem distribuční soustavy jednotlivých provozovatelů nejsou shodné. Mají jiný aktuální provozovaný stav a jsou vystavené v různých geografických a povětrnostních podmínkách. Toto vše musí ERÚ respektovat při vytváření limitů.

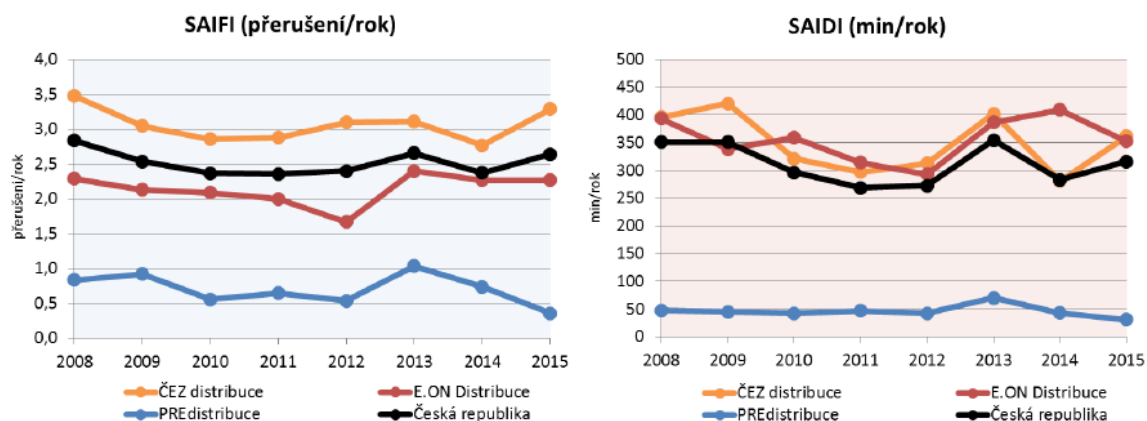
5.3 Statistiky

Tab. 5.3: Úroveň ukazatelů kvality dodávky pro rok 2015 [14]

Ukazatel*	ČEZ Distribuce	E.ON Distribuce	PREdistribuce	Česká republika
SAIFI [přerušení/rok]	3,29	2,27	0,36	2,64
SAIDI [min/rok]	361,72	352,90	30,93	316,06
CAIDI [min]	109,86	155,54	86,20	119,52

Uvedená tabulka 5.3 ukazuje záznamy ukazatelů SAIFI, SAIDI a CAIDI⁸ za rok 2015 pro všechny provozovatele distribučních soustav v České republice. Jednotlivé společnosti však nelze mezi sebou porovnávat. Velikost ukazatelů závisí na mnoha podmínkách, které jsou v každé oblasti působnosti daných distributorů různé.

Je ihned patrný rozdíl mezi PREdistribuce a ostatními PDS. Je to způsobeno tím, že PREdistribuce působí na území hlavního města a jejího nejbližšího okolí, kde převládá hustá zástavba. Ta vyžaduje nutnost použití kabelového vedení (viz obrázek 1.1), které má vyšší spolehlivost než venkovní vedení. Mnohem smysluplnější tedy než porovnávat ukazatele jednotlivých společností mezi sebou, je sledování jejich vývoje. To je ukázáno na následujících grafech.

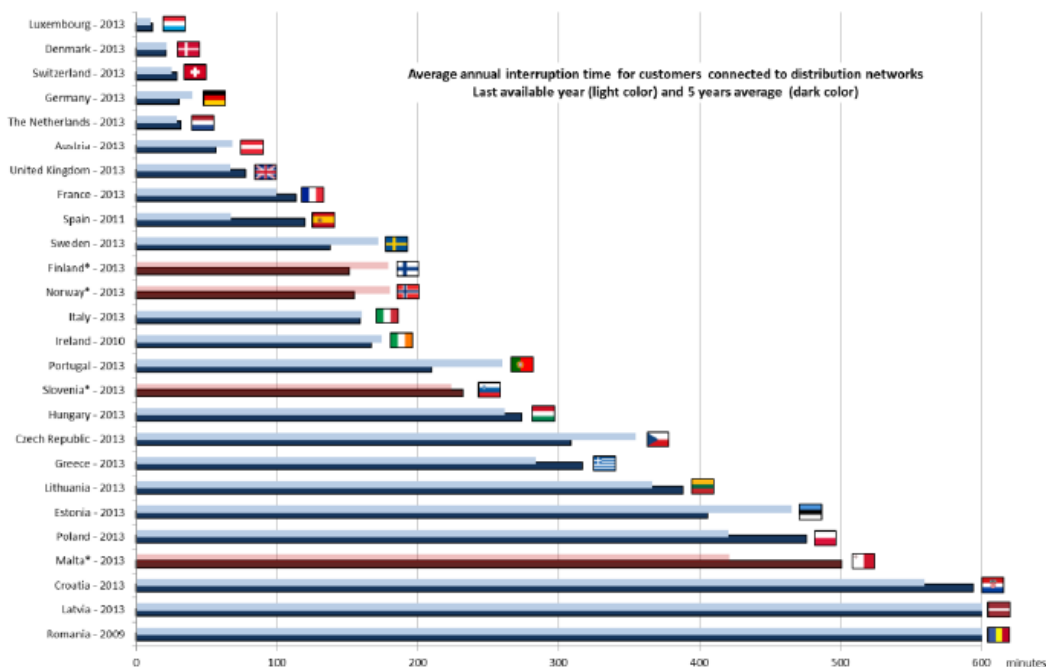


Obr. 5.2: Vývoj ukazatelů nepřetržitosti dodávky [14]

Zde je například vidět, jak ukazatelé vždy nemusí odrážet skutečný stav soustavy. Například nárůst v roce 2015 u společnosti ČEZ Distribuce, byl způsoben hlavně kumulací poruch vlivem špatných povětrnostních podmínek zejména v měsíci březnu a červenci. [14]

⁸ CAIDI = SAIDI/SAIFI

Ukazatele nepřetržitosti dodávky se sledují v mnoha zemích Evropy. Ovšem princip jejich výpočtu, není jednotný. Z tohoto důvodu nelze porovnávat ani jednotlivé země mezi sebou, ale určitou představu o stavu jejich elektrizační sítě lze přesto získat. Porovnání je možné vidět na obrázku 5.3.



Obr. 5.3: Celkové SAIDI (zahrnovány plánované, neplánované i mimořádné události) [26]

Modrá barva je přiřazena státům, jejichž systém výpočtu je obdobný. Naopak červeně jsou státy s odlišným. Světlá barva pak značí hodnotu pro poslední dostupný rok a tmavá průměr za posledních 5 let.

5.4 Příčiny nedodávky

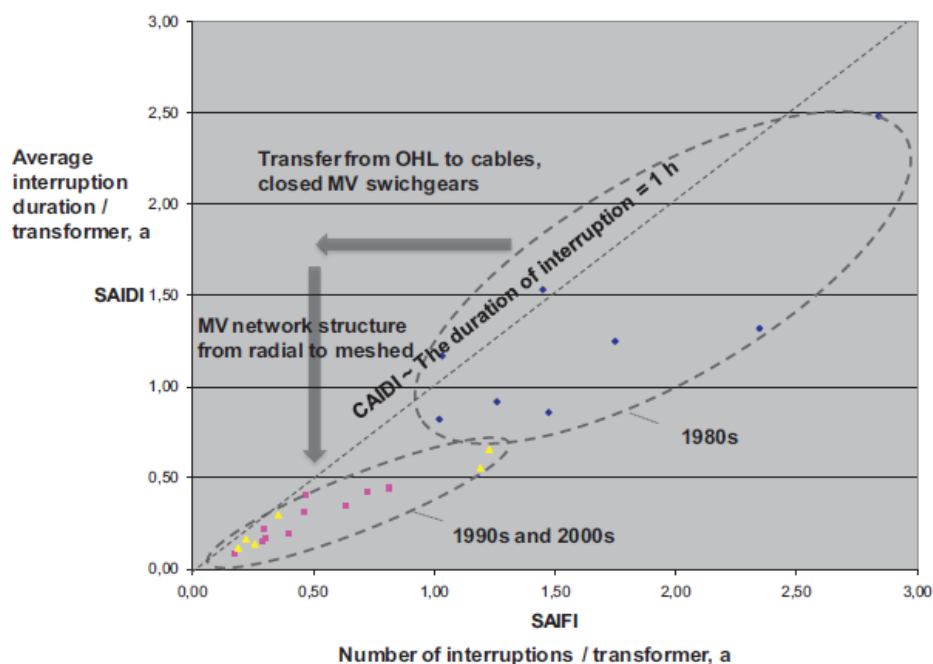
Mohou to být poruchy způsobené extrémními povětrnostními podmínkami, špatným fyzickým stavem zařízení z důvodu výroby či opotřebením. Zde to mohou být například zkraty uvnitř transformátorů, prasklé průchodky, či izolátory, nebo vadné stožáry. Dále poruchy v důsledku události mimo soustavu a u výrobce, jednáním třetí osoby, či chybou manipulací obsluhy. Nedodávka může být v neposlední řadě způsobena vynuceně, kvůli mimořádným stavům (přetížení soustavy). [19] Kromě právě uvedených, neplánovaných událostí, může být nedodávka zapříčiněná i stavy plánovanými. Revize, údržba, výměna zařízení, opravy, či kupříkladu i průjezd vysokých vozidel pod vedením.

5.5 Zlepšení ukazatelů nepřetržitosti

Možností jak zlepšovat ukazatele nepřetržitosti dodávky má provozovatel hned několik. Velké zlepšení přináší kabelizace. Kabel není vystavován vnějším nepříznivým vlivům a tak jeho průměrná poruchovost je několiknásobně menší než u venkovního vedení. Nezanedbatelný přínos mají jistě i pravidelné revize a údržba zařízení, výměny starých dožívajících zařízení, či častější prořezy koridorů v lesních úsecích.

Vliv na rychlost odstranění poruchy může mít i dobrá koordinace prací a komunikace pracovníků. Jelikož čas nedodávky tvoří pouze najetí přesného místa poruchy, ale také samotné odstranění příčiny. Pokud se toto odstranění dělá zmatečně a neorganizovaně, může to prodloužit čas do obnovení provozu a tím zhoršit ukazatele.

Zlepšení se dá také očekávat v případě použití distribuční automatizace, na kterou je zaměřena tato práce. Ta výrazně ulehčuje a zrychluje rekonfiguraci sítě. Je dáno vyhláškou ERÚ, že do ukazatelů se promítnou pouze poruchy trvající déle než 3 minuty. Pokud se tedy závada stihne do tohoto času vymanipulovat a minimalizuje se počet zasažených odběratelů, nepromítne se tato událost do výpočtu ukazatelů. Dalším řešením je také možnost kruhování, kdy v případě, že máme možnost paprsek napájet z obou stran, lze poruchu úplně izolovat a nemusí být v ideálním případě postihnut žádný odběratel.



Obr. 5.4: Zlepšení ukazatelů v Helsinkách v průběhu přibližně 20 let [25]

6 Strategie pro nasazování distribuční automatizace (případová studie)

Jak je zmíněno v úvodu práce, praktická část se zabývá strategií pro nasazování DA, konkrétními návrhy a jejich přínosem. Abych byl tohoto schopen, musím si nejprve definovat, jakým způsobem budu vybírat místa v síti, kde distribuční automatizace přinese největší užitek z pohledu snížení ukazatelů nepřetržitosti dodávky.

Můj postup při řešení bude následující: Ze statistických údajů vypočítám ukazatel SAIDI a SAIFI pro každý vývod, vývody s nejvyšší hodnotou podrobněji analyzuji a několik jich vyberu k detailnímu rozboru a konkrétnímu návrhu. Pro vzájemné posuzování vývodů se nabízí tři cesty: čistě podle SAIDI, nebo naopak SAIFI, či kombinací obou. Pro moje zpracování bude mít větší váhu pořadí vývodů podle SAIDI, ovšem i tak nebudu zcela ignorovat pořadí dle SAIFI. Pokud se bude jednotlivé pořadí znatelně lišit je potřeba definovat, proč tomu tak je. K preferování ukazatele SAIDI pro vyhodnocování, se rozhoduji z několika důvodů:

- Přidáním DA, získá distribuční soustava snadnější, ale hlavně rychlejší schopnost měnit topologii sítě. Ať se jedná o poruchové, nebo bezporuchové stavy. Ovlivňuje tedy čas (např. dobu nedodávky).
- Ukazatel SAIFI nám podává informaci, kolik připadá poruch na jednoho odběratele. Bezesporu tuto hodnotu sníží například REC, jelikož část odběratelů nebude kvůli manipulacím odpojena, tudíž ani nezaznamená poruchu. Ovšem vezměme si situaci, kdy vývod bude trpět častým výskytem poruch, které se ovšem vždy podaří vypátrat za krátký čas. Pro tuto situaci vyjde SAIFI vysoké, ale účinnějším řešením než DA, zde bude například částečná kabelizace.
- Oproti tomu SAIDI nám přímo řekne, u jakých vývodů zabere hledání místa poruchy nejdélší čas. A právě tento problém je nejlépe řešitelný distribuční automatizací.

Jelikož poruchy jsou náhodné jevy, tak pro co největší objektivitu a minimalizaci náhody je dobré uvažovat co nejdélší časové období. Z toho důvodu uvažuji souhrnné informace za všechny roky, které mi byly poskytnuty.

6.1 Vstupní data

Primárním zdrojem dat jsou záznamy, o všech událostech vzniklých v distribuční soustavě společnosti E.ON na hladině 22 kV, mající za následek výpadek napájení. Data jsou za roky 2009 až 2015. Celkově se jedná o 264 213 záznamů. Každá událost má své specifické číslo jakým je zanesena v souboru. Je důležité říci, že každý řádek odpovídá výpadku napájení konkrétní distribuční trafostanice. Tudíž jedna událost (jedno konkrétní evidenční číslo) může být uvedena na více řádcích.

Jako událost není brána pouze porucha, ale jakákoliv příčina vedoucí k odpojení odběratelů, například údržba, opravy, průjezdy velkých vozidel pod vedením, atd.

Druhý dokument pro vypracování práce jsou informace o topologii sítě 22 kV. Jednak schéma soustavy s názvy vývodů, distribučních transformátorů všech instalovaných úsečnicků spolu s číselným označením. Dále pak Excel soubor s kódovým i slovním označením všech rozvodných oblastí, jejich příslušných rozveden, vývodů a úseků. Pro každý úsek je uveden i počet distribučních trafostanic (DTS) a OM.

Popis dat

Ke každé události v soustavě jsou kromě evidenčního čísla uvedeny další informace. Název rozvodny a jejího vývodu, na kterém událost vznikla, popřípadě pokud byl na vině vývod NN, tak jeho označení. Dále zde jsou časové údaje. Vždy konkrétní den, měsíc, rok a čas. Je uvedena doba vzniku události (označená T0), doba první manipulace (T1), vymanipulování úseku s poruchou (T2) a nakonec odstranění závady a obnovení normálního provozu (T3).

Následují informace o počtu postižených odběratelů jednak v době vymanipulování (označeno Z1), tak během odstraňování (Z2) a to jak na hladině NN, tak VN.

Dále je uvedeno evidenční číslo a název každého distribučního transformátoru, který byl během události bez napájení (bez ohledu, zda po celou dobu trvání, nebo jen během vymanipulování).

Ke každé události je uvedena i kategorie, do které spadá, podle svého charakteru. Kategorie jsou definovány v PPDS, příloha 2.

Tab. 6.1: Kódové označení pro zaznamenávání událostí [19]

Kód	Typ události
1	Neplánovaná
2	Plánovaná
11	Porucha mající původ v zařízení přenosové nebo distribuční soustavy provozovatele soustavy, nebo jejím provozu za obvyklých povětrnostních podmínek
12	Porucha v důsledku zásahu, nebo jednání třetí osoby
13	Porucha v důsledku události mimo soustavu a u výrobce
14	Mimořádné
15	Vynucené
16	Porucha mající původ v zařízení přenosové nebo distribuční soustavy provozovatele soustavy nebo jejím provozu za nepříznivých povětrnostních podmínek

Kompletní kód má podobu yy.x. Tedy například 13.1 (neplánovaná porucha v důsledku události mimo soustavu a u výrobce), či 13.2 (plánovaná porucha v důsledku události mimo soustavu a u výrobce).

V záznamech je také uvedeno počasí panující během události, obecná příčina (pokud je známa), jaká ochrana zapůsobila a v některých případech i slovní poznámky dispečerů.

Každá událost je popsána více parametry, než jsem zde uvedl (celkově jich je 59), vypsal jsem hlavně ty, které měly své opodstatnění při zpracování.

6.2 Zpracování dat

Nyní objasním, jakým způsobem jsem získal vývody uvedené ve finálních tabulkách 6.2 a 6.3. Pro získání tohoto seznamu vývodů jsem vždy používal funkce a nástroje programu Excel tak, aby platili pro všechny data. Nikdy jsem nepoužíval ruční úpravy a tak je tento můj postup snadno replikovatelný. Veškerá zpracovaná data jsou na přiloženém CD.

Zjednodušení a filtry

Po dohodě s konzultantem diplomové práce, byla do hodnocení zahrnuta jen oblast E.ON Západ, tedy pouze Jihočeský kraj a to z důvodu zjednodušení. Také neuvažuji některé události zanesené v záznamech. Práce má za cíl vyšetřit možnosti snižování ukazatelů nepřetržitosti. Tudíž do výpočtů zahrnuji pouze typy události, které ERÚ určil k výpočtu ukazatelů (viz kapitolu 5.1). Jsou to události s kódovým označením 11.1⁹ a 11.2¹⁰ (viz tab. 6.1). Rovněž nezahrnuji ty události jejich délka trvání, nebyla delší než 3 minuty.

Abych posuzoval pouze situace, na které by DA mohla mít pozitivní vliv, musím odstranit události, jejich příčinou byla pojistka VN a porucha u odběratele a výrobce. Dále zahrnuji pouze časy pro vymanipulování poruchy (rozdíl T2-T1), nikoliv však už pro její odstranění. Protože DA, nepřispívá k rychlosti odstraňování poruchy (například neurychlí odstraňování spadlého stromu).

Popis činností

Jak jsem uvedl v kapitole 6.1, každá porucha s určitým evidenčním číslem je na více řádcích. Pro správné vyhodnocení je potřeba odstranit možné duplicitní záznamy a provést souhrny. Každý řádek v tabulce odpovídá výpadku jedné konkrétní distribuční trafostanice. Během hledání postižených vývodů, se ovšem může stát, že určitá DST je vypnuta vícekrát. Je tudíž potřeba odstranit ty řádky u nich je evidenční číslo události a transformátoru shodné a zachovat pouze jediné. Poté musím pro každé evidenční číslo poruchy, dostat součet všech OM, které byly postiženy při manipulacích a při odstraňování.

⁹ Neplánovaná porucha mající původ v zařízení PS, nebo DS provozovatele soustavy, nebo jejím provozu za obvyklých povětrnostních podmínek

¹⁰ Plánovaná porucha mající původ v zařízení PS, nebo DS provozovatele soustavy, nebo jejím provozu za obvyklých povětrnostních podmínek

Tímto docílím, že daná porucha je pouze v jednom řádku, ale podává souhrnné informace o události jako celku. Je jasné, že tímto ztrácím informaci, jaké TR byly postiženy, ovšem pro výpočet SAIDI i SAIFI nejsou potřeba.

Nyní už mohu vypočítat ukazatel SAIDI pro každý vývod za jednotlivé roky, tak i celkově. Jelikož nemám podrobné informace o tom, jak každá manipulace probíhala, rozhodl jsem se zvolit pro výpočet lichoběžníkovou metodu. Příklad výpočtu je uveden na konci této podkapitoly. Ukazatel SAIFI vypočítám dle vzorce uvedeného v kapitole 5.1.

Poté za pomoci kontingenčních tabulek vytvořím finální tabulky 6.2 a 6.3.

Všechny výpočty vztahuji k celkovému počtu OM společnosti E.ON, což je 1 442 610¹¹ odběrných míst.

Problémy

Při podrobnějším zkoumání schématu soustavy a jejím Excel výpisu zjišťuji, že nebyly pořízeny ve stejném časovém období a v některých případech se neshodují. Topologie sítě se v průběhu let měnila. Některé úseky vývodů byly zařazeny pod jiný vývod, přidaly se nové stanice, některé zanikly, nebo změnily své označení.

Jelikož v detailnějším rozboru v kapitole 6.3 je důležité fyzické zapojení, budu brát schéma topologie jako výchozí.

¹¹ Hodnota získána z Excel souboru použitého při zpracování dat.

6.3 Výběr vývodů

Zde uvedené tabulky ukazují pořadí všech vývodů jednak podle SAIDI (tab. 6.2), ale také podle SAIFI (tab. 6.3). Vývody jsou seřazené podle celkové hodnoty za všech sedm let od největší k nejmenší. Ukázáno je pouze prvních 14 s největší hodnotou.

Tab. 6.2: Výsledné pořadí vývodů dle ukazatele SAIDI

Vývod	SAIDI 2009	SAIDI 2010	SAIDI 2011	SAIDI 2012	SAIDI 2013	SAIDI 2014	SAIDI 2015	ΣSAIDI
E.ON západ	7,1394	8,1575	14,3709	10,6414	4,8203	5,9619	7,6785	58,7699
Rožmitál (vet)	0,0322	0,2598	0,1480	0,0854	0,2032	0,0882	1,2314	2,0483
Frymburk (eli)	0,1258	0,3687	1,0121	0,1412	0,0000	0,1493	0,1259	1,9230
Netřebice (dom)	0,0000	0,3559	0,3255	0,5560	0,2332	0,0223	0,0455	1,5385
Soběslav (ves)	0,0000	0,3219	0,0000	0,8651	0,0000	0,1396	0,0571	1,3838
Planá (vet)	0,2537	0,1133	0,5020	0,0000	0,1659	0,3351	0,0000	1,3701
Rápotice (hum)	0,0462	0,2497	0,0731	0,0000	0,0703	0,1120	0,6902	1,2415
Kunžak (hra)	0,0407	0,2749	0,2813	0,2719	0,0371	0,0385	0,1825	1,1268
Sepekov (bex)	-	0,2004	0,3614	0,2340	0,0644	0,1777	0,0287	1,0667
Smědeč (pra)	0,2615	0,0194	0,4264	0,0704	0,1180	0,1673	-	1,0630
Olšina (vet)	0,0586	0,0223	0,3496	0,1434	0,0515	0,1614	0,2684	1,0553
Stráž (hra)	0,1639	0,2205	0,1632	0,1181	0,0640	0,0329	0,2051	0,9678
Staňkov (bex)	0,3167	0,1516	0,3230	0,0000	0,0000	0,0000	0,1390	0,9303
Čkyně (str)	0,4106	0,4200	-	0,0213	0,0741	-	0,0042	0,9303
Husinec (pra)	0,2948	0,0660	0,2341	0,0036	0,1422	0,1499	-	0,8906

Tab. 6.3: Výsledné pořadí vývodů dle ukazatele SAIFI

Vývod	SAIFI 2009	SAIFI 2010	SAIFI 2011	SAIFI 2012	SAIFI 2013	SAIFI 2014	SAIFI 2015	ΣSAIFI
E.ON Západ	0,17388	0,18200	0,27811	0,20618	0,13149	0,16682	0,13766	1,27614
Frymburk (eli)	0,00278	0,00790	0,00734	0,00446	0,00000	0,00575	0,00144	0,02968
Planá (vet)	0,00503	0,00173	0,01212	0,00000	0,00166	0,00706	0,00000	0,02760
Sepekov (bex)	0,00000	0,00380	0,00579	0,00693	0,00351	0,00380	0,00187	0,02569
Olšina (vet)	0,00189	0,00109	0,00381	0,00351	0,00110	0,00591	0,00770	0,02500
Netřebice (dom)	0,00000	0,00721	0,00416	0,00712	0,00167	0,00165	0,00209	0,02389
Stráž (hra)	0,00527	0,00364	0,00374	0,00378	0,00178	0,00178	0,00357	0,02356
Slavonice (dac)	0,00577	0,00292	0,00531	0,00359	0,00247	0,00193	0,00000	0,02199
Rápotice (hum)	0,00145	0,00384	0,00443	0,00000	0,00137	0,00392	0,00610	0,02110
Staňkov (bex)	0,00333	0,00337	0,01053	0,00000	0,00000	0,00003	0,00328	0,02053
Lomnice (ves)	0,00697	0,00253	0,00177	0,00041	0,00000	0,00172	0,00517	0,01856
Sedlec (tab)	0,00280	0,00142	0,00288	0,00410	0,00416	0,00137	0,00140	0,01812
Žirovnice 1 (poc)	0,00285	0,00444	0,00148	0,00328	0,00140	0,00281	0,00140	0,01767
Kunžak (hra)	0,00226	0,00172	0,00415	0,00411	0,00098	0,00101	0,00280	0,01703
Strmilov (hra)	0,00000	0,00000	0,00479	0,00268	0,00543	0,00316	0,00000	0,01605

Dle výše uvedených tabulek budou v podkapitole 6.4 posuzovány následující vývody: Frymburk, Netřebice, Rožmitál, Planá, Soběslav. Uvedené pořadí odpovídá i prioritě.

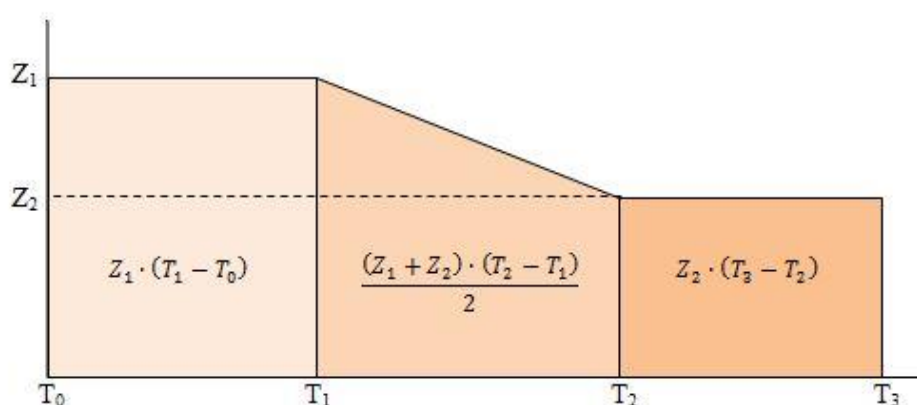
Zdůvodnění

I přesto, že vývod Rožmitál má ukazatel SAIDI nejvyšší, rozhodl jsem se ho dát na třetí místo a vývod Netřebice na druhé. Na výsledném čísle se u něj nejvíce projevil rok 2015, kdy hodnota SAIDI činila 1,2314 min/OM. Byla způsobena třemi závadami s enormně dlouhými časy. Vynechám-li tento rok, tak vývod Netřebice má ze čtyř roků ze šesti vyšší hodnotu SAIDI. Navíc je zde větší četnost poruch a složitější topologie. Vývod Frymburk tak díky tomu vystoupil prioritou na první místo.

Další volba byla mezi vývody Soběslav a Rápotice. Rozhodl jsem se pro Soběslav i přesto že ukazatelem SAIFI se neumístila ani mezi nejhoršími patnácti. K jejímu rozboru mě vedlo hlavně potencionální riziko. Napájí celkem 5419 OM (o 3435 více než vývod Rápotice) a na jejím hlavním kmeni se nachází mnoho odboček, na jejichž začátku není žádný úsečník a tudíž poruchy na nich vzniklé ovlivní hlavní kmen.

Lichoběžníková metoda – výpočet SAIDI

Je vhodná v případech kdy pro výpočet známe pouze počet postižených OM před manipulací (Z_1) a po manipulaci (Z_2). Respektuje skutečnost, že během vymanipulování poruchy se odběratelé přepojují na jiné napájení a zmenšuje se tak jejich počet. Princip je znázorněn v obrázku 6.1.



Obr. 6.1: Grafický princip lichoběžníkové metody [16]

Na ose x je uveden čas. Doba vzniku události (T_0), doba první manipulace (T_1), vymanipulování úseku s poruchou (T_2) a nakonec odstranění závady a obnovení normálního provozu (T_3).

Ukázka výpočtu pro vývod Rožmitál za rok 2015

Tab. 6.4: Souhrné hodnoty z poruch za rok 2015

Číslo	Rozvodna	Vývod	Rok	Vymanipulování (min)	Z1 Nn	Z2 Nn	Z1 Vn	Z2 Vn
P1505384	Větrní	Rožmitál (vet)	2015	0	181	181	0	0
P1507059	Větrní	Rožmitál (vet)	2015	1411	1758	154	13	0
P1522479	Větrní	Rožmitál (vet)	2015	457	1820	0	11	0

Součty postižených zákazníků pro poruchu č. P1505384

$$Z_1^{(1)} = Z_{1nn} + Z_{1vn} = 181 + 0 = 181 \text{ OM}$$

$$Z_2^{(1)} = Z_{2nn} + Z_{2vn} = 181 + 0 = 181 \text{ OM}$$

Součty postižených zákazníků pro poruchu č. P1507059

$$Z_1^{(2)} = Z_{1nn} + Z_{1vn} = 1758 + 13 = 1771 \text{ OM}$$

$$Z_2^{(2)} = Z_{2nn} + Z_{2vn} = 154 + 0 = 154 \text{ OM}$$

Součty postižených zákazníků pro poruchu č. P1522479

$$Z_1^{(3)} = Z_{1nn} + Z_{1vn} = 1820 + 11 = 1831 \text{ OM}$$

$$Z_2^{(3)} = Z_{2nn} + Z_{2vn} = 0 + 0 = 0 \text{ OM}$$

Výsledné SAIDI vztažené na celkový počet odběratelů společnosti E.ON (1442610 OM)

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{(Z_1^{(1)} + Z_2^{(1)}) \cdot T^{(1)}}{2} + \frac{(Z_1^{(2)} + Z_2^{(2)}) \cdot T^{(2)}}{2} + \frac{(Z_1^{(3)} + Z_2^{(3)}) \cdot T^{(3)}}{2} \\
 &= \frac{(181 + 180) \cdot 0}{2} + \frac{(1771 + 154) \cdot 1411}{2} + \frac{(1831 + 0) \cdot 457}{2} \\
 &= 177641
 \end{aligned}$$

$$SAIDI = \frac{k}{1442610} = \frac{177641}{1442610} = 1,2314 \text{ min/OM}$$

6.4 Rozbor vybraných vývodů

Nyní u vybraných vývodů navrhnu několik variant umístění a výběru DA a provedu zjednodušené technicko-ekonomické zhodnocení. Po ekonomické stránce uvažuji pouze přibližné náklady na pořízení. Cena nezahrnuje dopravu, instalaci, integraci prvku do současného systému řízení, údržbu a další případné náklady. Neuvažuji ani ekonomickou návratnost prvků. Problematiku podrobného ekonomického zhodnocení lze najít v [21], [22] a mnoha dalších pracích. Nové prvky budu uvažovat místo současných. Pro zvolení nového místa umístění prvku jsou potřeba přesné informace o vývodu, které mi nebyly poskytnuty.

Při určování konkrétního místa nasazení DA ve vývodu se budu rozhodovat převážně podle míst poruch a rozmístění odběrných míst.

Hledání místa poruch

Jak bylo řečeno v kapitole 6.1, do záznamů je zapsána každá distribuční trafostanice, která se ocitla bez napětí. Bez ohledu na to jestli během manipulací, nebo odstraňování závady. Musím proto z poruch vyfiltrovat ty řádky, jejichž $Z2^{12}$ se rovná nule. To znamená, že zůstanou pouze ty stanice, které byly bez napájení i po vymanipulování a je tedy jasné, že v jejich blízkosti vznikla porucha. Pro co nejpřesnější určení skutečného místa poruchy již pracuji ručně se seznamem topologie, schématem a popřípadě poznámkami dispečerů, pokud jsou uvedeny.

Definování přínosu jednotlivých automatizačních prvků

Pro hodnocení variant je potřeba stanovit přínos jednotlivých prvků distribuční automatizace. Tedy procentní hodnotu o kolik sníží ukazatele nepřetržitosti při současném stavu. Bohužel obecný přínos DA, není nikde vyčíslen. Je to dáno tím, že přínosnost prvků DA, závisí na mnoha faktorech. Například aktuálním přístrojovém vybavení vývodu, kam prvek umístíme, rozmístění odběratelů a topologie, ale také četnost poruch.

¹² Počet OM postižených nedodávkou během odstraňování poruchy.

Pokusím se nyní odhadnout vliv DA na jednotlivé ukazatele. Bude se jednat pouze o orientační čísla, ovšem představu o výhodách jednotlivých navrhovaných variant poskytnou.

Vliv na SAIDI

Z interních záznamů společnosti E.ON mi byla poskytnuta hodnota procentního snížení SAIDI pro recloser. Ta byla určena na základě pilotního projektu na linkách Malčice a Kasejovice. Zde byly nasazeny 3 reclosery a posléze vyhodnocena data, která byla aproximována na celé území společnosti E.ON a s ohledem na historicky zaznamenanou poruchovost byla vyvozena hodnota 14%.

Jelikož tato hodnota je již společností standardně používána vzal jsem ji jako výchozí a zbývající k ní vztáhnul. Zbylé hodnoty jsem určil odhadem na základě mnou provedeného příkladu a článků zabývajících se obdobnou problematikou (viz [22], [23]). Mnou provedený příklad je uveden v příloze 1, aby nenarušoval posloupnost textu. Je v něm spočítána hodnota SAIDI na skutečném vývodu při poruše, při aktuálním stavu a poté při použití jednotlivých prvků. Dále vyčíslen procentní přínos a ve stejném poměru k recloseru vztáhnut k hodnotě 14%. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 6.5.

Tab. 6.5: Přínos a pořizovací ceny prvků DA

Prvek	Snížení SAIDI (%)	Požizovací cena (kč)
DOÚ bez měření	5,5 ¹³	220 000
DOÚ s měřením	9 ¹³	350 000
Recloser	14	410 000
Indikátor	5 ¹³	15 000

Vliv na SAIFI

Z důvodu toho, že DOÚ by neměl vypínat poruchové proudy, jediný prvek, který může mít vliv na ukazatel SAIFI je recloser. Díky němu není potřeba při dohledávání poruchy manipulovat vypínačem v rozvodně a tedy vypínat celý vývod, ale využijeme jeho předsazení. Ilustrativní příklad přínosu REC je uveden v příloze 2.

¹³ Jedná se o odhadovanou hodnotu vztaženou ke známé hodnotě pro recloser.

Vzhledem k tomu, že v následujícím rozboru potřebuji posuzovat varianty nasazování různých prvků DA mezi sebou, budu v něm vycházet pouze z jejich vlivu na SAIDI a pořizovací ceny. V konečném zhodnocení však vliv REC na ukazatel SAIFI zahrnu.

6.4.1 Vývod Frymburk

Schéma vývodu s místy poruch a počty OM je na obrázcích 6.2 a 6.3. Jedná se o výřez z topologie soustavy 22 kV poskytnuté společností E.ON. Na obrázku 6.2 jsou ukázána místa poruch za posledních 7 let. Na obrázku 6.3 pak rozložení OM po celé délce vývodu. Některá místa závad jsem dokázal určit velice přesně, ovšem pro některá chyběly potřebné záznamy a proto bylo možné je dohledat jen v rámci úseků na hlavním kmeni.

Na základě těchto údajů, jsem zvolil nejlepší místa pro instalaci prvků distribuční automatizace ve čtyřech variantách. Ty se liší druhy použitých prvků. Jednotlivé varianty jsou rozepsány v tabulce 6.6, spolu s očekávaným zlepšením SAIDI a celkovými investičními náklady. Pro varianty uvedu i princip, jakým by vývod po instalaci navrhovaných prvků pracoval.

Pro další vybrané vývody použiji totožný postup. Proto budu uvádět pouze tabulky s danými řešeními.

Návrh řešení

Současná hodnota ukazatele SAIDI činí 1,9230 min/OM, vývod je druhý v pořadí dle velikosti SAIDI a první dle SAIFI. Na vývodu je celkově 2077 OM.

Tab. 6.6: Navrhované varianty pro vývod Frymburk

Varianta	Použité prostředky	Umístění	Výsledné SAIDI (min/OM)	Investiční náklady (kč)
a)	DOÚ s měřením	674	1,7499	350 000
b)	Recloser	673 (přesun současného na 674)	1,6538	410 000
c)	„a)“ + 2 indikátory	začátek odb. Lojzovy paseky a v blízkosti 675	1,5749	380 000
d)	„b)“ + 2 indikátory	začátek odb. Lojzovy paseky a v blízkosti 675	1,4884	440 000

Zvolení místa pro instalaci prvků je odůvodněno níže jako součást popisu očekávané funkce.

Výsledné SAIDI pro jednotlivé varianty dostanu tak, že současnou hodnotu ponížím o procentní přínos daného prvku z tabulky 6.5. Pokud některá varianta obsahuje více prvků, vycházím z varianty o jednom prvku.

$$a) SAIDI = 1,9230 - (1,9230 \cdot 0,09) = 1,7499 \text{ min/OM}$$

$$b) SAIDI = 1,9230 - (1,9230 \cdot 0,14) = 1,6538 \text{ min/OM}$$

$$c) SAIDI = 1,7499 - (1,7499 \cdot 2 \cdot 0,05) = 1,5749 \text{ min/OM}$$

$$d) SAIDI = 1,6538 - (1,6538 \cdot 2 \cdot 0,05) = 1,4884 \text{ min/OM}$$

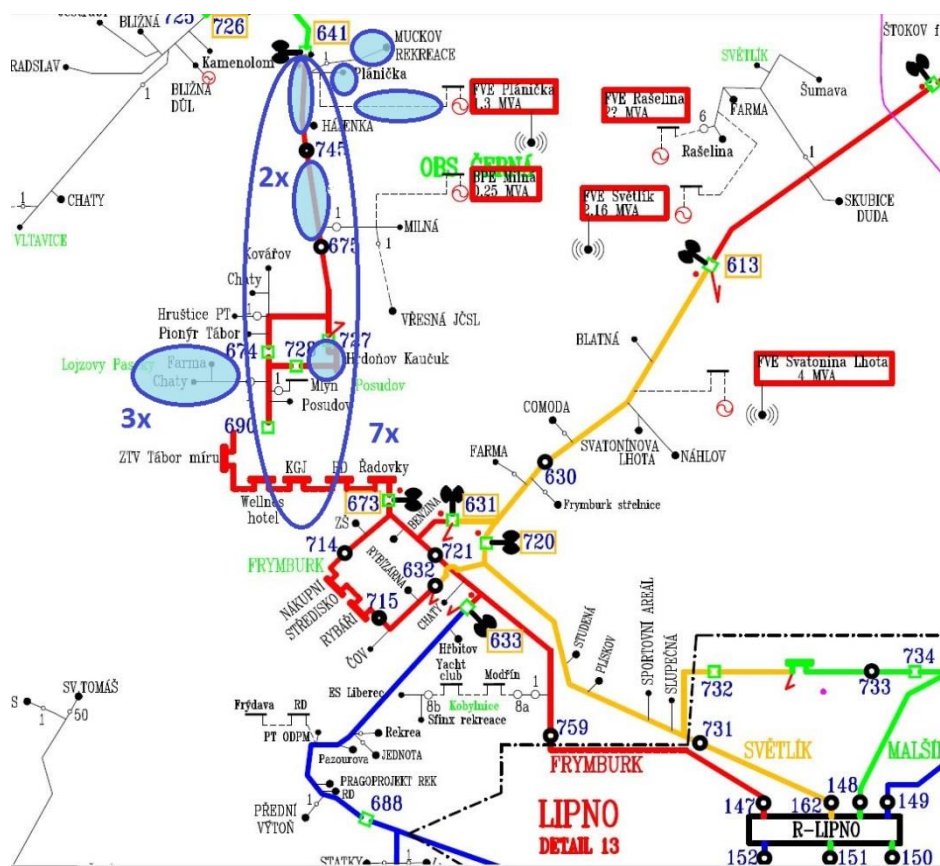
Investiční náklady jsou spočítány dle tabulky 6.5.

Očekávaná funkce jednotlivých variant

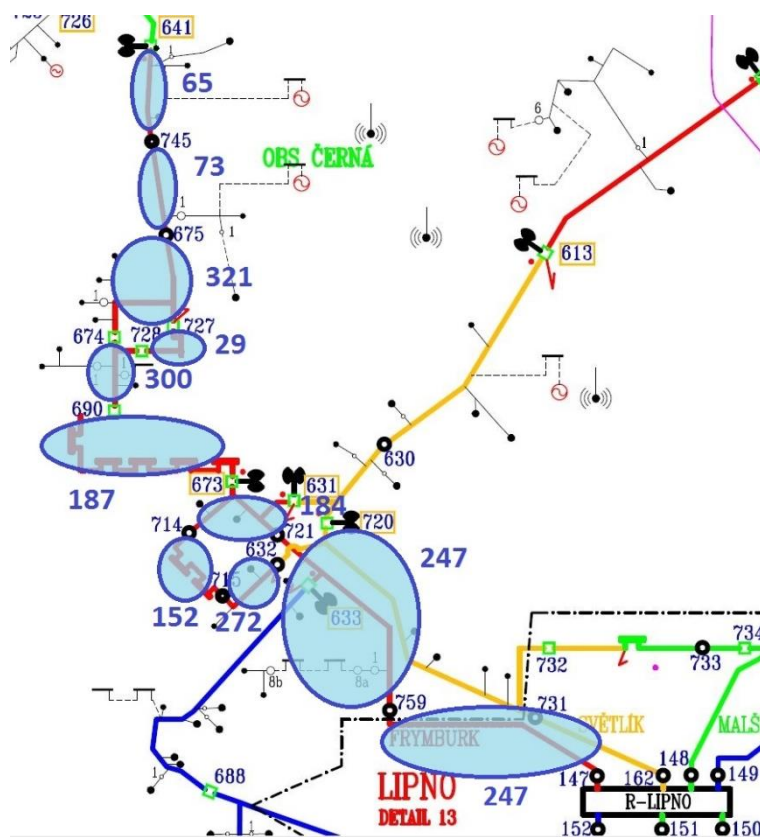
- a) Nyní je vývod rozdělen na tři části. Dispečer má informaci, jestli se porucha nachází na nejporuchovější části linky. Pokud ano pravděpodobně by vyslal četku k ÚO 675 pro přesnější lokalizaci. Pokud by 674 nesignalizoval průchod poruchového proudu, lze snadno díky již existujícímu DOÚ 673 otestovat úsek mezi nimi, který je druhý nejvíce poruchový.
- b) REC rozdělí vývod přibližně na polovinu z pohledu OM a sleduje, jestli poruchový proud teče do nejvíce poruchového úseku. Pro bližší vymezení poruchy v úseku za REC již není potřeba vypínat celý vývod a lze manipulovat pouze recloserem. Naopak v případě poruchy před REC, je možné sepnout 641 recloser vypnout a poruchu dohledávat pomocí vypínače v rozvodně. Přesun současného úsečníku také zvýší rychlost vymezení postiženého místa.
- c) K výhodám z varianty a) se přidávají informace o průchodu poruchového proudu právě z nejvíce poruchových částí vývodu.
- d) K výhodám z varianty b) se přidávají informace o průchodu poruchového proudu právě z nejvíce poruchových částí vývodu.

Výběr varianty

Vzhledem k faktu, že veškeré dohledané poruchy vznikly v zadní části vývodu a jeho SAIDI je druhé nejhorší ze všech uvažovaných, uskutečnil bych variantu „d)“. Tím se nejlépe oddělí problémový úsek. Ke zvolení varianty s recloserem i přes jeho nejvyšší investiční náklady mě vede také skutečnost, že vývod Frymburk má nejhorší ukazatel SAIFI a právě pouze REC ho může ovlivnit.



Obr. 6.2: Schéma vývodu Frymburk s vyznačenými místy poruch



Obr. 6.3: Schéma vývodu Frymburk s rozložením OM

6.4.2 Vývod Netřebice

Současná hodnota ukazatele SAIDI činí 1,5385 min/OM, vývod je třetí v pořadí dle SAIDI a pátý dle SAIFI. Na vývodu je celkově 2913 OM.

Tab. 6.7: Navrhované varianty pro vývod Netřebice

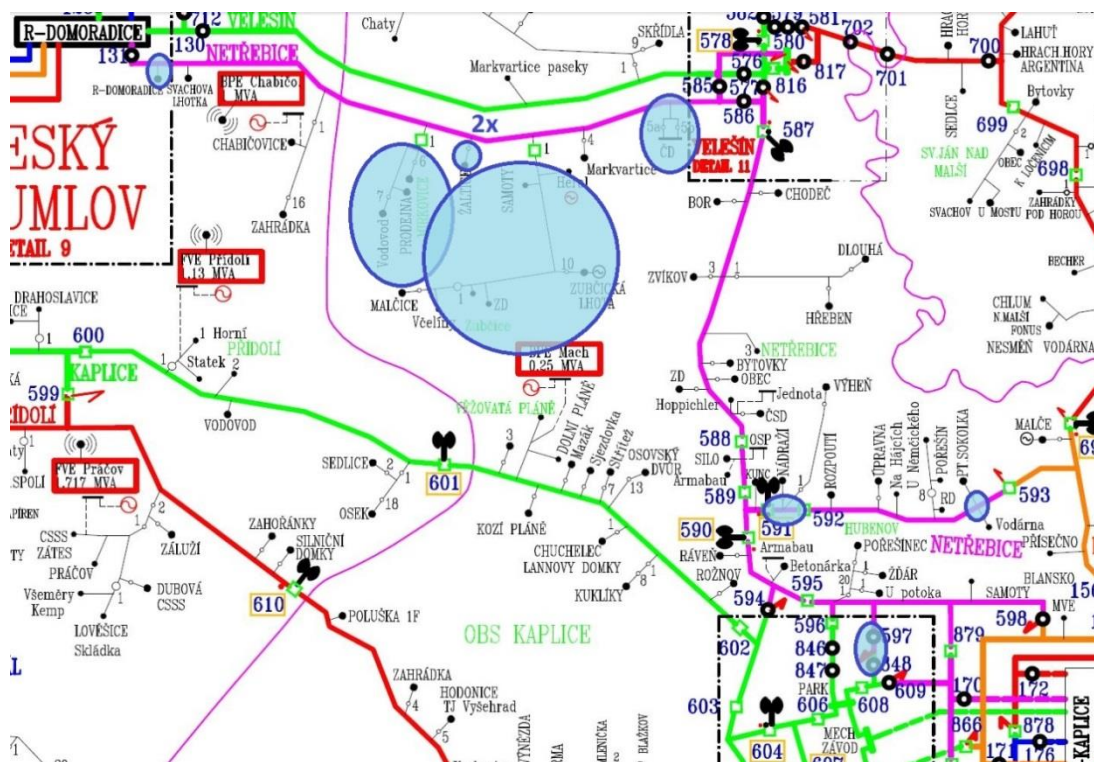
Varianta	Použité prostředky	Umístění	Výsledné SAIDI (min/OM)	Investiční náklady (kč)
a)	DOÚ s měřením	587 (přesun současného na začátek odb. Zubčice)	1,4	350 000
b)	Recloser	590 (přesun současného na začátek odb. Zubčice)	1,3231	410 000
c)	„a)“ + 2 indikátory	začátek odb. Mirkovice a před 591	1,26	380 000
d)	„b)“ + 2 indikátory	591 a 587	1,1908	440 000

Tabulka 6.7 byla zpracována shodným způsobem, který je uveden v kapitole 6.4.1.

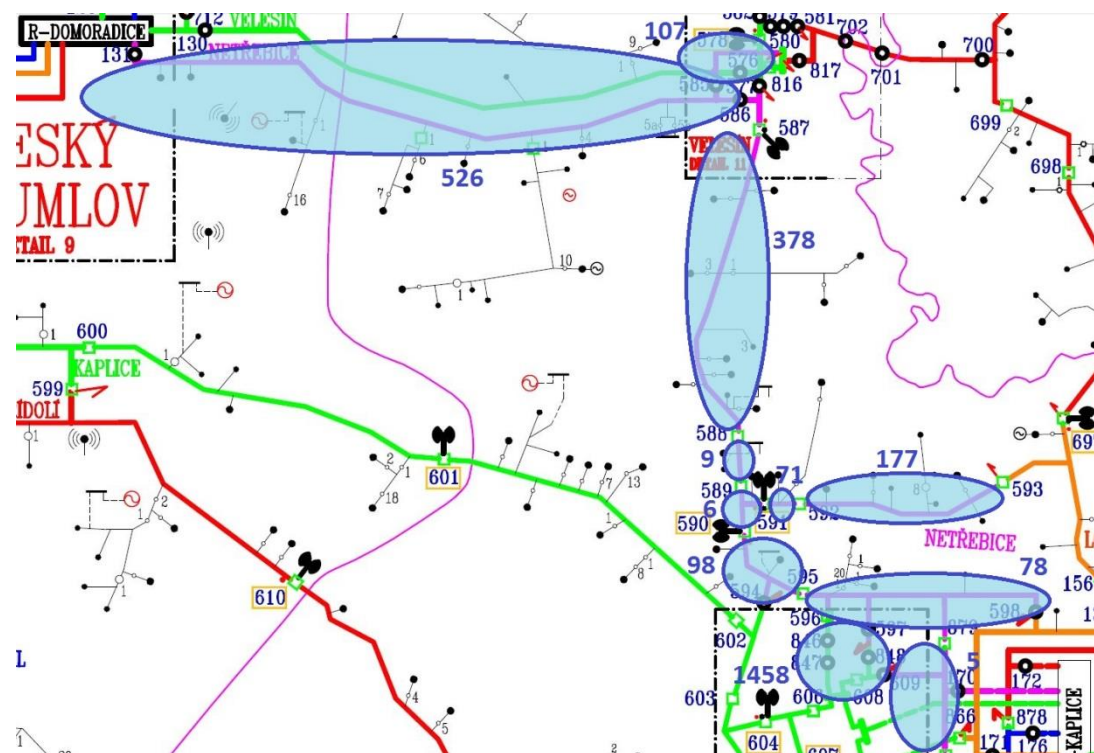
Výběr varianty

Pro tento vývod, kromě možného nasazení DA do vývodu, bych provedl další důležitější opatření. A to instalaci DOÚ bez měření na některá z rozpojovacích míst. Dle mého by nejlepší místa byli u prvku 817 a 593. Vytvořila by se tak možnost zkruhování vývodu s jinými rozvodnami (konkrétně s rozvodnami Mladé a Kaplice).

Na vývodu jsou značně koncentrovaná OM na konci. Proto považuji za důležité oddělit je za pomoci recloseru. I zde se přikláním k nejdražšímu řešení, variantě „d)“.



Obr. 6.4: Schéma vývodu Netřebice s vyznačenými místy poruch



Obr. 6.5: Schéma vývodu Netřebice s rozložením OM

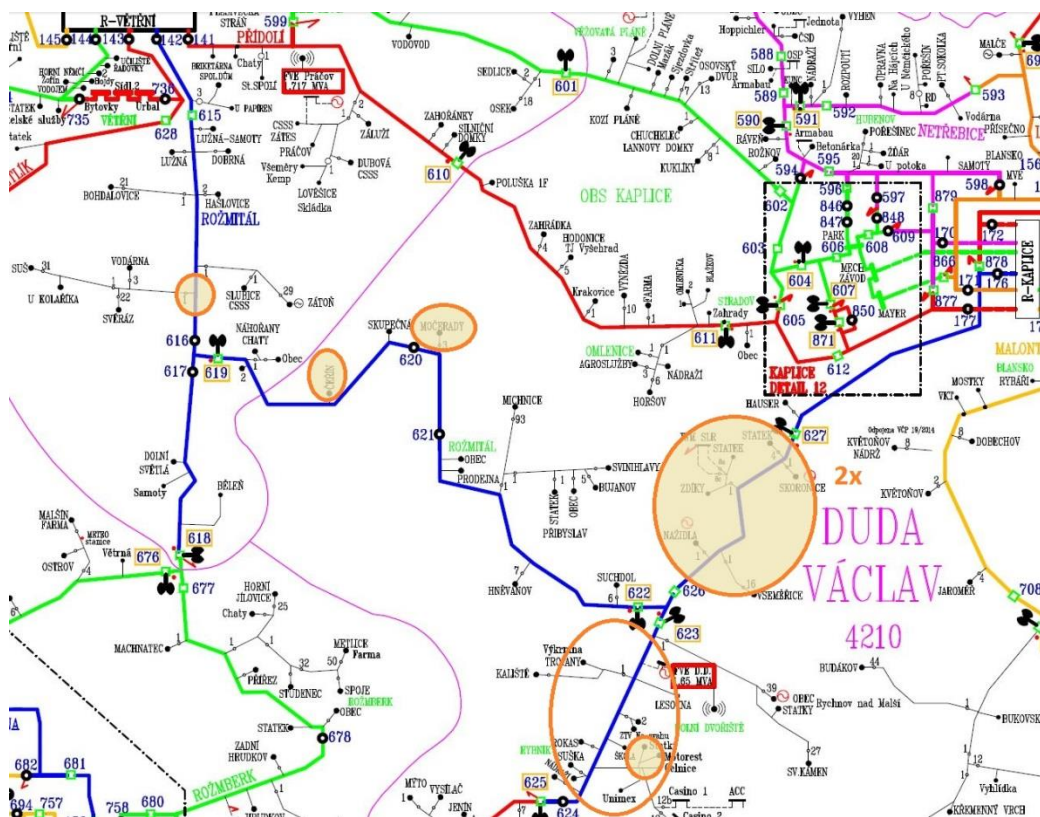
6.4.3 Vývod Rožmitál

Současná hodnota ukazatele SAIDI činí 2,0483 min/OM, vývod je první v pořadí dle SAIDI a šestnáctý dle SAIFI. Na vývodu je celkově 1772 OM.

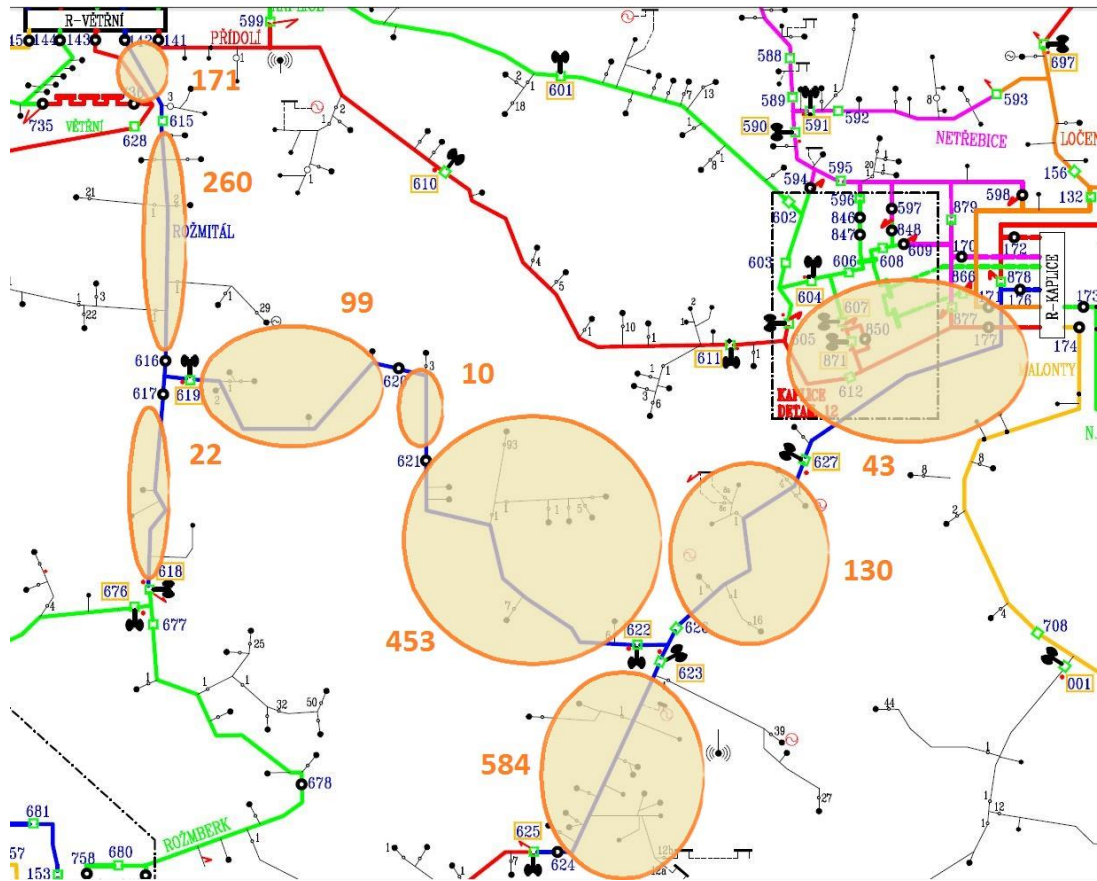
Tab. 6.8: Navrhované varianty pro vývod Rožmitál

Varianta	Použité prostředky	Umístění	Výsledné SAIDI (min/OM)	Investiční náklady (kč)
a)	DOÚ s měřením	622 (přesun současné na 621)	1,8640	350 000
b)	Recloser	622 (přesun současné na 621)	1,7615	410 000
c)	„a)“ + indikátor	619	1,7708	365 000

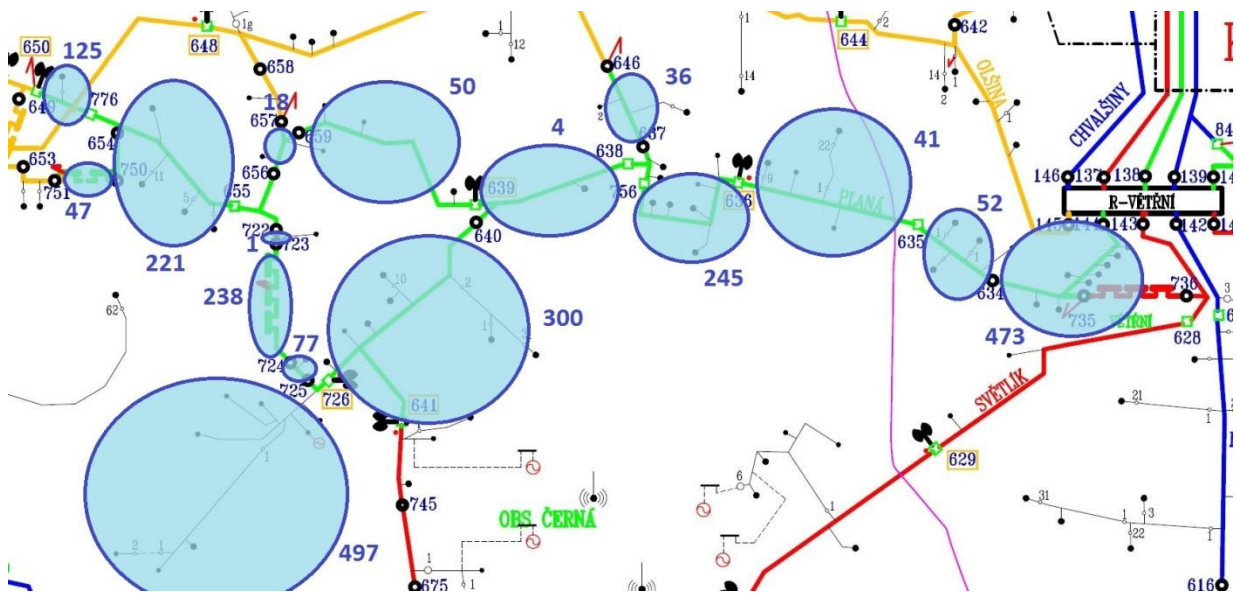
Vývod Rožmitál je svojí topologií jednoduchý a je zatížen malým počtem poruch. Také z důvodu menšího počtu OM jsem se rozhodl pro variantu „c)“.



Obr. 6.6: Schéma vývodu Rožmitál s vyznačenými místy poruch



Obr. 6.7: Schéma vývodu Rožmitál s rozložením OM



Obr. 6.9: Schéma vývodu Planá s rozložením OM

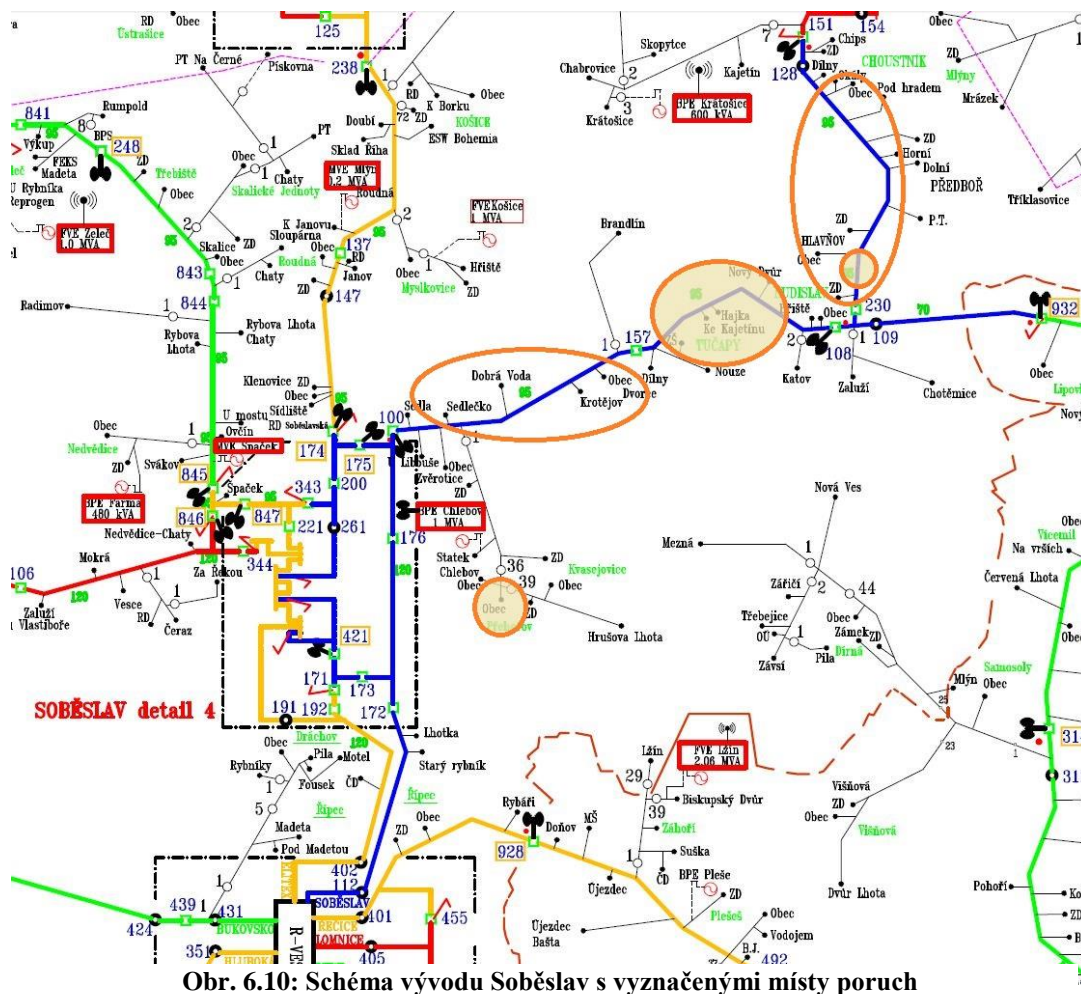
6.4.5 Vývod Soběslav

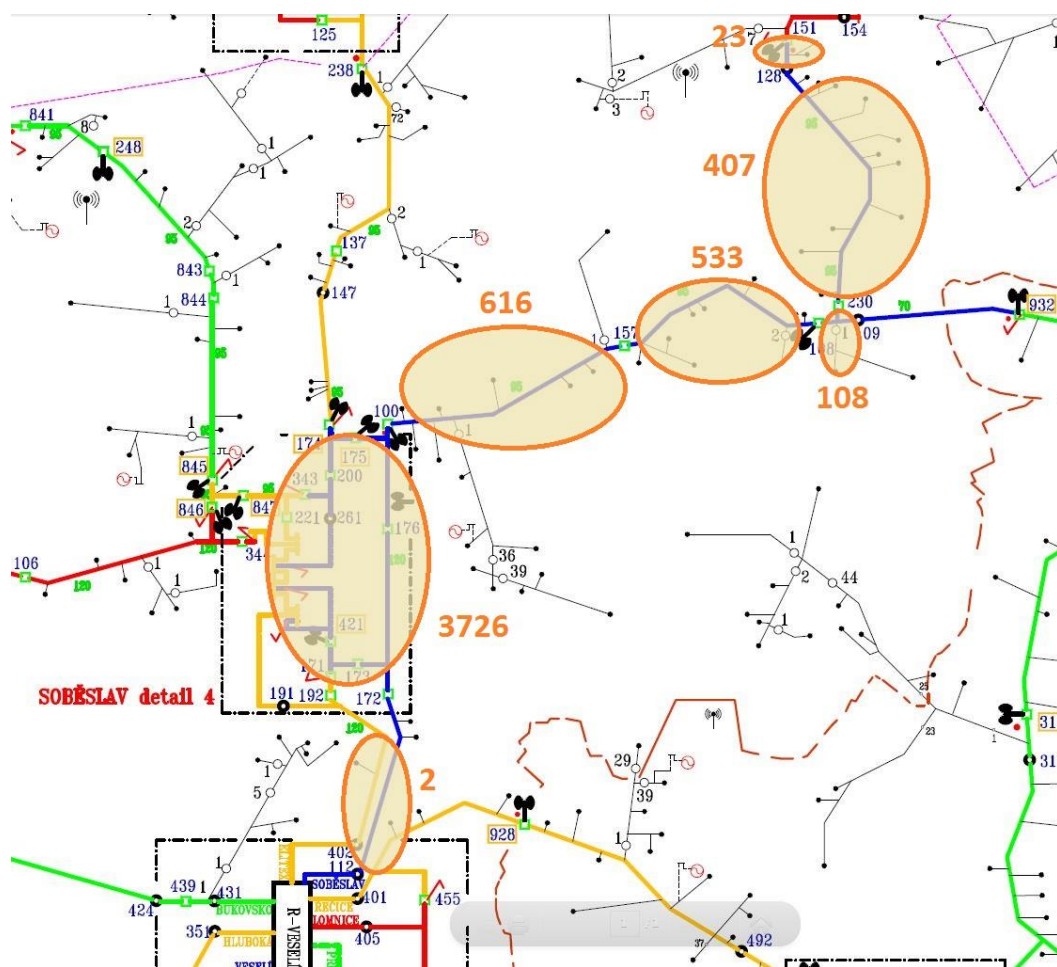
Současná hodnota ukazatele SAIDI činí 1,3838 min/OM, vývod je čtvrtý v pořadí dle SAIDI a dvacátý dle SAIFI. Na vývodu je celkově 5419 OM.

Tab. 6.10: Navrhované varianty pro vývod Soběslav

Varianta	Použité prostředky	Umístění	Výsledné SAIDI (min/OM)	Investiční náklady (kč)
a)	DOÚ s měřeními	100 (přesun současného na 157)	1,2593	350 000
b)	Recloser	100 (přesun současného na 157)	1,1901	410 000
c)	„a)“ + indikátor	230	1,1963	365 000

Z důvodu velké koncentrace OM na začátku linky volím variantu „b)“. Pokud tato skupina bude oddělena od případných poruch v zadní části vývodu, následný ukazatel vyjde v budoucnu menší.





Obr. 6.11: Schéma vývodu Soběslav s rozložením OM

6.5 Vyhodnocení

Práce si klade za cíl posoudit přínos DA na snižování ukazatelů nepřetržitosti dodávky. Pokud bychom se bavili o všech prvcích DA jako celku, tak zásadněji díky ní ovlivníme ukazatel SAIDI. Na SAIFI má vliv pouze recloser. Automatizace nám tedy primárně snižuje potřebný čas pro provedení změny topologie sítě a s tím spojené rychlejší hledání poruch. Problém je však v tom, že automatizace nesníží roční ukazatele nijak razantně. V tabulce 6.2 je vidět SAIDI za rok 2015 pro oblast E.ON Západ 7,6785 minut na OM. Je to hodnota zahrnující pouze dobu vymanipulování v síti VN. Ovšem celkové SAIDI společnosti E.ON Distribuce ze všech napěťových hladin pro rok 2015, činilo 352,90 minut na OM. Tedy pouze 2,18 % z celkového SAIDI bylo vytvořeno manipulacemi na hladině VN v oblasti E.ON Západ, čili takto velký díl miníme ovlivnit distribuční automatizací.

Pokud bychom se podívali na případové studie provedené v kapitole 6.4 ani zde není vidět výrazné zlepšení v porovnání s investičními náklady. Hodnoty se mění pouze v řádech desetin a to je důležité mít na paměti, že je počítáno s daty za sedm let.

Proto se domnívám, že by se distribuční společnosti rozhodně neměly zaměřit primárně na DA. Mnohem větších přínosů se dosáhne, pokud finanční zdroje rozprostřeme rovnoměrně mezi opatření proti vzniku poruch (výměna dožívajících částí, prořezy, kabelizaci) a distribuční automatizaci. Tento můj závěr podporuje i studie provedená ve Finských Helsinkách, viz kapitolu 5.5, obrázek 5.5.

Dále si myslím, že by se na DA, nemělo koukat pouze jako na prostředek ke snižování ukazatelů nepřetržitosti dodávky. Ale také jako na nástroj pro snižování nákladů na výjezdy, omezení lidského faktoru v řízení distribuční soustavy, či pro snadnější a rychlejší změnu topologie.

Z kapitoly 6.4 bych se pokusil vyvodit detailnější postup, pro budoucí nasazování DA: zvýšit počet dálkově ovládaných úsečků na rozpojovacích místech, ve velké míře nasadit indikátory poruch, zvýšit stupeň automatizace na málo, nebo vůbec neautomatizovaných vývodech a pro rizikové vývody (viz kapitolu 6.4) použít reclosery.

7 Závěr

Z práce se jistě dá vyvodit, že automatizační prvky vedou ke snižování ukazatelů nepřetržitosti dodávky. Jejich přínos je ovšem malý a náklady na pořízení vysoké. Z tohoto důvodu bych DA, nepoužil jako primární prostředek ke zlepšování ukazatelů. Její nasazení do sítě však má své opodstatnění. Síť je díky ní snadněji a rychleji ovladatelná, navíc pokud se provozovatelé rozhodnou, pro instalaci prvků schopných vzájemné komunikace, povede to k soběstačné síti, která nebude muset být řízena člověkem. Toto by se mohlo například uplatnit v souvislosti se stále se zvětšujícím podílem lokálních zdrojů. Soustava bude více odolná vůči špičkám vzniklých během denního diagramu zatížení.

Z provedených analýz mohu vyvodit obecnější principy pro nasazování jednotlivých prvků. Recloser se vyplatí nasazovat do hlavního kmenu na vývodech o velkém koncentrovaném počtu odběrných míst, které jsou zatíženy velkým počtem poruch. DOÚ s měřením umisťovat také do hlavního kmenu na vývody, které jsou více rozvětvené a mají OM přibližně rovnoměrně rozložená. DOÚ bez měření nasazovat do rozpojovacích míst pro případ záložního napájení ze sousedních vývodů a na začátky dlouhých, či problematictějších odboček. Indikátory díky jejich nižší ceně, bych použil jako doplněk k již nasazené automatizaci. Volba jejich umístění je individuální. Nejlépe opět do problematických odboček, ale lze i do hlavního kmenu v případě méně poruchových linek, kde se nevyplatí investovat do DOÚ, či REC.

Problémem však zůstává, že není objektivně stanoven přínos DA na ukazatele. Ten závisí na mnoha faktorech: počtu a typu použitých prvků, umístění, aktuální úrovni automatizace vývodu a v neposlední řadě také na četnosti poruch.

Věci výše zmíněné, vedou k otázce jak lépe určit přínos. K tomuto cíli vedou dvě cesty. První, za pomoci skutečných dlouhodobých projektů. Do vybraných vývodů se nasadí dané prvky a sleduje se změna po delší období (rok a více). Druhou z cest lze realizovat za pomoci výpočetní techniky. Vytvoří se konkrétní síť s co nejpřesnějším chováním jak za běžného stavu, tak v případě poruchy. Do takto vytvořeného schématu by se umisťovaly jednotlivé prvky na různé pozice v různém počtu a vytvářely poruchové stavy v náhodných místech. Obě varianty jsou dnes již proveditelné, ovšem jsou časově i finančně náročné.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Toman, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [2] KMB Systems [online], [cit. 28.10.2016]. Dostupné z <http://www.kmb.cz/index.php/cs/specialni-pristroje/inka-251>
- [3] Tesařová, Miloslava. *Kvalita elektrické energie – přerušení* [online]. Západočeská univerzita v Plzni [cit. 15.11.2016]. Dostupné z <https://courseware.zcu.cz/portal/studium/courseware/kee/pe/prednasky.html>
- [4] Šefránek, Jan. *Spolehlivost a kvalita dodávek elektřiny a možnosti jejich ovlivňování*. Praha, 2014. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta elektrotechnická.
- [5] Milka, Jiří. *Statistické vyhodnocení nepřetržitosti dodávky elektrické energie v zadané části distribuční sítě*. Brno, 2013. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [6] E.ON Distribuce, a.s. *Popis distribuční soustavy E.ON Distribuce, a.s.* [online]. E.ON Distribuce a.s., 2016 [vid. 16.11.2016]. Dostupné z <https://www.eon-distribuce.cz/onas/distribucni-soustava/technicke-informace/elektrina>
- [7] Šefránek, Jan. *Regulace kvality dodávek elektřiny*. Konference ČK CIDER 2015. Tábor 10 a 11.11. 2015.
- [8] Bracínik Peter, Altus Juraj, Roch Marek. *Lokalizácia miesta poruchy v sieti 22 kV s využitím expertního systému*. Konference ČK CIDER 2008. Tábor 4 a 5.11. 2008.
- [9] Černý Radim, Bořek Jaroslav, Jelínek Milan. *Automatizace distribuční soustavy VN ČEZ distribuce, a.s. pomocí d.o. prvků*. Konference ČK CIDER 2007. Tábor 6 a 7.11. 2007.

- [10] Raška, Tomáš. *Obrázkový katalog úsečníků používaných v Severomoravské energetice, a. s.* [online]. Technická univerzita Ostrava, 2004 [cit. 20.11.2016].
Dostupné z http://fei1.vsb.cz/kat410/fotogalerie/elektrina_v_CR/usecniky%20SME.pdf
- [11] Tesařová, Miloslava. *Vliv způsobu provozu uzlu transformátoru na zemní poruchy* [online], Západočeská univerzita v Plzni, 2000 [cit. 23.12.2016].
Dostupné z <https://courseware.zcu.cz/portal/studium/courseware/kee/pe/prednasky.htm>
- [12] Horák Martin, Jalec Miroslav. *Nové metody lokalizácie porúch v sieťach 22 kV*.
Konferencia ČK CIDER 2011. Tábor 8. a 9.11.2011.
- [13] Powerwiki. *Zemní spojení v trojfázových soustavách* [online]. [cit. 20.12.2016].
Dostupné z <https://www.powerwiki.cz/attach/ES/ZemniSpojeni.pdf>
- [14] Energetický regulační úřad. *Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2015* [online]. [cit. 11.1.2017]. Dostupné z <https://www.eru.cz/elektrina/statistika-a-sledovani-kvality/zpravy-o-kvalite>
- [15] Ostruška, Jan. *Ochrany při zemních spojeních*. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [16] Informace získané od konzultanta diplomové práce Jiřího Čeledy. Společnost E.ON distribuce a.s.
- [17] Dribo, spol. s.r.o. *Venkovní odpínače Fla 15/60, DRIBO Flb a DRIBO Flc* [online].
Dribo, spol. s.r.o. [cit. 9.9.2016]. Dostupné z http://www.dribo.cz/pdf/CZ_Fla_Flb_Flc.pdf
- [18] E.ON Distribuce, a.s. *Souhrnná zpráva o dosažené úrovni kvality distribuce elektřiny a souvisejících služeb* [online]. E.ON Distribuce a.s. [vid. 18.11.2016]. Dostupné z <https://www.eon-distribuce.cz/o-nas/distribucni-soustava/technicke-informace/elektrina>
- [19] *Pravidla provozování distribučních soustav* [online]. E.ON Distribuce a.s. [cit. 18.11.2016]. Dostupné z <https://www.eon-distribuce.cz/dokumenty-ke-stazeni/elektrina-2/predpisy>

- [20] Energetický regulační úřad. *Zásady cenové regulace pro období 2016-2018 pro odvětví elektroenergetiky, plynárenství a pro činnosti operátora trhu v elektroenergetice a plynárenství* [online]. [vid. 6.2.2017]. Dostupné z <https://www.eru.cz/-/zasady-cenove-regulace-pro-obdobi-2016-2018-pro-odvetvi-elektroenergetiky-plynarenstvi-a-pro-cinnosti-operatora-trhu-v-elektroenergetice-a-plynarenstvy>
- [21] Babka, Karel. *Nasazení prvků distribuční automatizace ve venkovních sítích VN*. Plzeň, 2013. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta elektrotechnická.
- [22] Jamali S., Shateri H. *Optimal application of reclosers and sectionalisers to reduce non-distributed energy in distribution networks*, 18th. International conference on electricity distribution. Turin 6-9 June 2005
- [22] Goodin Robert E., Mary Lake, Fahey Timothy S. *Distribution reliability using reclosers and sectionalisers*. In: ABB. The application of reclosers on future distribution systems. 1999.
- [23] Falaghi H., Haghifam M.-R., Osouli Tabrizi M. R. *Fault indicators effects on distribution reliability indices*. 18th International conference on electricity distribution. Turin 6-9 June 2005.
- [24] McCarthy C. A., Meisinger M. J. *Improving open-loop medium-voltage feeder self-healing*. In: 11th IET international conference on developments in power systems protection. Birmingham, UK, 2012. ISBN 9781622761050.
- [25] Siirto Osmo, Hyvärinen Markku, *Improving reliability in an urban network*. In: Electric power system research 120(2015). Pages 47-55.
- [26] Council of European Energy Regulators. *CEER Benchmarking report 5.2. on the continuity of electrical supply*. In: 5th CEER Benchmarking report. 2011. ref: C14-EQS-62-03.
- [27] Informace získané od vedoucí diplomové práce Miloslavy Tesařové.

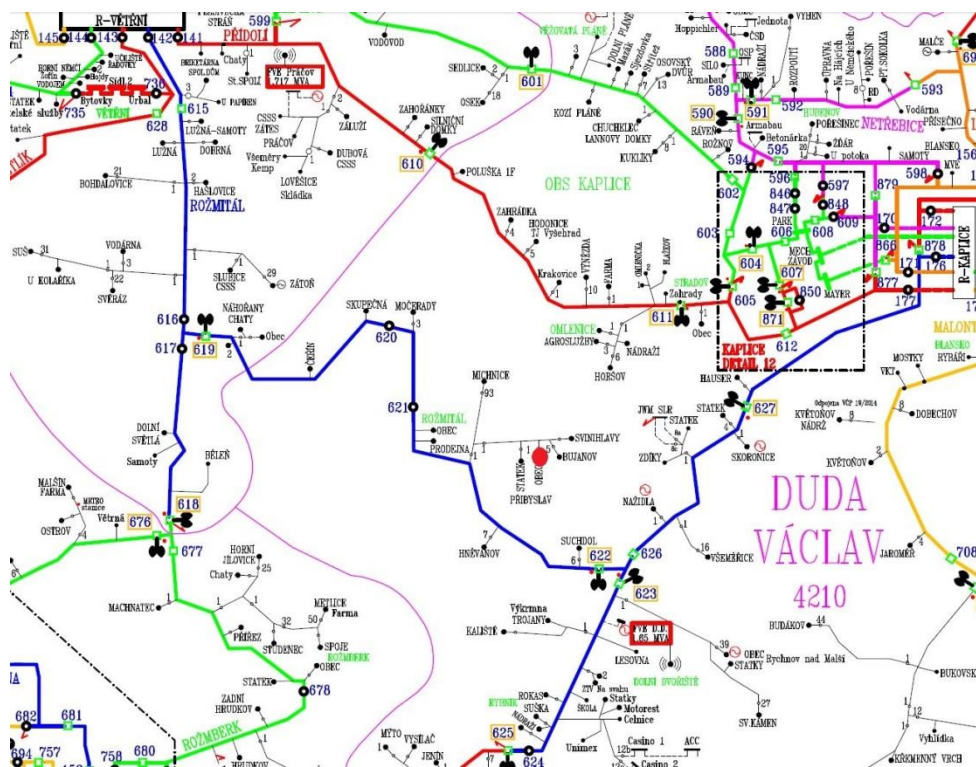
Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1: Výpočet vlivu prvků na SAIDI.....	1
Příloha 2: Výpočet vlivu REC na SAIFI.....	4

Příloha 1: Výpočet vlivu prvků na SAIDI

- Příklad situovaný pro rozvodnu Větrná, vývod Rožmitál
- Uvažuji poruchu před obcí Příbyslav
- Uvažované časy jsem stanovil na základě [21]:
 - Vymezení úseku na hlavním kmeni pomocí DOÚ bez měření → 10 minut
 - Vymezení úseku na hlavním kmeni pokud je k dispozici DA s měřením → 8 minut
 - Dojezdový čas čety → 35 minut
 - Vymezení přesného úseku za pomoci čety → 25 minut (pokud byla k dispozici DA → 20 minut)



Obr.: Schéma vývodu Rožmitál

Současný stav

1. 10 minut ... výpadek 1772 OM (vymezení úseku pomocí dálkových prvků)
2. 35 minut ... výpadek 562 OM (cesta čety k začátku nejdelší odbočky v úseku 621 - 622)
3. 25 minut ... výpadek 1058 OM (vymezení úseku s poruchou za pomoci čety)

$$SAIDI = \frac{\sum_j (t_{ji} \cdot n_{jhi})}{N_s} = \frac{1772 \cdot 10 + 562 \cdot 35 + 1058 \cdot 25}{1772} = 36,0271 \text{ min/OM}$$

DOÚ bez měření na 621

1. 10 minut ... výpadek 1772 OM (vymezení úseku pomocí dálkových prvků)
2. 35 minut ... výpadek 453 OM (cesta čety k začátku nejdlejší odbočky v úseku 621 - 622)
3. 20 minut ... výpadek 1058 OM (vymezení úseku s poruchou za pomoci čety)

$$SAIDI_{DOUb} = 30,8888 \text{ min/OM}$$

$$\Delta SAIDI_{\%} = \frac{SAIDI - SAIDI_{DOUb}}{SAIDI} \cdot 100 = \frac{36,0271 - 30,8888}{36,0271} \cdot 100 \cong 14,26 \%$$

Vztáhnuto ve stejném poměru k recloseru ke 14 % → 6,8 %

DOÚ s měřením na 621

1. 8 minut ... výpadek 1772 OM (vymezení úseku pomocí dálkových prvků)
2. 35 minut ... výpadek 453 OM (cesta čety k začátku nejdlejší odbočky v úseku 621-622)
3. 20 minut ... výpadek 1058 OM (vymezení úseku s poruchou za pomoci čety)

$$SAIDI_{DOUs} = 28,8888 \text{ min/OM}$$

$$\Delta SAIDI_{\%} \cong 20 \%$$

Vztáhnuto ve stejném poměru k recloseru ke 14 % → 9,7 %

REC na 622 a současný DOÚ na 621

1. 8 minut ... výpadek 1058 OM (vymezení úseku pomocí dálkových prvků)
2. 35 minut ... výpadek 453 OM (cesta čety k začátku nejdlejší odbočky v úseku 621 - 622)
3. 20 minut ... výpadek 1058 OM (vymezení úseku s poruchou za pomoci čety)

$$SAIDI_{REC} = 25,6653 \text{ min/OM}$$

$$\Delta SAIDI_{\%} \cong 29 \%$$

Indikátor poblíž 621

1. 8 minut ... výpadek 1772 OM (vymezení úseku pomocí dálkových prvků)
2. 35 minut ... výpadek 453 OM (cesta čety k začátku nejdelsí odbočky v úseku 621-622)
3. 20 minut ... výpadek 1058 OM (vymezení úseku s poruchou za pomoci čety)

$$SAIDI_{ind} = 31,0418 \text{ min/OM}$$

$$\Delta SAIDI_{\%} \cong 13,8 \%$$

Vztáhnuto ve stejném poměru k recloseru ke 14 % → 6,7 %

Tab.: Všechny poruchy sna vývodu Frymburk za roky 2009 - 2015

Číslo	Rozvodna	Vývod	Rok	Vymanipulování (min)	Z1nn + Z1 vn	Z2nn + Z2vn
P0912320	Lipno	Frymburk (eli)	2009	70	2019	911
P1001625	Lipno	Frymburk (eli)	2010	46	2005	55
P1008203	Lipno	Frymburk (eli)	2010	139	4684	300
P1016991	Lipno	Frymburk (eli)	2010	58	4708	55
P1106873	Lipno	Frymburk (eli)	2011	23	2101	513
P1115199	Lipno	Frymburk (eli)	2011	340	2112	659
P1119370	Lipno	Frymburk (eli)	2011	64	2118	459
P1123897	Lipno	Frymburk (eli)	2011	67	2125	495
P1129581	Lipno	Frymburk (eli)	2011	719	2137	57
P1201611	Lipno	Frymburk (eli)	2012	76	2141	234
P1204053	Lipno	Frymburk (eli)	2012	23	2142	991
P1209386	Lipno	Frymburk (eli)	2012	65	2150	234
P1407010	Lipno	Frymburk (eli)	2014	26	2070	838
P1410864	Lipno	Frymburk (eli)	2014	45	2072	14
P1420857	Lipno	Frymburk (eli)	2014	46	2082	74
P1427790	Lipno	Frymburk (eli)	2014	77	2075	29
P1503737	Lipno	Frymburk (eli)	2015	169	2076	73

Současný stav

$$SAIFI = \frac{\sum_j n_{jh}}{N_{sh}} = \frac{2019 + 2005 + 4684 + 4784 + \dots + 2072 + 2082 + 2075 + 2076}{1442610}$$

$$= \frac{40817}{1442610} = 0,028 \text{ -/OM}$$

REC na 673

Jelikož všechny poruchy nastaly za uvažovaným místem nasazení recloseru, stačí ve výpočtu odečíst pro každou poruchu počet OM nacházejících se před recloserem. To činí 1102 OM.

$$SAIFI_{REC} = \frac{40817 - (1102 \cdot 17)}{1442610} = 0,015 \text{ -/OM}$$

Zlepšení

$$\Delta SAIFI_{\%} = \frac{SAIFI - SAIFI_{REC}}{SAIFI} \cdot 100 = \frac{0,028 - 0,015}{0,028} \cdot 100 = 46,4\%$$