

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Nasazení prvků distribuční automatizace
ve venkovních sítích VN**

**vedoucí práce: doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.
autor: Bc. Karel Babka**

2013

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

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

Jméno a příjmení: **Karel BABKA**
Osobní číslo: **E11N0109P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Nasazení prvků distribuční automatizace ve venkovních sítích VN**
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 :

Jedná se o nasazování dálkově ovládaných úsečníků, indikátorů poruch a recloserů.

1. Popište základní koncepce distribuční automatizace v sítích VN, dále uveďte i moderní koncepce a naznačte směry možného vývoje.
2. Popište činnost prvků distribuční automatizace a zásady pro jejich nasazení na vývodech VN.
3. Pro daný vývod VN zvolte umístění a druhy prvků distribuční automatizace.
4. Pro navržené varianty vypočítejte ukazatele nepřetržitosti dodávky a výši nedodané energie a následně vyhodnoťte optimální variantu.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Černý, Bořek, Jelínek: Automatizace distribuční soustavy VN ČEZ Distribuce, a.s. pomocí dálkově ovládaných prvků, konference CIRED, Tábor 2007
2. Sborníky konferencí ČK CIRED z let 2006-2012
3. Katalogy výrobců dálkově ovládaných odpínačů, recloserů a indikátorů poruch

Vedoucí diplomové práce:

Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.

vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na nasazení prvků distribuční automatizace ve venkovních sítích VN. V úvodu je popsána funkce základních automatizačních prvků a koncepce používané při jejich použití. Následuje metodika nasazování prvků s využitím ukazatelů spolehlivosti dodávky a logické strukturální matice. Na závěr je zpracována případová studie nasazení automatizace na konkrétní části sítě. Navržené varianty jsou porovnány na základě spolehlivosti dodávky a ekonomického hodnocení.

Klíčová slova

distribuční automatizace, recloser, úsečník, indikátor poruch, venkovní vedení, spolehlivost dodávky

Abstract

The master thesis presents deployment of distribution automation for overhead lines in distribution networks. The function of basic automation elements and commonly used conceptions are described at the beginning. The methodology of deployment of distribution automation is based on the supply reliability and the logical structural matrix. Finally, the case study of application of automation in a particular network is performed. Designed variants are compared according to the reliability of supply and the economic evaluation.

Key words

distribution automation, recloser, sectionalizer, fault indicator, overhead lines, supply reliability

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 8.5.2013

Karel Babka

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za odborné vedení, neocenitelné rady, zkušenosti a také za vynikající spolupráci.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM OBRÁZKŮ	9
ÚVOD	11
SEZNAM SYMBOLŮ	12
1 PRVKY DISTRIBUČNÍ AUTOMATIZACE	13
1.1 DÁLKOVĚ OVLÁDANÉ ÚSEČNÍKY	13
1.2 INTELIGENTNÍ ÚSEČNÍKY	14
1.3 INDIKÁTORY PORUCH	14
1.3.1 Princip činnosti	14
1.3.2 Nastavení indikátorů poruch	15
1.4 RECLOSERY	16
1.4.1 Nasazení recloseru	17
1.4.2 Konstrukce recloseru	18
1.5 TECHNICKÉ PARAMETRY PRVKŮ DISTRIBUČNÍ AUTOMATIZACE	19
1.5.1 Srovnání vypínací schopnosti přístrojů	19
2 KONCEPCE DISTRIBUČNÍ AUTOMATIZACE	20
2.1 TRENDY	20
2.2 REGULACE NEPŘETRŽITOSTI DODÁVKY V ČR	20
2.3 NASAZENÍ PRVKŮ DISTRIBUČNÍ AUTOMATIZACE	21
2.3.1 Dálkově ovládané úsečníky	21
2.3.2 Reclosery	23
2.3.3 Automatizace v okružní síti	25
2.3.4 Automatizace v paprskové síti	26
2.4 PŘÍNOS DISTRIBUČNÍ AUTOMATIZACE	27
2.5 POKROČILÁ DISTRIBUČNÍ AUTOMATIZACE	30
2.5.1 Centralizovaný systém	30
2.5.2 Decentralizovaný systém	31
3 METODIKA NASAZOVÁNÍ AUTOMATICKÝCH PRVKŮ	32
3.1 UKAZATELE SPOLEHLIVOSTI DODÁVKY	32
3.1.1 SAIFI	32
3.1.2 SAIDI	33
3.1.3 CAIDI	33
3.2 KRITÉRIA NASAZENÍ AUTOMATIZOVANÝCH PRVKŮ	34
3.3 LOGICKÁ STRUKTURÁLNÍ MATICE	35
4 PŘÍPADOVÁ STUDIE	37
4.1 VSTUPNÍ PARAMETRY PRO VÝPOČET	37
4.2 ZJEDNODUŠUJÍCÍ PŘEDPOKLADY	42
4.3 VÝPOČTY	42
4.3.1 Zdíkov: Varianta I – původní stav	43
4.3.2 Zdíkov: Varianta II – přemístění DOÚ	44
4.3.3 Zdíkov: Varianta III – přemístění DOÚ	45
4.3.4 Zdíkov: Varianta IV – dvojice DOÚ	45
4.3.5 Zdíkov: Varianta V – nasazení recloseru	46

4.3.6	Zdíkov: Varianta VI – nasazení recloseru.....	47
4.3.7	Zdíkov: Varianta VII – nasazení recloseru s DOÚ.....	48
4.3.8	Vacov a Zdíkov: Varianta I – původní stav.....	48
4.3.9	Vacov a Zdíkov: Varianta II – nasazení recloseru a 2 DOÚ.....	49
4.3.10	Vacov a Zdíkov: Varianta III – nasazení 3 recloserů.....	50
4.4	POROVNÁNÍ VARIANT.....	52
4.4.1	Zdíkov.....	52
4.4.2	Vacov a Zdíkov.....	54
4.5	EKONOMICKÉ HODNOCENÍ.....	55
4.5.1	Zdíkov.....	57
4.5.2	Vacov a Zdíkov.....	58
4.6	CITLIVOSTNÍ ANALÝZA.....	60
ZÁVĚR.....		63
POUŽITÁ LITERATURA.....		65
PŘÍLOHY.....		66

Seznam obrázků

OBR. 1.1	ODPÍNAČ SCHNEIDER ELECTRIC RL [14].....	13
OBR. 2.1	INDIKÁTOR PORUCH INKA 2 [13].....	14
OBR. 2.2	REALIZACE NASAZENÍ RECLOSERU [2].....	17
OBR. 3.1	VÝVOD BEZ POUŽITÍ DA.....	21
OBR. 3.2	NASAZENÍ DOÚ.....	22
OBR. 3.3	ČASOVÁ ROZPĚTÍ PRO JEDNOTLIVÉ KROKY.....	23
OBR. 3.4	POUŽITÍ RECLOSERU.....	24
OBR. 3.5	POUŽITÍ RECLOSERŮ V KOMBINACI S DOÚ.....	24
OBR. 3.6	ZAPOJENÍ V OKRUŽNÍ SÍTI PŘED PORUCHOU [1].....	25
OBR. 3.7	ZAPOJENÍ V OKRUŽNÍ SÍTI PO PORUŠE [1].....	25
OBR. 3.8	ZAPOJENÍ V PAPERKOVÉ SÍTI PŘED PORUCHOU [1].....	26
OBR. 3.9	ZAPOJENÍ V PAPERKOVÉ SÍTI PO PORUŠE [1].....	26
OBR. 3.10	DOBA VYMEZENÍ PORUCHY BEZ A S POUŽITÍM DISTRIBUČNÍ AUTOMATIZACE [7].....	27
OBR. 3.11	DOBA VÝPADKU BEZ AUTOMATIZACE [9].....	28
OBR. 3.12	DOBA VÝPADKU S POUŽITÍM RECLOSERU [9].....	28
OBR. 3.13	DOBA NEDODÁVKY S PŘIDÁNÍM DALŠÍHO RECLOSERU A ŘÍZENÍ [9].....	29
OBR. 3.14	DOBA NEDODÁVKY S PŘIDÁNÍM RECLOSERU DO PRVNÍ TŘETINY VÝVODU [9].....	29
OBR. 3.15	SCHÉMA CENTRALIZOVANÉHO SYSTÉMU (HVĚZDA) [8].....	30
OBR. 3.16	SCHÉMA CENTRALIZOVANÉHO SYSTÉMU (SMYČKA) [8].....	31
OBR. 3.17	PEER-TO-PEER KOMUNIKACE [8].....	31
OBR. 3.18	SCHÉMA DECENTRALIZOVANÉHO SYSTÉMU [8].....	32
OBR. 5.1	VÝVODY ZDÍKOV A VACOV.....	37
OBR. 5.2	ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA PRO VÝPOČTY.....	38
OBR. 5.3	POČET PORUCH V ÚSECÍCH NA VÝVODU ZDÍKOV.....	39
OBR. 5.4	PORUCHOVOST V ÚSECÍCH S ALEŠPOŇ 1 PORUCHOU V JEDNOTLIVÝCH LETECH NA VÝVODU ZDÍKOV.....	40
OBR. 5.5	POROVNÁNÍ ENS PRO RŮZNÉ PORUCHOVOSTI VÝVODU ZDÍKOV U VARIANTY I.....	41
OBR. 5.6	ORIENTAČNÍ PŮVODNÍ OSAZENÍ VÝVODU ZDÍKOV.....	43
OBR. 5.7	ORIENTAČNÍ OSAZENÍ VÝVODU PRO VARIANTU II.....	44
OBR. 5.8	ORIENTAČNÍ OSAZENÍ VÝVODU PRO VARIANTU III.....	45
OBR. 5.9	ORIENTAČNÍ OSAZENÍ VÝVODU PRO VARIANTU IV.....	46
OBR. 5.10	ORIENTAČNÍ OSAZENÍ VÝVODU PRO VARIANTU V.....	46

OBR. 5.11 ORIENTAČNÍ OSAZENÍ VÝVODU PRO VARIANTU VI.....	47
OBR. 5.12 ORIENTAČNÍ OSAZENÍ VÝVODU PRO VARIANTU VII.....	48
OBR. 5.13 ORIENTAČNÍ OSAZENÍ VÝVODŮ PRO PŮVODNÍ STAV (VARIANTU I).....	49
OBR. 5.14 ORIENTAČNÍ OSAZENÍ VÝVODŮ PRO VARIANTU II	49
OBR. 5.15 ORIENTAČNÍ OSAZENÍ VÝVODŮ PRO VARIANTU III	50
OBR. 5.16 NEDODANÁ ENERGIE PRO JEDNOTLIVÉ VARIANTY	52
OBR. 5.17 SAIDI PRO JEDNOTLIVÉ VARIANTY	53
OBR. 5.18 SAIFI PRO JEDNOTLIVÉ VARIANTY	53
OBR. 5.19 CAIDI PRO JEDNOTLIVÉ VARIANTY	54
OBR. 5.20 SAIDI PRO JEDNOTLIVÉ VARIANTY	54
OBR. 5.21 NEDODANÁ ENERGIE PRO JEDNOTLIVÉ VARIANTY	54
OBR. 5.22 SAIFI PRO JEDNOTLIVÉ VARIANTY	55
OBR. 5.23 CAIDI PRO JEDNOTLIVÉ VARIANTY	55
OBR. 5.24 POROVNÁNÍ EKONOMICKÉ VÝHODNOSTI VARIANT A UKAZATELE SAIDI	58
OBR. 5.25 ZLEPŠENÍ UKAZATELŮ SPOLEHLIVOSTI DODÁVKY A EKONOMICKÁ VÝHODNOST VARIANT	58
OBR. 5.26 POROVNÁNÍ EKONOMICKÉ VÝHODNOSTI VARIANT A UKAZATELE SAIDI	59
OBR. 5.27 ZLEPŠENÍ UKAZATELŮ SPOLEHLIVOSTI DODÁVKY A EKONOMICKÁ VÝHODNOST VARIANT	59
OBR. 5.28 EKONOMICKÁ VÝHODNOST VARIANT PRO VÝVOD ZDÍKOV V ZÁVISLOSTI NA PRŮMĚRNÉM ZATÍŽENÍ TRANSFORMÁTORŮ	60
OBR. 5.29 EKONOMICKÁ VÝHODNOST VARIANT PRO VÝVOD ZDÍKOV V ZÁVISLOSTI NA DOBĚ DOJEZDU PORUCHOVÉ ČETY	61
OBR. 5.30 EKONOMICKÁ VÝHODNOST VARIANT PRO VÝVOD ZDÍKOV V ZÁVISLOSTI NA CENĚ RECLOSERU.....	61
OBR. 5.31 EKONOMICKÁ VÝHODNOST VARIANT PRO PARALELNÍ CHOD VÝVODŮ VACOV A ZDÍKOV V ZÁVISLOSTI NA CENĚ RECLOSERU	62

Úvod

S rostoucími nároky odběratelů elektřiny je stále obtížnější zajistit dodávku elektrické energie s požadovanou spolehlivostí. Omezení množství nedodané energie je v současné době důležité z hlediska minimalizace ušlého zisku distribučních společností. V ČR sice prozatím není zavedena regulace cen elektřiny na základě dodržení určitých hodnot ukazatelů spolehlivosti dodávky jako např. SAIDI a SAIFI, ale je na místě připravit se na obdobnou situaci a včas přijmout určitá opatření. Tento trend se již objevuje v zahraničí a je možné, že se v budoucnu objeví i u nás. Určité sankce vůči distributorům při nedodržení standardů obnovy distribuce elektřiny se již staly součástí naší legislativy. V první řadě je třeba zaměřit se na možnosti ovlivnění spolehlivosti dodávky elektřiny. Největší podíl na výpadcích distribučních vedení mají poruchy, které jsou nejčastěji zapříčiněny přírodními vlivy (počasí, lesní porosty, atd.) a to zejména na venkovních vedeních. Existuje celá řada přístrojů umožňujících zvýšení spolehlivosti dodávky elektřiny. Patří sem například dálkově ovládané úsečníky, reclosery a indikátory poruch.

Cílem práce je popsat prvky distribuční automatizace, zásady pro jejich nasazení a provést studii nasazení prvků distribuční automatizace na zadaném vývodu. Případová studie je vypracována na základě návrhu několika variant rozmístění automatizačních prvků. Hodnocení variant je provedeno podle ukazatelů nepřetržitosti dodávky a z ekonomického hlediska.

Seznam symbolů

CAIDI.....	průměrná doba jednoho přerušení dodávky
DA.....	distribuční automatizace
DOÚ.....	dálkově ovládaný úsečník
ENS.....	nedodaná energie
IP.....	indikátor poruch
IÚ.....	inteligentní úsečník
OZ.....	system opětného zapnutí
REC.....	recloser
SAIDI.....	průměrná doba přerušení dodávky u zákazníků
SAIFI.....	průměrný počet přerušení dodávky u zákazníků

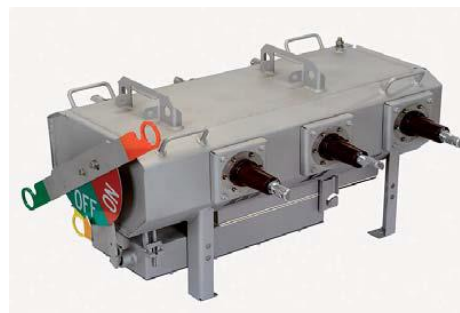
1 Prvky distribuční automatizace

Jedná se o zařízení schopná v případě poruchy samočinně a ve spolupráci s jinými dálkově ovládanými prvky vymezit poruchový úsek. Případně změnit konfiguraci sítě tak, aby byla minimalizována nedodávka elektřiny [1].

Různá zařízení od různých výrobců je třeba mezi sebou porovnat a zhodnotit nejvýhodnější variantu pro konkrétní případ použití. Kromě technického hlediska je zapotřebí zvážit ekonomické přínosy. To je nutno provést s ohledem na zredukování případné nedodávky elektrické energie spotřebitelům. Dále se mohou vyskytnout případy, ve kterých si delší dobu nedodávky nemůžeme dovolit např. z bezpečnostního hlediska u objektů, kde v případě nedodávky možnost ohrožení života popř. hrozí velké materiální škody. Přestože v těchto objektech bývá napájení zajištěno z více nezávislých zdrojů, distribuční automatizace zde může přispět k vyšší zabezpečení dodávky.

1.1 Dálkově ovládané úsečníky

Pro rozdělování distribučních sítí se používají venkovní odpínače. Jejich ovládání je zajišťováno ručně nebo elektrickým pohonem. EGÚ České Budějovice u nás prosadilo využití dálkově ovládaných úsečníků pod obchodním názvem SADS (Systém pro Automatizaci provozu Distribučních Soustav). Tento systém zajišťuje mechanické ovládání odpínače, radiové přenosy pro řízení a monitorování, automatizační, ochranné a monitorovací funkce. Různé typy venkovních odpínačů se liší zejména systémem zhášení oblouku. Používá se olejová komůrka, vzduchová komůrka a vakuová komůrka. Protože odpínače nejsou uzpůsobeny pro vypínání zkratových proudů, vypínají postižený úsek v beznapětovém stavu. V případě zemních spojení je vypnutí možné provést pod napětím. V minulosti se pro komunikaci s DOÚ využívala radiová komunikace, která je v současné době nahrazena technologiemi GSM, popř. GPRS. Příkladem takového zařízení je Schneider Electric RL (obr. 1.1), který je navíc možno dovybavit moduly pro plně automatický provoz.



obr. 1.1 Odpínač Schneider Electric RL [14]

1.2 Inteligentní úsečníky

Inteligentní úsečníky pracují na stejném principu jako klasické dálkově ovládané úsečníky. Hlavní rozdíl je v možnostech těchto zařízení. Inteligentní úsečník může stejně jako DOÚ sloužit k rozdělování sítí dálkovými manipulacemi dispečera. Navíc má inteligentní úsečník schopnost zaznamenat průchod poruchového proudu a následně počítat probíhající cykly OZ. Na základě těchto informací dle svého nastavení např. IÚ vyhodnotí, že došlo k poruše v části sítě za ním a po neúspěšném OZ v další beznapěťové pauze vypne. Následným zapnutím je pak dodávka elektřiny v úseku před IÚ obnovena.

Tato kapitola byla vypracována s použitím zdrojů [1], [7], [8]

1.3 Indikátory poruch

Indikátor poruch je prvek, který má schopnost rozpoznat průchod poruchového proudu vedením. Tuto informaci může jednak signalizovat dálkově na dispečink, ale často se také využívá signalizace světelnými majáky a barevnými terčíky, které signalizují poruchový úsek a usnadňují tak pracovním četám lokalizaci poruchy [1]. Na obrázku 1.2 je indikátor poruch typu INKA 2 společnosti KMB Systems.



obr. 1.2 Indikátor poruch INKA 2 [13]

1.3.1 Princip činnosti

Činnost indikátorů poruch spočívá v detekci průchodu poruchového proudu vedením a následné signalizaci. Principy detekce poruch se mohou lišit u různých typů zařízení. Obvykle se poruchy detekují na základě sledování proudu procházejícího vodičem, změnu proudu dI/dt popř. dB/dt , měřením 5. harmonické proudu, měřením nulové složky napětí a proudu.

Signalizace je zajištěna pomocí barevných terčků, popřípadě světelných zdrojů umístěných přímo na zařízení. Možné je také jejich vybavení vysílacím zařízením GSM, popřípadě jiným rozhraním, které slouží pro signalizaci na dispečink.

Napájení indikátorů poruch bývá zajištěno díky jejich nízkým energetickým nárokům pomocí baterií. Je také možné využít fotovoltaický napájecí systém s fotovoltaickým panelem, akumulátorem a regulátorem dobíjení. Případně může být využito společné napájení s jiným zařízením.

1.3.2 Nastavení indikátorů poruch

V závislosti na typu indikátoru je třeba nastavit následující parametry:

- napěťová hladina
- zkratové poměry v napájecím uzlu na straně vyššího napětí
- hodnota kapacitního proudu při zemním spojení
- nastavení ochran na vývodech napájecího uzlu
- nastavení automatik OZ

Všechny tyto parametry však nejsou nutné. Pro daný typ zařízení je možné využít různé způsoby nastavení a stejně tak různá zařízení sledují různé parametry el. energie.

Tato kapitola byla vypracována s použitím zdrojů [1], [2], [13]

1.4 Reclosery

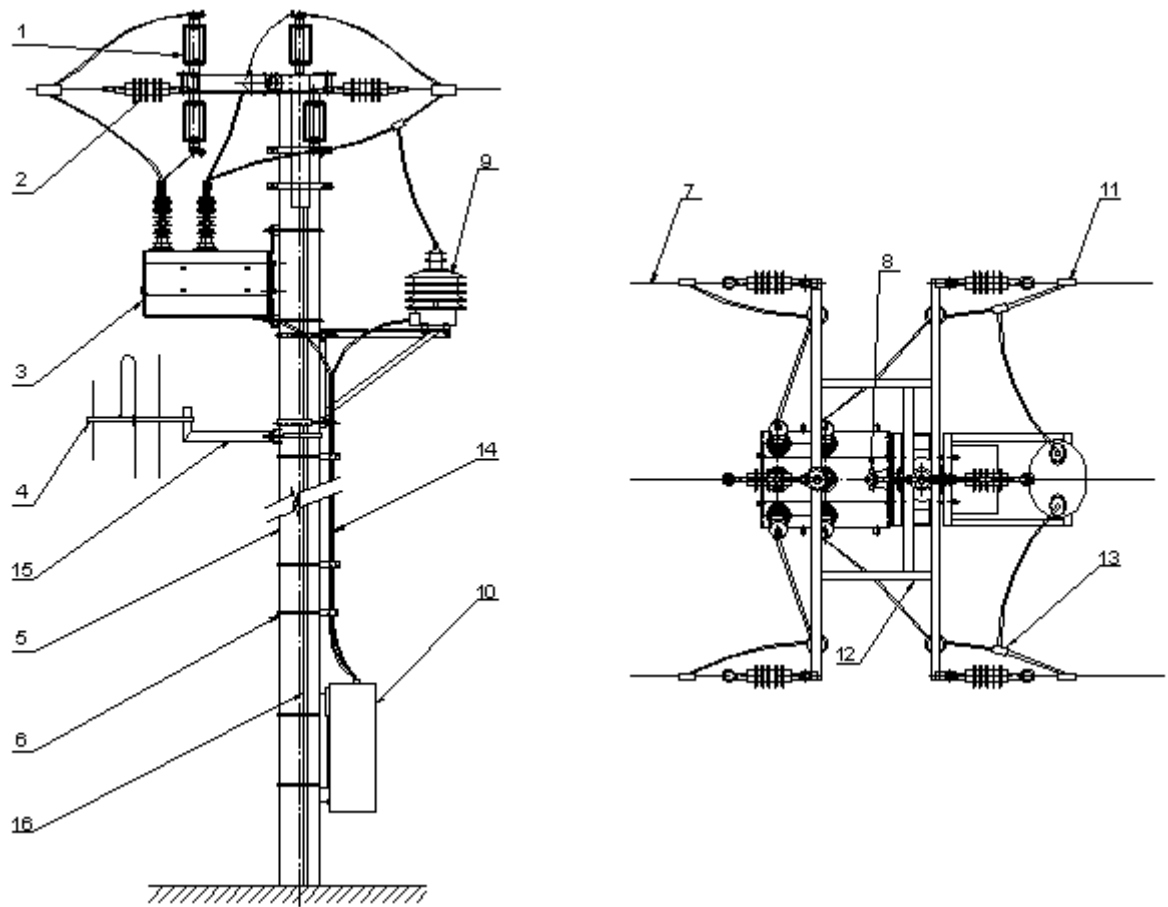
Recloser je zařízení umístované na stožáry venkovního vedení VN. Jedná se o vypínač vybavený měřicími prvky, řídicí jednotkou a systémem pro přenos informací. Funkce recloseru spočívá v ochraně úseku za místem jeho instalace. Recloser tak zajišťuje selektivitu, kterou by bylo těžké dosáhnout pouze s použitím ochran na vývodech rozvodny například v případě dlouhého vývodu. Řídicí systém recloseru také umožňuje koordinaci činnosti více dálkově ovládaných prvků, jako jsou například automatizované úsečníky.

Oproti dálkově ovládaným úsečníkům přináší reclosery řadu nových možností:

- automatické vypínání a funkce OZ
- nezávislost na dispečerském řízení
- možnost automatického vymanipulování poruchového úseku
- vypínání a zapínání zkratových proudů
- vysoký počet cyklů ZAP/VYP
- vysoká spolehlivost

Tato kapitola byla vypracována s použitím zdrojů [1], [2]

1.4.1 Nasazení recloseru

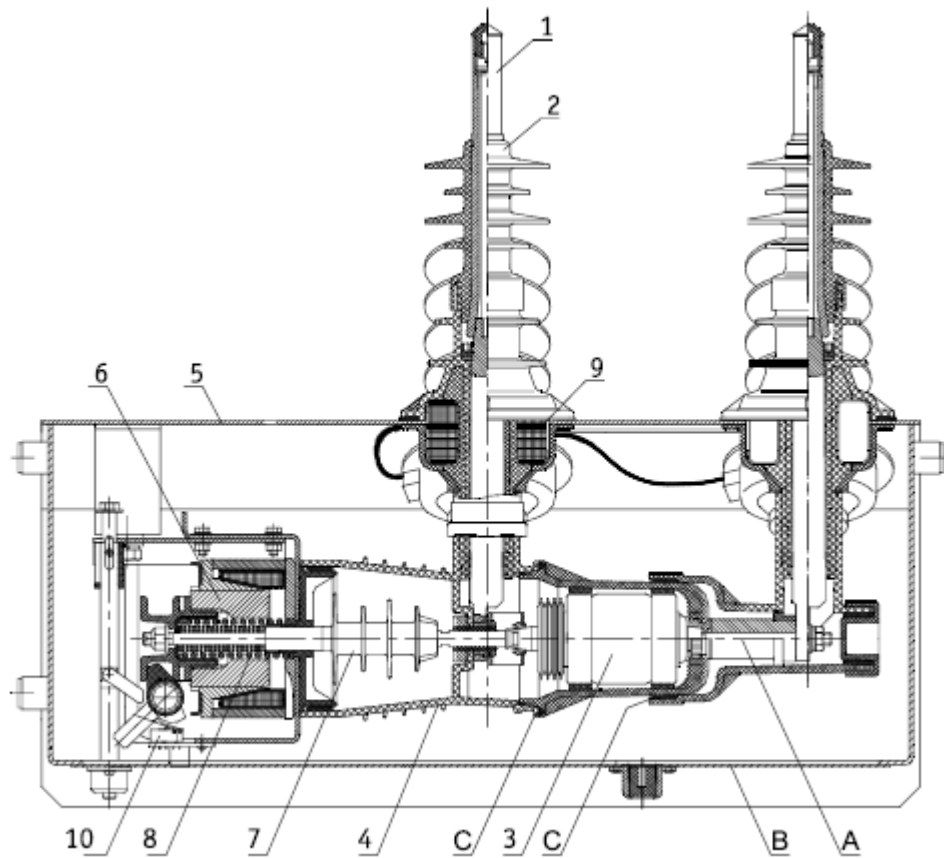


obr. 1.3 Realizace nasazení recloseru [2]

1 omezovač přepětí
 2 závěsný izolátor
 3 recloser OSM
 4 anténa
 5 betonový stožár
 6 pásy Bandimex
 7 izolovaný vodič
 8 roubíkový izolátor

9 napájecí transformátor
 10 ovládací skříň SADS
 11 svorka ochrany proti oblouku
 12 nosná konzola izolátorů
 13 svorka prorážející izolaci
 14 výložník antény
 15 propojovací kabely
 16 zemnicí lano

1.4.2 Konstrukce recloseru



obr. 1.2 Konstrukce recloseru OSM 27 [2]

A - živé části	B - skříň bez potenciálu	C - kaučukové spoje
1 vývody		6 magnetický pohon
2 kaučuková průchodka		7 táhlo – izolátor
3 vypínací komora		8 vypínací pružina
4 nosné izolační pouzdro		9 napěťové a proudové snímače
5 skříň z nerezového materiálu		10 pomocné spínače

1.5 Technické parametry prvků distribuční automatizace

V příloze je zpracován orientační přehled některých dálkově ovládaných odpínačů, indikátorů poruch a recloserů dostupných na trhu včetně jejich základních parametrů. Na příloženém CD jsou k těmto přístrojům dostupné materiály a katalogové listy.

1.5.1 Srovnání vypínací schopnosti přístrojů

Při volbě přístrojů je třeba zvážit, zda jejich parametry odpovídají konkrétní aplikaci. Na následující tabulce jsou uvedeny základní parametry některých prvků. První 3 prvky jsou odpínače, které se značně liší poměrem vypínaného proudu a počtu cyklů. Počet vypínacích cyklů určuje kolikrát je odpínač (příp. recloser) schopen provést vypnutí při daném vypínaném proudu. Podobně je tomu i u uvedených recloserů, ale rozhodujícím parametrem je také cena přístroje. Nicméně v případě recloseru OSM 27 je cena řádově poloviční oproti např. GVR 27 [2].

spínač	vypínaný proud	počet cyklů
růžkový odpínač	max. 10 – 16 A	2000
Fle 25 (IVEP)	30 A 100 A 400 A 630 A	1000 400 100 10
OJC 25 (SEZ)	400 A	2000
recloser GVR 27	630 A 2 kA 12,5 kA	10000 200 40
recloser OSM 27	630 A 2 kA 12,5 kA	30000 10000 200

Tato kapitola byla vypracována s použitím zdroje [2]

2 Koncepce distribuční automatizace

2.1 Trendy

Přestože jsou koncepce využívány pro rychlé vymezení poruchy a obnovy dodávky el. energie odlišné v různých částech světa, jejich cílem je minimalizace množství nedodané energie. V evropských zemích je obvyklé nasazení dálkově ovládaných úsečníků, které spolupracují s řídicími systémy a jsou ovládány dispečerskými povely. Automatizované prvky se zde začínají využívat zatím pro specifické situace. Nejčastěji se jedná o nasazení recloserů. Nevýhodou pokročilé automatizace je, že manipulace se dějí bez vědomí dispečera, který se dozví o manipulacích až po jejich provedení. Odlišný přístup lze zaznamenat například v Americe, kde se často používají automatizované systémy s reclosery a automatickými úsečníky. Oba tyto přístupy mají přímý vliv na hodnoty ukazatele SAIDI ale pouze s použitím recloserů můžeme dosáhnout také zlepšení ukazatele SAIFI. To je způsobeno omezením počtu dlouhodobých výpadků.

2.2 Regulace nepřetržitosti dodávky v ČR

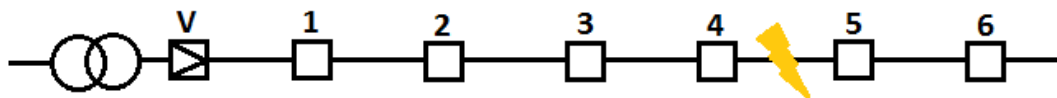
V České republice se podobně jako v ostatních evropských zemích začínají uplatňovat penalizace pro distribuční společnosti plynoucí z nedodávky elektřiny. Poprvé byly tyto postupy zavedeny vyhláškou 540/2005 Sb. s platností od 1. 1. 2006. Tato vyhláška stanoví garantované standardy dodávky a náhrady plynoucí z jejich nedodržení.

V roce 2010 pak vstoupila v platnost vyhláška 41/2010 Sb. která přinesla změny jako zvýšení náhrad za nedodržení standardů, zpřísnění standardů, atd. Pro ekonomické hodnocení nasazení distribuční automatizace je třeba zvážit také ušlý zisk distributora způsobený nedodávkou. Za těchto podmínek může nasazení DA přinést úsporu na straně distribuční společnosti.

Tato kapitola byla vypracována s použitím zdrojů [5], [6]

2.3 Nasazení prvků distribuční automatizace

Aby bylo možné zhodnotit přínos distribuční automatizace, je třeba provoz prvků DA porovnat s výchozí situací. Na obr. 2.1 je znázorněn vývod s poruchou bez použití DA, tedy pouze s klasickými úsečníky 1-6.



obr. 2.1 Vývod bez použití DA

Úsečník č. 6 je spojovacím místem s jiným vývodem a za běžného provozu je vypnut. Poruchu vypíná vypínač a následuje výjezd poruchové čety. Provedení manipulací pro nalezení poruchového úseku lze provést mnoha způsoby mimo jiné v závislosti na typu poruchy a druhu odběru v odpojovaném úseku. V případě vyhledávání zemního spojení můžeme například odpojovat úseky od konce vývodu (od č. 5) a postupně zkoušet zapnout. Ve chvíli kdy poruchové hlášení zmizí (tj. po odpojení č. 4), je zřejmé, že porucha je v úseku 4-5. Kdyby však porucha byla na začátku vývodu, její hledání touto metodou by bylo časově náročné. Další možností je metoda „půlení intervalu“. Nejdříve by se vypnul odpojovač č. 3 a na základě poruchového hlášení bychom mohli určit, ve které polovině vývodu se porucha nachází. Tímto způsobem se postupuje dále až do nalezení poruchového úseku. V každém případě tyto manipulace na dlouhém vývodu znamenají mnohé přesuny poruchové čety a mohou tak být časově velmi náročné.

2.3.1 Dálkově ovládané úsečníky

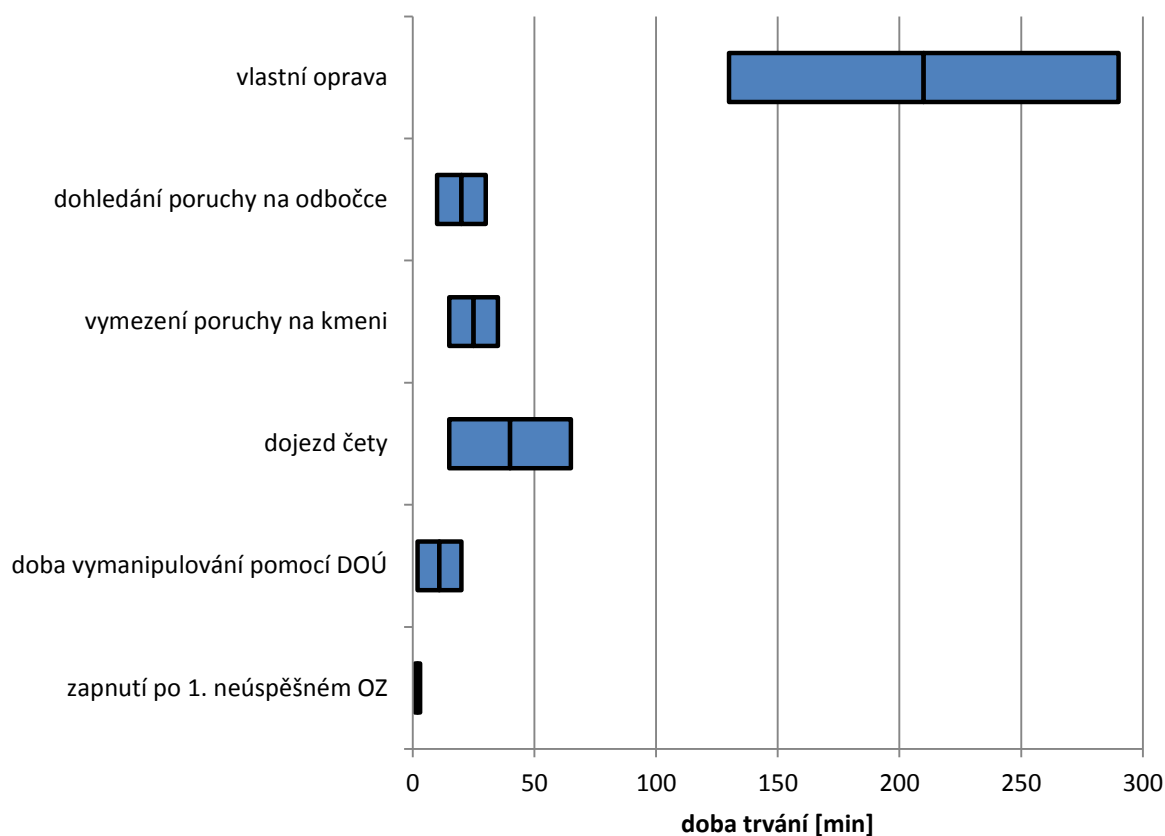
Nasazení DOÚ je základním prvkem automatizace distribučních sítí v ČR. Při správné volbě umístění DOÚ je jeho přínos pro rychlost obnovení dodávky nezanedbatelný. Jeho použití je výhodné zejména na dlouhých vývodech, popř. jako propojení s jiným vývodem pro možnost rychlého náhradního napájení.

Na modelové situaci (viz. obr. 2.2) máme na vývodu instalovány DOÚ 3 a 6. Prvky 1, 2, 4, 5 jsou klasické úsečníky a porucha se objeví mezi úsečníky 4 a 5. Uvažujeme, že DOÚ č. 6 je spojovacím místem s jiným vývodem a proto je při běžném provozu vypnutý.



obr. 2.2 Nasazení DOÚ

Na poruchu v tomto případě jako první reaguje ochrana v rozvodně vypnutím vypínače (V). Následně je proveden rychlý OZ, pokud porucha trvá, vývod je znovu vypnut. Následné zapnutí probíhá manipulací dispečera a provádí se do 3 minut, aby při případném odeznění poruchy nedošlo k nepříznivému ovlivnění ukazatele SAIFI. Pokud ani toto zapnutí neproběhne úspěšně, provádí se manipulace s DOÚ. V našem příkladu to znamená vypnutí DOÚ č. 3 a zapnutí úseku až po DOÚ č. 3. Průměrná doba manipulací dálkově ovládanými prvky se v průměru pohybuje kolem 10 minut. Následuje výjezd poruchové čety pro vymezení úseku s poruchou. Provede se vypnutí úsečníku č. 5 a v případě zemního spojení můžeme zapnout DOÚ č. 3. Pro zapínání do zkratu se vždy používá vypínač, případně recloser. Porucha trvá, DOÚ je opět vypnut, úsečník č. 5 se zapne a provede se vypnutí úsečníku č. 4. Opět se zapne DOÚ č. 3 a poruchový úsek je nalezen (4-5). Poruchová četa pak znovu vypíná úsečník č. 5 a dispečer obnovuje dodávku na úseku 5-6 zapnutím DOÚ č. 6. Obnovení dodávky v úseku mezi vypínačem v rozvodně a DOÚ č. 3 proběhlo velmi rychle (v průměru cca 10 minut) v porovnání s použitím pouze klasických úsečníků, kdy může být i samotné dohledání místa poruchy časově mnohem náročnější. Rozpětí časů prováděných činností jsou znázorněny na obr. 2.3 včetně průměrných hodnot.



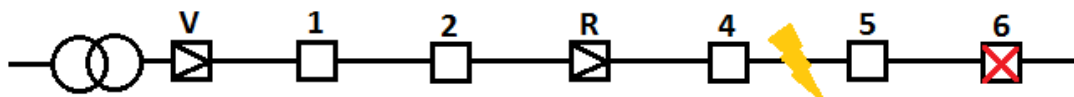
obr. 2.3 Časová rozpětí pro jednotlivé kroky

Uvedené údaje se týkají běžného postupu pracovníků společnosti E.ON Česká republika

2.3.2 Reclosery

Recloser podobně jako DOÚ slouží k rozdělení vývodů na několik částí. Protože disponuje funkcí vypínače a také ochrany, odpojení poruchového úseku probíhá z pohledu nepřetržitosti dodávky prakticky okamžitě. To je velmi výhodné pro odběratele v úseku před recloserem, protože dodávka energie se zde nepřerušuje. V úseku za recloserem je pak obnovení dodávky závislé na mnoha faktorech viz obr. 2.3.

Modelový případ na obr. 2.4 znázorňuje vývod s vývodovým vypínačem (V), recloserem (R), úsečníky (1, 2, 4, 5) a DOÚ (6). DOÚ č. 6 je při běžném provozu vypnut. Porucha nastává v úseku 4-5 a jako první zareaguje recloser, který odpojí úsek R-6.

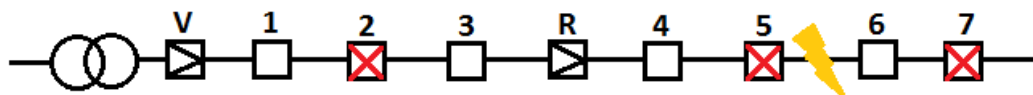


obr. 2.4 Použití recloseru

Proti variantě pouze s DOÚ je vidět podstatné zlepšení, protože porucha neovlivní úsek V-R. Následuje výjezd poruchové čety, která začne vypnutím úsečníku č. 5. Rozdílem proti variantě s DOÚ je, že i v případě zkratu můžeme zapínat recloserem. Při použití DOÚ by bylo třeba manipulovat s vypínačem v rozvodně a docházelo by k vypínání i v úseku před DOÚ.

Po zapnutí recloseru porucha stále trvá a recloser se opět vypne. Úsečník č. 5 se opět zapne a přechází se k vypnutí úsečníku č. 4. Opakuje se zapnutí recloseru, tentokrát již bez poruchy. Poruchový úsek 4-5 je tedy nalezen, znovu se vypíná úsečník č. 5 a obnoví se napájení úseku 5-6 zapnutím DOÚ č. 6.

Specifickým případem je nasazení recloserů v kombinaci s DOÚ (obr. 2.5), který kombinuje výhody předchozích variant. Protože je zde použito poměrně velké množství automatizačních prvků, najde tento systém uplatnění spíše u delších vývodů.

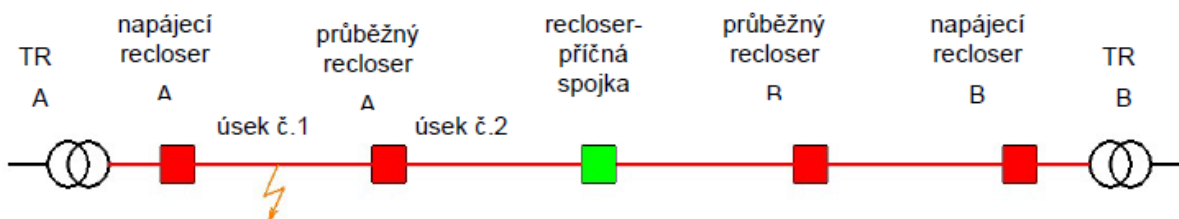


obr. 2.5 Použití recloserů v kombinaci s DOÚ

Postup pro vymezení poruchy je odvozen od předchozích variant. Na obr. 2.4 je vyznačena porucha v úseku 5-6. Jako první reaguje recloser, realizuje OZ a pokud porucha trvá, probíhá vypnutí DOÚ č. 5 a zapnutí recloseru. Porucha již neprojeví a je zřejmé, že poruchový úsek je v oblasti 5-7. V tuto chvíli je vyslána poruchová četa, která provede vypnutí úsečníku č. 6. V případě zemního spojení můžeme zapnout DOÚ, u zkratu je třeba vypnout recloser, zapnout DOÚ a znovu zapnout recloser. Porucha se znovu projeví a postižený úsek je tedy 5-6. Výhodou tohoto systému je, že při vyslání poruchové čety máme přesnější informaci o místě poruchy v porovnání s předchozími variantami. Zkracuje se tím i doba potřebná k vymanipulování poruchového úseku pomocí klasických úsečníků.

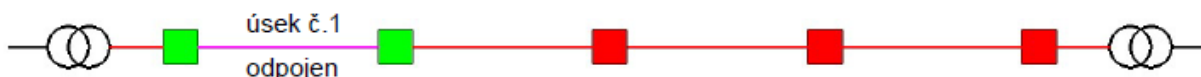
Uvedené údaje se týkají běžného postupu pracovníků společnosti E.ON

2.3.3 Automatizace v okružní síti



obr. 2.6 Zapojení v okružní síti před poruchou [1]

Nastane-li porucha v úseku mezi napájecím a průběžným recloserem (A) viz obr. 2.6, napájecí recloser A zjistí poruchu a vypne. Průběžný recloser A v reakci na ztrátu napájení podle svého nastavení vypne. Pro zachování napájení v úseku č. 2 je sepnuta příčná spojka, která zajistí napájení z druhé strany.



obr. 2.7 Zapojení v okružní síti po poruše [1]

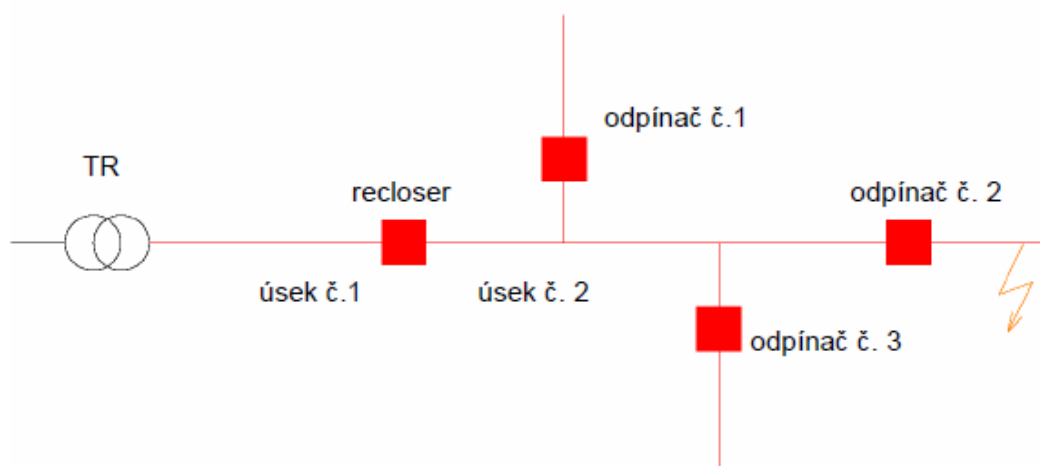
Aby bylo dosaženo finanční úspory, musí být náklady spojené s pořízením a provozem DA nižší, než úspora vzniklá nasazením těchto zařízení.

Dojde-li k poruše na úsek č. 1 v případě, že vývod není vybaven reclosery, je obdobná manipulace závislá na dojezdové vzdálenosti poruchové služby k úsekovému vypínači mezi úseky (č. 1 a č. 2) a příčné spojce. Reclosery jsou schopny provést veškeré manipulace v průběhu několika sekund. Navíc v případě odstranění poruchy a obnovení napájení z původního zdroje se automaticky obnoví předchozí zapojení sítě.

Dosažená úspora tedy závisí na správném umístění recloserů. Jednoduchou úvahou lze říci, že nedodávka elektřiny bude tím nižší, čím poruchovější je úsek č. 1 a čím více odběratelů je připojeno k úseku č. 2.

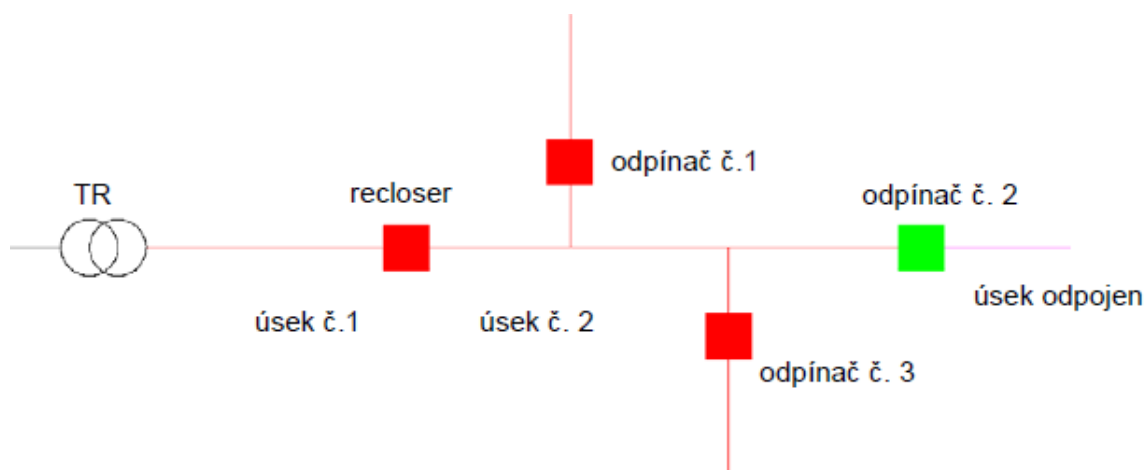
Tato kapitola byla vypracována s použitím zdroje [1]

2.3.4 Automatizace v paprskové síti



obr. 2.8 Zapojení v paprskové síti před poruchou [1]

Dojde-li k poruše za automatizovaným odpínačem č. 2, recloser vypne. Následně provede první OZ a v případě přetrvávající poruchy provede druhý OZ. Automatický odpínač č. 2 mezitím zaregistruje nadproud podle svého nastavení a v beznapěťovém stavu druhého OZ vypne. Po druhém OZ je tedy poruchový úsek vypnut, zatímco v ostatních větvích je dodávka elektřiny obnovena.



obr. 2.9 Zapojení v paprskové síti po poruše [1]

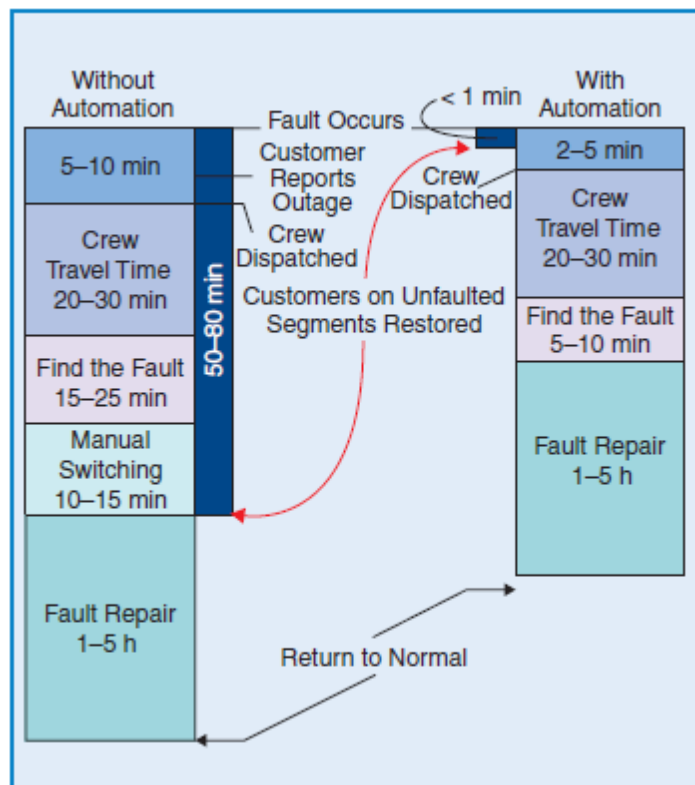
Pouze s použitím ochran na vývodu v rozvodně je princip eliminace poruchy stejný. Nevýhodou je vypínání celého vývodu, zatímco s použitím recloseru posouváme vypínací bod dále od rozvodny.

Lze říci, že nedodávka elektřiny bude tím nižší, čím více odběratelů je připojeno v úseku č. 1, čím více poruch se vyskytuje v úseku č. 2 nebo čím delší je doba dojezdu posádky poruchové služby.

Tato kapitola byla vypracována s použitím zdroje [1]

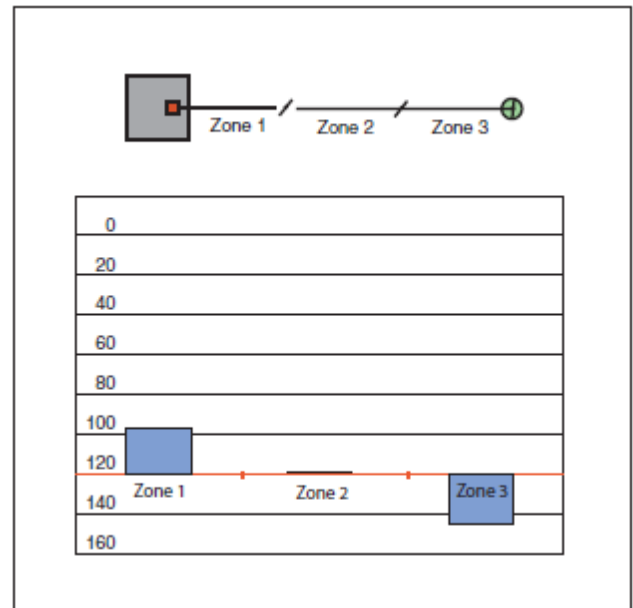
2.4 Přínos distribuční automatizace

Na obr. 2.10 je znázorněn algoritmus pro vyhledání a opravu poruchy včetně potřebných časů. Z obrázku je patrné, že s použitím automatizace je doba obnovení dodávky na bezporuchových úsecích podstatně kratší. Kratší doba nedodávky je ale také dosažena přímo na úseku s poruchou, ačkoliv tento vliv již není tak výrazný díky dlouhé době opravy.



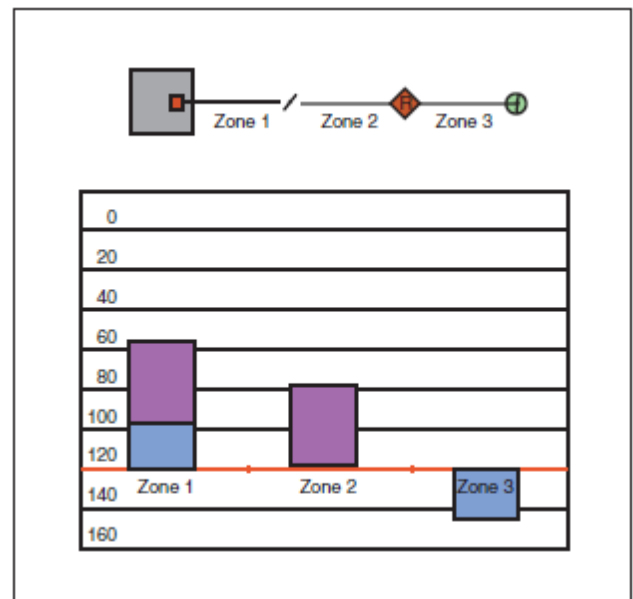
obr. 2.10 Doba vymezení poruchy bez a s použitím distribuční automatizace [7]

Budeme-li uvažovat dobře udržovaný distribuční systém bez automatizace (obr. 2.11), průměrná doba výpadku u zákazníka je 120 minut každý rok [9]. Čím dále je odběratel od zdroje, tím delší bývá doba obnovení dodávky. Výsledkem je tedy silná závislost doby obnovení dodávky na poloze odběratele.



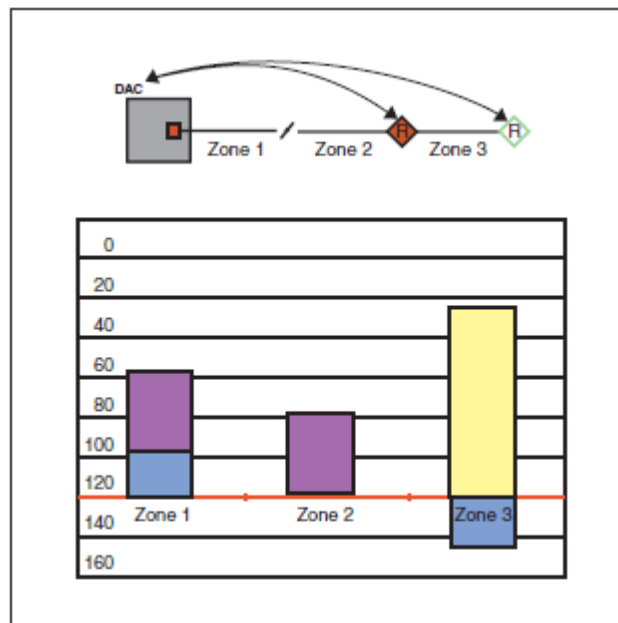
obr. 2.11 Doba výpadku bez automatizace [9]

Využijeme-li distribuční automatizaci, doba výpadku se zredukuje a výsledkem je vyšší ekonomická efektivita fungování celého vývodu. Na obr. 2.12 je nasazen recloser, který chrání koncovou část vývodu, což vede k vyšší spolehlivosti dodávky pro zákazníky v prvních dvou třetinách vývodu. Porucha v koncové části vývodu už nezpůsobí přerušení dodávky v prvních dvou třetinách vývodu. To ale neznamená žádný přínos z hlediska spolehlivosti pro koncovou třetinu vývodu. Průměrná doba výpadku je 100 minut za rok.



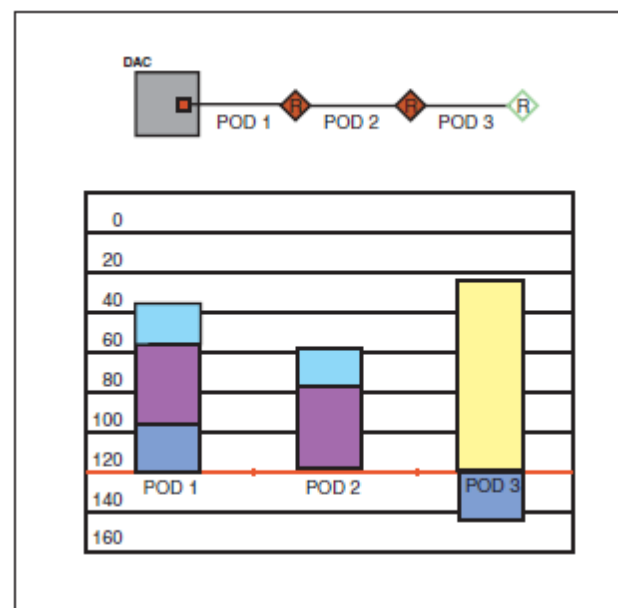
obr. 2.12 Doba výpadku s použitím recloseru [9]

Dalším krokem je přidání recloseru zajišťujícího propojení s jiným vývodem a tedy i možnost napájení z druhé strany. Zároveň je přidána řídicí jednotka a komunikační systém (obr. 2.13). Tato opatření zajistí výrazné zredukování nedodávky v koncové části vývodu. Průměrná doba výpadku činí 70 minut za rok.



obr. 2.13 Doba nedodávky s přidáním dalšího recloseru a řízení [9]

Přidáním dalšího recloseru do první třetiny vývodu (obr. 2.14) spolehlivost dodávky na úseku 1 a 2 stále nedosahuje hodnoty v úseku 3. To je dáno nedostatečnou kapacitou záložního vývodu a nebylo by možné adekvátně udržet hodnotu napětí. Průměrná doba výpadku je zde omezena na 50 minut za rok.



obr. 2.14 Doba nedodávky s přidáním recloseru do první třetiny vývodu [9]

Dalších zlepšení spolehlivosti je možné dosáhnout zajištěním rezervního napájení pro každý úsek. Průměrná doba nedodávky by se tak zredukovala na 30 minut za rok. Ještě kratší doby můžeme dosáhnout s pomocí vysokorychlostní komunikace mezi automatizačními prvky.

Tato kapitola byla vypracována s použitím zdroje [9]

2.5 Pokročilá distribuční automatizace

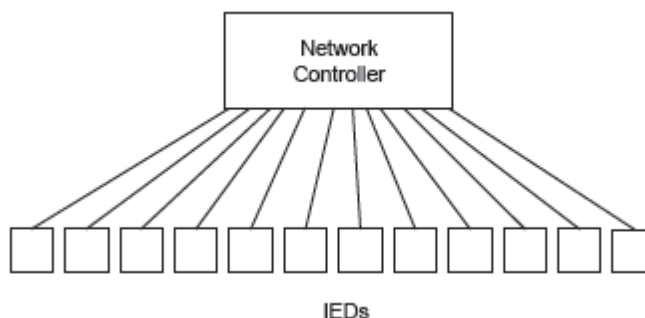
Koncept pokročilé distribuční automatizace je založen na tzv. inteligentních elektronických zařízeních. Tato zařízení sbírají a zpracovávají data pomocí síťové komunikace. Získané informace zahrnují stavy minulé i současné a je tedy možné lépe vyhodnotit optimální manipulaci v dané síti. Databáze pak obsahuje záznamy o činnosti spínacích prvků, záznamy z měření a záznamy systému monitorování transformátorů.

V případě poruchy se provede výpočet místa poruchy, který zvyšuje produktivitu práce dispečerů. S použitím inteligentních zařízení je zároveň možné využít monitorování okolních podmínek jako např. rychlost a směr větru, okolní teplota, sluneční záření a srážky. Tyto údaje nám dovolují určit skutečný stav chlazení transformátoru. Rekonfigurace sítě na základě zjištěných poruchových stavů provádí s pomocí centrálního řízení nebo vzájemné komunikace prvků. Doba trvání manipulací obvykle nepřekračuje 2 minuty. Využití pokročilé distribuční automatizace poskytuje široké možnosti nejen v souvislosti s likvidací poruch, ale umožňuje zároveň předcházet nežádoucím stavům v síti. Rekonfigurace se pak mohou provádět také na základě vyhodnocení zatížení transformátorů, výkonových toků v síti, regulace napětí, atd.

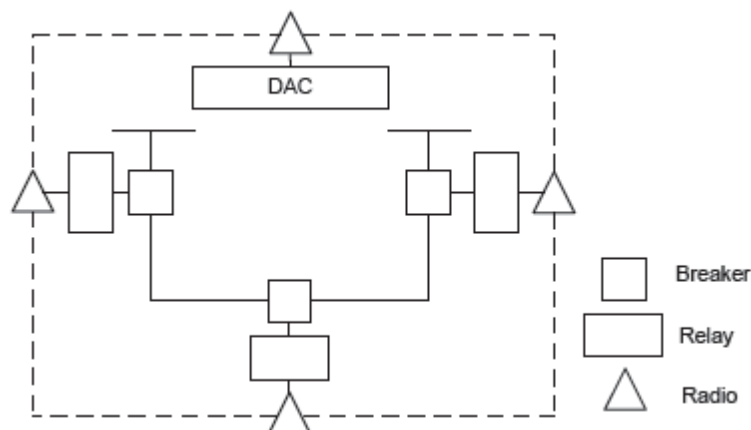
Tato kapitola byla vypracována s použitím zdroje [7]

2.5.1 Centralizovaný systém

Komunikace v centralizovaném systému může být řešena konfigurací do hvězdy (obr. 2.15) nebo do smyčky (obr. 2.16).



obr. 2.15 Schéma centralizovaného systému (hvězda) [8]



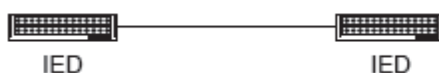
obr. 2.16 Schéma centralizovaného systému (smyčka) [8]

V tomto systému je využita centrální řídicí jednotka, která automaticky reaguje na poruchu a rekonfiguruje síť s pomocí inteligentních prvků v rozvodnách a stožárech vedení. Cílem řídicí jednotky je vymezení poruchového úseku vývodu a obnovení napájení v bezporuchové části.

Tato kapitola byla vypracována s použitím zdrojů [1], [7], [8]

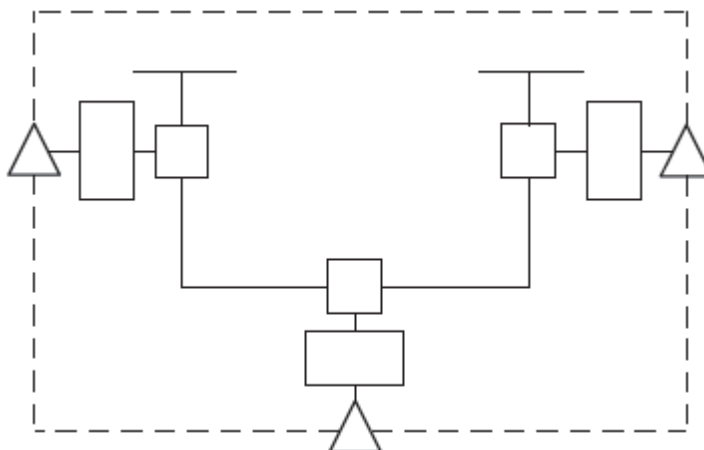
2.5.2 Decentralizovaný systém

Každé zařízení v tomto systému komunikuje se sousedními prvky. Jedná se o spojení typu peer-to-peer (obr. 2.17).



obr. 2.17 Peer-to-peer komunikace [8]

Všechny prvky komunikují na stejné úrovni. Rozhodování provádí prvky na základě nasbíraných informací a lokálních výpočtů s tím, že o provedených manipulacích rozhoduje 1 prvek, který je dominantní (tzv. „coach“).



obr. 2.18 Schéma decentralizovaného systému [8]

Tato kapitola byla vypracována s použitím zdroje [8]

3 Metodika nasazování automatických prvků

3.1 Ukazatele spolehlivosti dodávky

Ukazatele spolehlivosti dodávky jsou využívány ke zjištění trendů v dané oblasti. Je také možné využít je pro porovnání různých oblastí, ale je třeba vzít v úvahu zejména rozdílné geografické podmínky. Tyto ukazatele zahrnují výpadky delší než 3 minuty (dlouhodobá přerušení dle vyhlášky 540/2005 Sb.) bez ohledu na příčinu výpadků [4].

3.1.1 SAIFI

Ukazatel SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) udává průměrný počet přerušení dodávky, ke kterým došlo v průběhu celého roku. Zlepšení tohoto ukazatele je možné pouze zmenšením počtu přerušení dodávky, tj. použitím spolehlivých prvků na vedení, pravidelná údržba, průseky v okolí vedení, atd.

$$\text{SAIFI} = \frac{\sum N_i}{N_T} \text{ [počet/rok/odběrné místo]} \quad (3.1)$$

N_i – celkový počet odběratelů postižených i -tým přerušením dodávky

N_T – celkový počet odběratelů

3.1.2 SAIDI

Ukazatel SAIDI (System Average Interruption Duration Index) udává průměrnou dobu, po kterou byl odběratel bez elektrické energie za celý rok. Zlepšení tohoto ukazatele je možné provést snížením počtu výpadků dodávky (viz. SAIFI) a snížením doby trvání výpadků, které je možné ovlivnit použitím systému OZ, nasazením DOÚ, recloserů, atd. Snížení hodnoty ukazatelů SAIFI a SAIDI znamená zvýšení spolehlivosti dodávky.

$$SAIDI = \frac{\sum T_i \cdot N_i}{N_T} \text{ [min/rok/odběrné místo]} \quad (3.2)$$

T_i – doba nedodávky pro i -té přerušeni dodávky [min]

N_i – celkový počet zákazníků postižených i -tým výpadkem dodávky

N_T – celkový počet zákazníků

3.1.3 CAIDI

Jedná se o průměrnou dobu trvání výpadku u odběratelů. Zlepšení tohoto ukazatele je možné dosáhnout jednak snížením celkové doby výpadků a také zvýšením počtu kratších výpadků. Nelze tedy obecně říci, že snížením tohoto ukazatele selepší spolehlivost dodávky.

Ukazatel CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) vychází z ukazatelů SAIFI a SAIDI:

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \text{ [min/přerušeni]} \quad (3.3)$$

Tato kapitola byla vypracována s použitím zdrojů [3], [4]

3.2 Kritéria nasazení automatizovaných prvků

Při nasazování automatizovaných prvků je vždy třeba posoudit možnost jejich nasazení podle základních kritérií:

- vzdálenost od místa výjezdu k místům manipulací
- nedostupnost míst manipulací
- poruchovost vedení
- zatížení vedení před místem uvažovaného umístění
- ekonomická návratnost

Každá porucha je charakterizována množstvím nedodané energie. Určení míst nasazení se tedy provádí podle následujících vztahů:

$$n_1 + n_2 \leq W_1 \cdot K \quad (3.4)$$

n_1 – náklady na pořízení včetně instalace zařízení

n_2 – náklady na provoz a údržbu zařízení po dobu životnosti

W_1 – nedodaná energie, která je eliminována nasazením zařízení za dobu jeho životnosti

K – cena 1 kWh nedodané energie

Obecně lze tedy vyjádřit:

$$n_1 + n_2 \leq \sum_{x=1}^{x_p} \sum_{y=1}^{y_r} W_{xy} \cdot K \quad (3.5)$$

W_{xy} – nedodaná energie x-té poruchy y-tého chráněného dispečerského úseku, která je eliminována nasazením zařízení za dobu jeho životnosti

x_p – počet poruch v dispečerských úsecích, na které reagují automatizovaná zařízení

y_r – počet chráněných dispečerských úseků

Počet poruch a nedodanou energii lze stanovit s použitím průměrných hodnot za určité období, které následně vztáhneme k životnosti daného automatizovaného prvku.

Tato kapitola byla vypracována s použitím zdroje [1]

3.3 Logická strukturální matice

Pro jednotlivé varianty nasazení prvků distribuční automatizace je nutné respektovat jejich rozložení v daném vývodu. Hodnocení ukazatelů nepřetržitosti dodávky je nutné provést metodou, která toto rozložení respektuje. Pro tento účel jsem využil tzv. logickou strukturální matici [11]. Tato matice při výpočtech respektuje jednotlivé parametry každého úseku vývodu, což umožňuje zjištění vlivu různých zařízení s respektováním místa jejich nasazení. Každému úseku je přiřazena délka, poruchovost, odběr a počet zákazníků připojených v daném úseku.

Tabulka 1 Logická strukturální matice [11]

			úsek č. 1	úsek č. 2	úsek č. j
			l_1	l_2	l_j
			λ_1	λ_2	λ_j
úsek č. 1	S_1	N_1	T_{11}	T_{12}	T_{1j}
úsek č. 2	S_2	N_2	T_{21}	T_{22}	T_{2j}
úsek č. i	S_3	N_3	T_{i1}	T_{i2}	T_{ij}

Do tabulky je dále potřeba doplnit hodnoty časů, kde např. T_{ij} znamená dobu nedodávky v úseku č. i v důsledku poruchy na úseku č. j. Informace obsažené v takto vyplněné tabulce lze použít pro výpočet ukazatelů nepřetržitosti dodávky podle následujících vztahů:

$$\text{SAIDI} = \frac{1}{N_C} \cdot \sum_{i=1}^n \left(N_i \sum_{j=1}^n \lambda_j l_j T_{ij} \right) \quad (3.6)$$

$$\text{SAIFI} = \frac{1}{N_C} \cdot \sum_{i=1}^n \left(N_i \sum_{j=1}^n \lambda_j l_j X_{ij} \right) \quad (3.7)$$

Abychom získali hodnotu X_{ij} pro výpočet ukazatele SAIFI, je třeba provést vyhodnocení T_{ij} . Je-li $T_{ij} > 0$, pak $X_{ij} = 1$. V opačném případě je $X_{ij} = 0$.

Následně můžeme určit hodnotu ukazatele ENS (nedodané energie), kde využijeme řádkový součet, který je použit pro výpočet ukazatele SAIDI.

$$\text{ENS} = \sum_{i=1}^n \left(S_i \sum_{j=1}^n \lambda_j l_j T_{ij} \right) \quad (3.8)$$

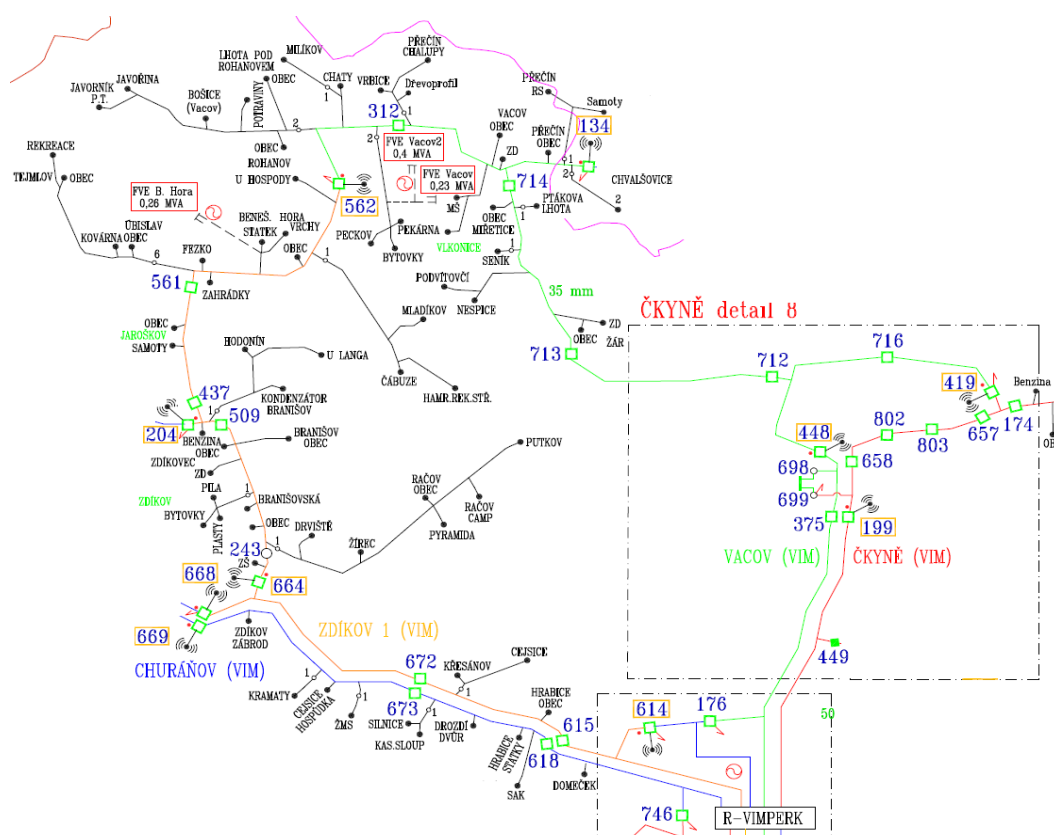
Tato kapitola byla vypracována s použitím zdroje [11]

4 Případová studie

Cílem tohoto návrhu je zjistit možnosti nasazení automatizačních prvků na zadaném vývodu. Pro jednotlivé varianty je provedeno zhodnocení z hlediska ukazatelů nepřetržitosti dodávky a množství nedodané energie. Kromě optimálního rozložení prvků je zhodnocena také citlivost na vstupní údaje, která by mohla být nápomocná pro budoucí návrhy tohoto typu.

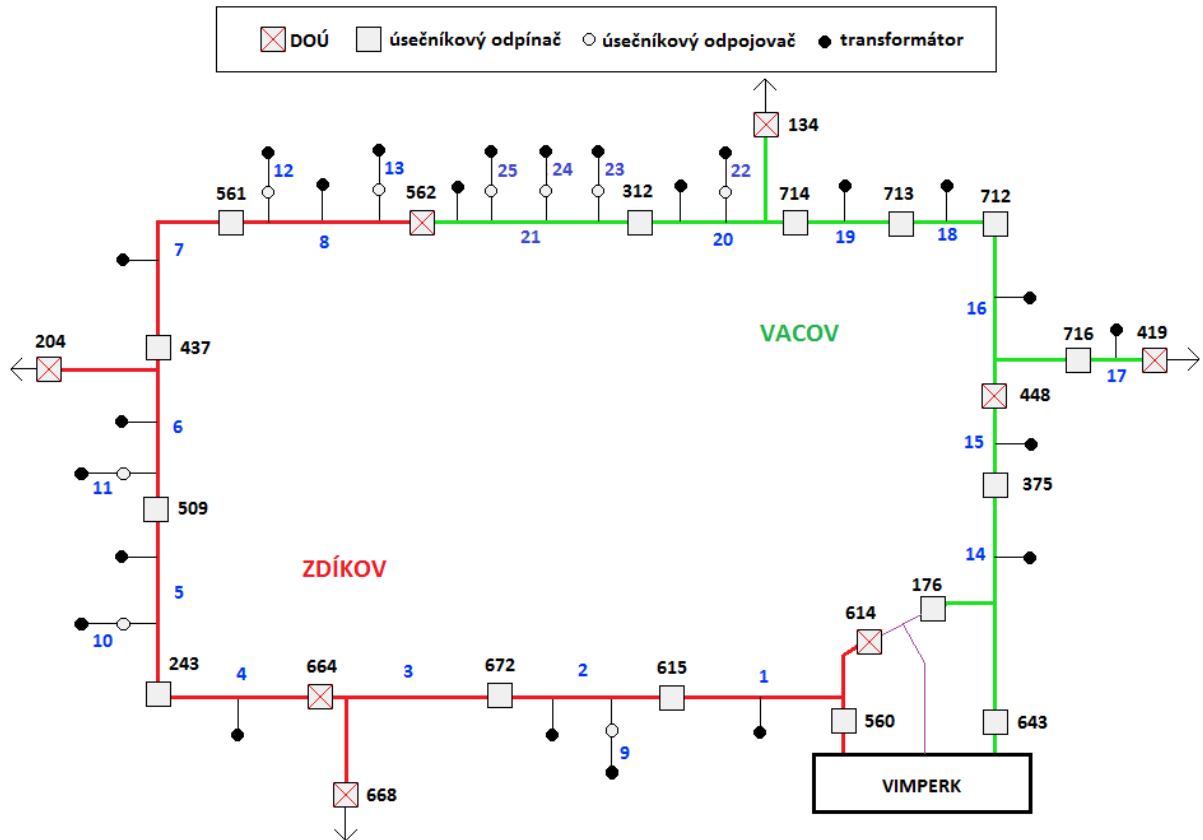
4.1 Vstupní parametry pro výpočet

Veškeré parametry použité při výpočtech byly provedeny na základě informací o konkrétních vývodech poskytnutých společností E.ON Česká republika. Jedná se o vývody Zdíkov a Vacov z rozvodny 22 kV Vimperk. Vývody je možno spojit paralelně a zajistit tak záložní napájení a zároveň je zde několik možností na propojení s jinými vývody. Za běžných podmínek jsou vývody provozovány odděleně.



obr. 4.1 Vývody Zdíkov a Vacov

O vývodu bylo třeba získat všechny potřebné informace, tj. jmenovité výkony transformátorů, délky kmenových úseků a odboček a také statistiku poruch. Poskytnuté informace o neplánovaných přerušeních dodávky na vývodech delších než 3 minuty jsou z let 2009 – 2012. Všechny tyto údaje jsem zpracoval do tabulek, které jsou dále využity při výpočtu. Prvním krokem však bylo vytvoření zjednodušeného schématu pro oba vývody, které usnadní provádění veškerých výpočtů.



obr. 4.2 Zjednodušené schéma pro výpočty

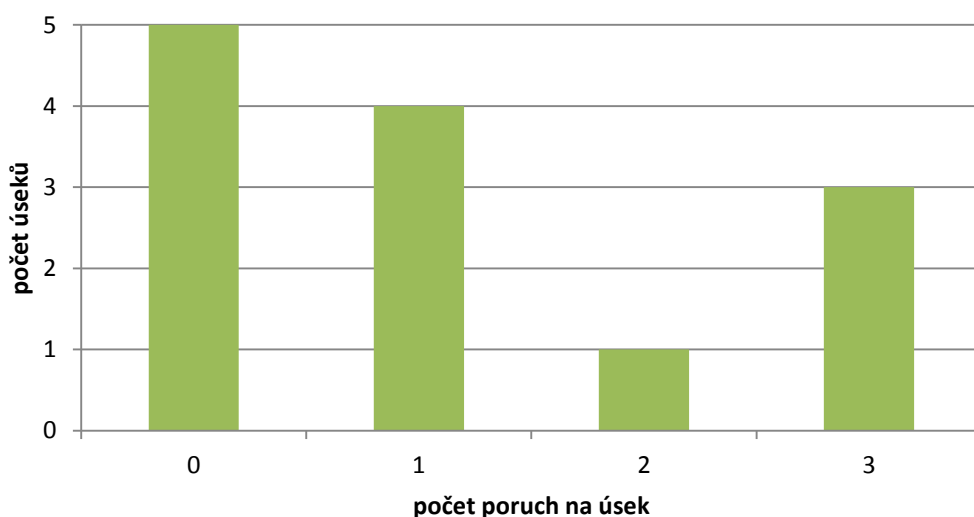
Oba vývody jsem rozdělil na 25 úseků (13 úseků Zdíkov a 12 úseků Vacov). Odbočky přímo připojené na kmen jsem považoval za součást kmenového vedení a jejich délku a odběr jsem tedy přičítal na příslušný kmenový úsek. Toto zjednodušení lze provést i u některých odboček připojených přes úsečník. Zvláště pak v případech kdy se jedná o velmi krátkou odbočku nebo odbočku s malým odběrem, na které se během vyhodnocovaného období nevyskytují poruchy.

Pokud ale nejsou předchozí předpoklady pro zjednodušení splněny a odbočka je připojena přes úsečník, je třeba jí přiřadit vlastní úsek, který ve výpočtu vystupuje samostatně.

Následně jsem zpracoval poruchové záznamy za 4 roky (2009 – 2012) a vyhodnotil jsem počet poruch v každém úseku. Poté bylo třeba určit délky jednotlivých úseků a také hodnoty jmenovitých výkonů transformátorů k nim připojených. Z informací o počtu poruch a délce úseku je možné určit poruchovost λ každého úseku za rok podle vztahu:

$$\lambda_i = \frac{N_{Pi}}{l_i} \text{ [poruch/ km]} \quad (3.9)$$

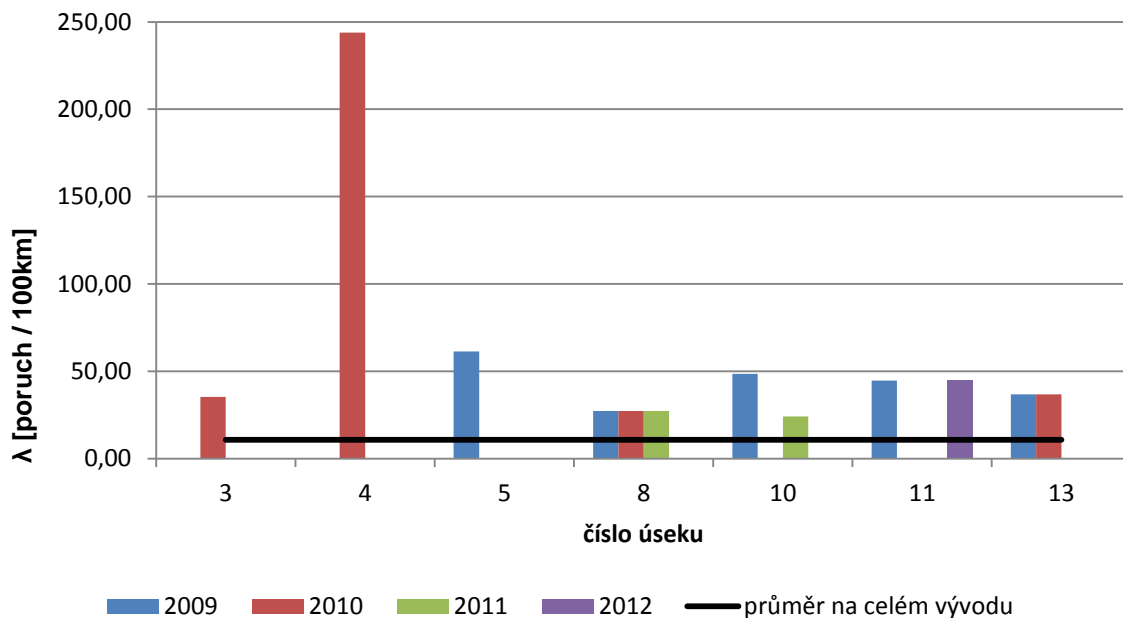
N_{Pi} představuje počet poruch v úseku i a l_i je délka úseku č. i . Abychom docílili hodnoty poruchovosti za rok, je třeba vypočtené hodnoty navíc vydělit počtem let, za který máme k dispozici informace o poruchách.



obr. 4.3 Počet poruch v úsecích na vývodu Zdíkov

Z obrázku 4.3 je zřejmé, že se v 5 úsecích ze 13 během vyhodnocovaného období neobjevila žádná porucha. Jedná se mimo jiné i o úseky, které mají výraznou délku i jmenovitý výkon použitých transformátorů. To, že zde nastala žádná porucha během vyhodnocovaného období, neznamená, že se tak nestane i v budoucnu. Budeme-li pro vyhodnocení používat hodnoty poruchovosti určené pro každý úsek zvlášť, můžeme se z dlouhodobého hlediska dopustit značné nepřesnosti. Na základě podrobnější analýzy poruch v jednotlivých letech se ukazuje, že poruchovost v úsecích s alespoň 1 poruchou viz. obr. 4.4 není příliš vyrovnaná. Zatímco se v některých letech nevyskytne porucha vůbec, může se v jednom roce objevit několik poruch. Nicméně například v úseku č. 8 je poruchovost

poměrně vyrovnaná. Největší výkyv poruchovosti se objevuje v úseku č. 4. Ačkoliv se zde vyskytla pouze 1 porucha v roce 2010, poruchovost úseku dosahuje vysokých hodnot, protože se jedná o velmi krátký úsek (0,41 km).

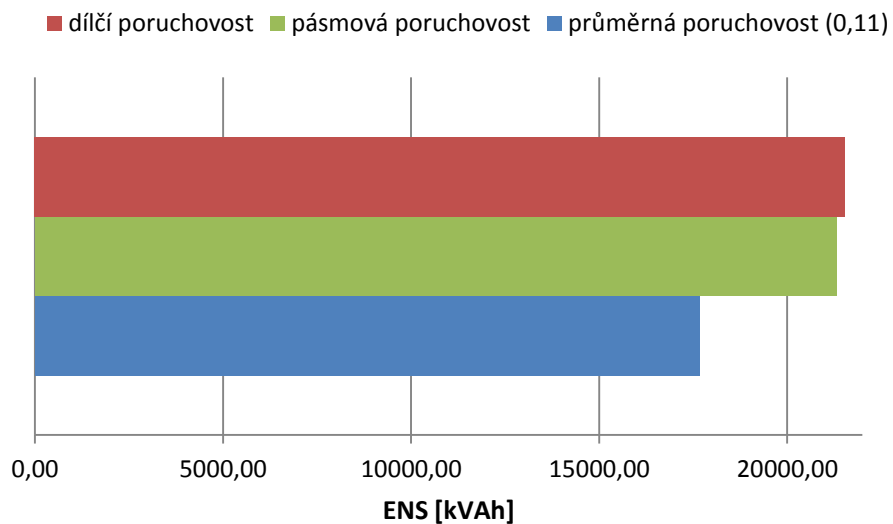


obr. 4.4 Poruchovost v úsecích s alespoň 1 poruchou v jednotlivých letech na vývodu Zdíkov

Nejprve je vhodné posoudit chování výsledných hodnot pro různé údaje poruchovosti na vstupu. Na obrázku 4.5 je znázorněno porovnání nedodané energie, při výpočtu první varianty (původní stav vývodu Zdíkov) s použitím různých hodnot poruchovosti. První výpočet je proveden s použitím dílčí poruchovosti, kde je každému úseku přiřazena poruchovost na základě počtu poruch v tomto úseku a délky úseku. Druhý výpočet je proveden pro průměrnou poruchovost na vývodu. Vzhledem k tomu, že množství nedodané energie při použití dílčí poruchovosti je podstatně vyšší, je výhodné použít poruchovostní pásma. Pro tento případ jsem použil první pásmo pro úseky s maximálně jednou poruchou a druhé pásmo pro více poruch na základě obr. 4.3. Poruchovost v každém pásmu je určena průměrem poruchovostí jednotlivých úseků s příslušným počtem poruch. Pro vývod Zdíkov je poruchovost v prvním pásmu 0,05 a v druhém pásmu 0,18. To znamená, že každému úseku je přiřazena nenulová poruchovost a navíc jsou zohledněny i poruchovější úseky (viz. tabulka 2). Výsledná nedodaná energie pro variantu I je téměř stejná jako při použití dílčí poruchovosti (obr. 4.5).

Tabulka 2 Poruchovost v úsecích s použitím poruchovostních pásem

číslo úseku	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
poruchovost	0,05	0,05	0,05	0,05	0,18	0,05	0,05	0,18	0,05	0,18	0,05	0,05	0,18



obr. 4.5 Porovnání ENS pro různé poruchovosti vývodu Zdíkov u varianty I

4.2 Zjednodušující předpoklady

Protože ne vždy jsou k dispozici všechny potřebné informace pro výpočet, je třeba přijmout některá zjednodušení. V předchozí kapitole již byl popsán potup při tvorbě zjednodušeného schématu. Je třeba si uvědomit, že pro každou variantu nasazení různých prvků bude potřeba vyplnit časovou tabulku s rozměrem, který odpovídá kvadrátu počtu úseků. Zjednodušení je tedy třeba provést tak, aby se výpočty mohly provádět co nejnadhěji, ale nelze provádět tyto kroky v přílišné míře na úkor přesnosti výpočtů.

Dalším úkolem je stanovit hodnoty odběru, protože v poskytnutých materiálech je informace pouze o jmenovitém výkonu použitých transformátorů. Rozhodl jsem se tedy uvažovat dobu využití maxima 4000 hodin za rok, což odpovídá průměrnému zatížení transformátorů asi 46%.

Následuje vytvoření logické strukturální matice (viz. kapitola 3.3). V tomto případě nám chybí informace o počtu zákazníků připojených do jednotlivých úseků. Bohužel se toto zjednodušení bude týkat i výsledných ukazatelů SAIFI a SAIDI, protože jsou na počtu zákazníků závislé. Nabízí se tedy možnost vztáhnout tyto ukazatele k hodnotám odběru v daných úsecích. Navíc by toto opatření nemělo nijak výrazně ovlivnit porovnání jednotlivých variant.

Další zjednodušení se týkají časů dosazovaných do logické strukturální matice, kde budeme uvažovat např. průměrné hodnoty časů, které ale budou záviset na konkrétní situaci (viz. kapitola 4.3).

4.3 Výpočty

Průměrná poruchovost obou úseků vyšla 0,13 poruch/km. U vývodu Zdíkov je to pouze 0,11 poruch/km. Ve výpočtech jsem většinou uvažoval průměrné časy, které je třeba doplnit do logické strukturální matice. Informace o dobách manipulací z dispečinku, dojezdu poruchové čety, vyhledání poruchy, manipulace v odbočkách, atd. byly poskytnuty pracovníky společnosti E.ON Česká republika. Pro každou variantu je třeba posuzovat tyto časy individuálně, a proto jsou u každé varianty uvažované časy uvedeny. Průměrná celková doba opravy na základě poskytnutého záznamu poruch vychází asi 2,25 hodiny. Tato hodnota za celý E.ON se ale pohybuje kolem 4,75 hodiny, proto budu ve výpočtech převážně používat

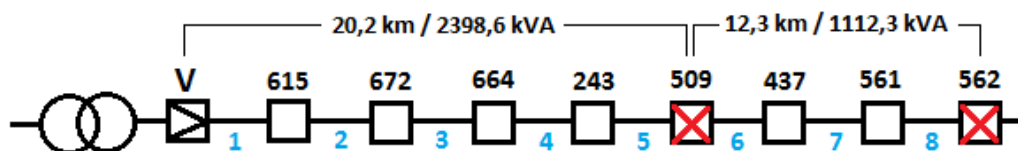
čety (35 minut) a vymezení kmenového úseku (25 minut). Celková doba nedodávky v úseku č. 2 je 71 minut viz. tabulka 4.

Tabulka 4 Ukázka postupu vyplnění matice časů

číslo úseku	1	2	3	4
1	281	71	71	11
2	71	281	71	11
3	71	71	281	11
4	11	11	11	281

4.3.2 Zdíkov: Varianta II – přemístění DOÚ

V této variantě jsem provedl posun DOÚ 664 na místo úsečníku 509. Použití DOÚ blíže k rozvodně by nemělo smysl vzhledem k vysoké koncentraci odběru a vyššímu výskytu poruch ve vzdálenější části vývodu. Přitom jsem vynechal úsečník 243, protože úsek č. 4 (664-243) je velmi krátký a je zde poměrně malý odběr. Uvažované časy se nijak neliší od první varianty, odlišné je pouze rozložení prvků.



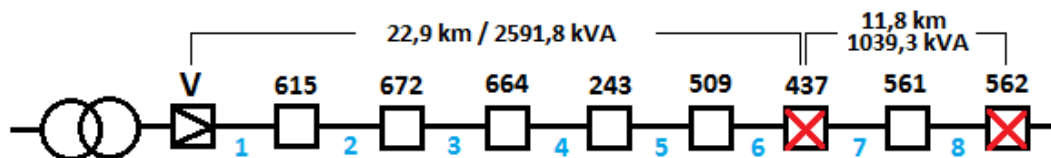
obr. 4.7 Orientační osazení vývodu pro variantu II

Tabulka 5 Vstupní parametry a vyhodnocení varianty II

vstupní parametry	
činnost	T [min]
eliminace postiženého úseku pomocí DOÚ	11
vymezení poruchy ve vyděleném úseku na kmenu pomocí úsečníků	25
vymezení úseku na kmenu s poruchou (35min dojezd + 25min dohledání)	60
vymezení úseku s poruchou na odbočce, náhradní napájení	20
oprava	210
vyhodnocení	
ENS [kVAh/rok]	18942,83
SAIDI [min/rok]	313,01
SAIFI [počet/rok]	3,75
CAIDI [min/přerušení]	83,47

4.3.3 Zdíkov: Varianta III – přemístění DOÚ

Pro nalezení optimálního umístění DOÚ na vývodu jsem provedl přemístění DOÚ 664 oproti předchozí variantě ještě o jeden úsek dále na místo úsečníku 437. Další posouvání směrem ke konci vývodu by nemělo z hlediska koncentrace odběru smysl.



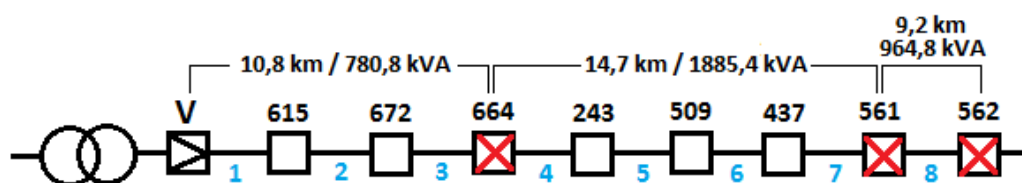
obr. 4.8 Orientační osazení vývodu pro variantu III

Tabulka 6 Vstupní parametry a vyhodnocení varianty III

vstupní parametry	
činnost	T [min]
eliminace postiženého úseku pomocí DOÚ	11
vymezení poruchy ve vyděleném úseku na kmenu pomocí úsečníků	25
vymezení úseku na kmenu s poruchou (35min dojezd + 25min dohledání)	60
vymezení úseku s poruchou na odbočce, náhradní napájení	20
oprava	210
vyhodnocení	
ENS [kVAh/rok]	19279,74
SAIDI [min/rok]	318,58
SAIFI [počet/rok]	3,75
CAIDI [min/přerušení]	84,96

4.3.4 Zdíkov: Varianta IV – dvojice DOÚ

V tomto případě jsou na kmenu instalovány 2 DOÚ (664 a 561). Všechny ostatní prvky zůstávají na původních místech. Protože přidáním DOÚ dojde ke zmenšení úseků pro dohledávání poruch pracovní četou, je tato varianta specifická snížením doby manipulací úsečníky na kmenu. Poloha DOÚ v místě 561 je navržena s ohledem na dlouhé odbočky připojené k tomuto úseku a vyšší četnost poruch.



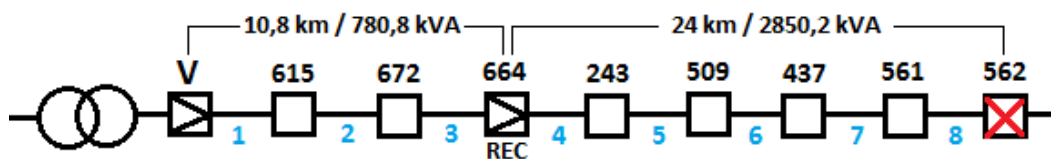
obr. 4.9 Orientační osazení vývodu pro variantu IV

Tabulka 7 Vstupní parametry a vyhodnocení varianty IV

vstupní parametry	
činnost	T [min]
eliminace postiženého úseku pomocí DOÚ	11
vymezení poruchy ve vyděleném úseku na kmenu pomocí úsečníků	20
vymezení úseku na kmenu s poruchou (35min dojezd + 20min dohledání)	55
vymezení úseku s poruchou na odbočce, náhradní napájení	20
oprava	210
vyhodnocení	
ENS [kVAh/rok]	16847,16
SAIDI [min/rok]	278,38
SAIFI [počet/rok]	3,75
CAIDI [min/přerušení]	74,24

4.3.5 Zdíkov: Varianta V – nasazení recloseru

V této variantě je proveden výpočet pro nasazení recloseru na místě stávajícího DOÚ 664. Výpočet je proveden podobným způsobem jako u nasazení DOÚ, ale doba eliminace postiženého úseku pomocí recloseru klesá z hlediska ukazatelů nepřetržitosti dodávky na 0.



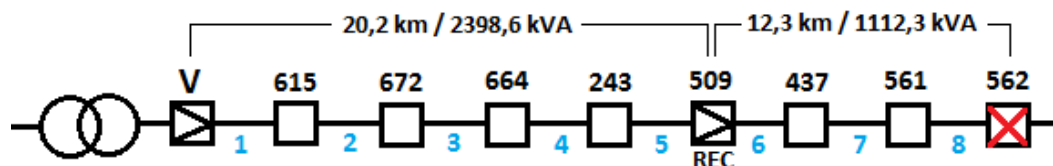
obr. 4.10 Orientační osazení vývodu pro variantu V

Tabulka 8 Vstupní parametry a vyhodnocení varianty V

vstupní parametry	
činnost	T [min]
eliminace postiženého úseku pomocí recloseru	0
vymezení poruchy ve vyděleném úseku na kmenu pomocí úsečníků	25
vymezení úseku na kmenu s poruchou (35min dojezd + 25min dohledání)	60
vymezení úseku s poruchou na odbočce, náhradní napájení	20
oprava	210
vyhodnocení	
ENS [kVAh/rok]	18812,76
SAIDI [min/rok]	310,86
SAIFI [počet/rok]	2,63
CAIDI [min/přerušení]	118,39

4.3.6 Zdíkov: Varianta VI – nasazení recloseru

Pro varianty I-III se zdá být nejvýhodnější umístění DOÚ na místě úsečníku 509. Vzhledem k tomu by mělo být výhodnější také nasazení recloseru v tomto místě na rozdíl od předchozí varianty.



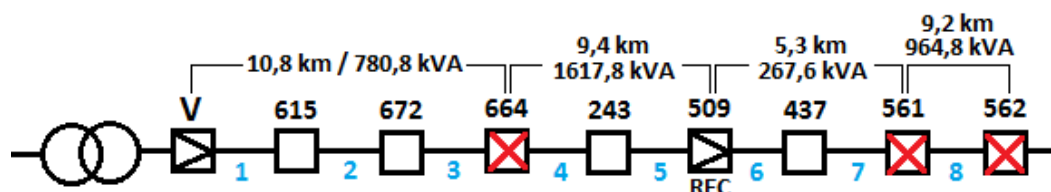
obr. 4.11 Orientační osazení vývodu pro variantu VI

Tabulka 9 Vstupní parametry a vyhodnocení varianty VI

vstupní parametry	
činnost	T [min]
eliminace postiženého úseku pomocí DOÚ	0
vymezení poruchy ve vyděleném úseku na kmenu pomocí úsečníků	25
vymezení úseku na kmenu s poruchou (35min dojezd + 25min dohledání)	60
vymezení úseku s poruchou na odbočce, náhradní napájení	20
oprava	210
vyhodnocení	
ENS [kVAh/rok]	16451,53
SAIDI [min/rok]	271,85
SAIFI [počet/rok]	1,98
CAIDI [min/přerušení]	137,61

4.3.7 Zdíkov: Varianta VII – nasazení recloseru s DOÚ

Pro zadanou situaci je varianta s použitím recloseru i DOÚ poměrně nákladná, nicméně z technického hlediska by měla opět přinést zlepšení ukazatelů nepřetržitosti dodávky, tj. mělo by dojít k dalšímu snížení množství nedodané energie.



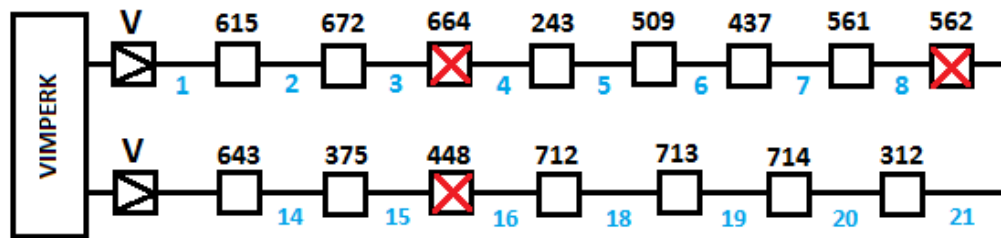
obr. 4.12 Orientační osazení vývodu pro variantu VII

Tabulka 10 Vstupní parametry a vyhodnocení varianty VII

vstupní parametry	
činnost	T [min]
eliminace postiženého úseku pomocí DOÚ	11
eliminace postiženého úseku pomocí recloseru	0
vymezení poruchy ve vyděleném úseku na kmenu pomocí úsečníků	15
vymezení úseku na kmenu s poruchou (35min dojezd + 15min dohledání)	50
vymezení úseku s poruchou na odbočce, náhradní napájení	20
oprava	210
vyhodnocení	
ENS [kVAh/rok]	14222,33
SAIDI [min/rok]	235,01
SAIFI [počet/rok]	1,98
CAIDI [min/přerušení]	118,97

4.3.8 Vacov a Zdíkov: Varianta I – původní stav

Následující výpočet odpovídá stávajícímu osazení vývodů Vacov a Zdíkov. Tentokrát jsou oba vývody v paralelním chodu. Na kmenu jsou nainstalovány DOÚ 664, 562, 448. Záložní napájení je možno realizovat pomocí DOÚ 668, 204, 134, 419, 614.



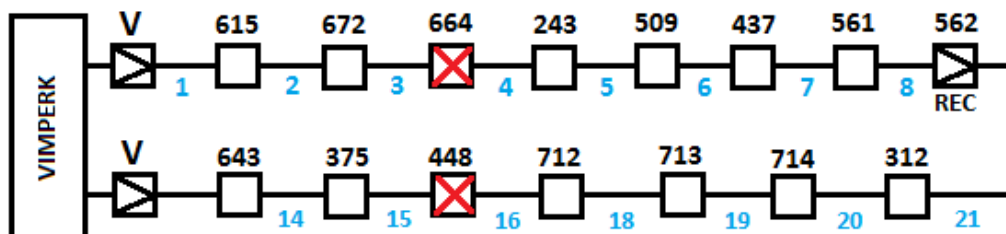
obr. 4.13 Orientační osazení vývodů pro původní stav (variantu I)

Tabulka 11 Vstupní parametry a vyhodnocení varianty I

vstupní parametry	
činnost	T [min]
eliminace postiženého úseku pomocí DOÚ	11
vymezení poruchy ve vyděleném úseku na kmenu pomocí úsečníků	25
vymezení úseku na kmenu s poruchou (35min dojezd + 25min dohledání)	60
vymezení úseku s poruchou na odbočce, náhradní napájení	20
oprava	210
vyhodnocení	
ENS [kVAh/rok]	61246,43
SAIDI [min/rok]	447,15
SAIFI [počet/rok]	8,78
CAIDI [min/přerušení]	50,91

4.3.9 Vacov a Zdíkov: Varianta II – nasazení recloseru a 2 DOÚ

Na rozdíl od předchozí varianty je zde DOÚ 562 je nahrazen recloserem. Recloser by zde měl přispět zejména ke zmenšení ukazatele SAIFI.



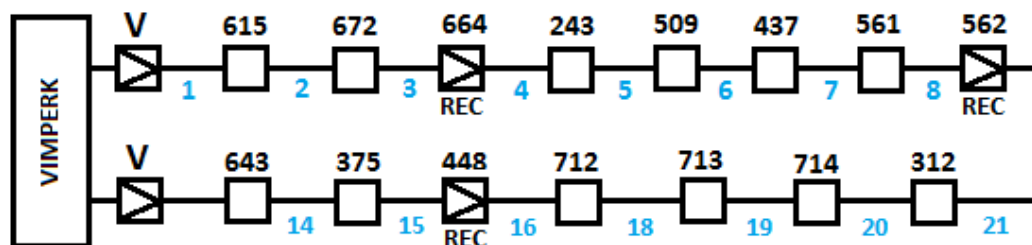
obr. 4.14 Orientační osazení vývodů pro variantu II

Tabulka 12 Vstupní parametry a vyhodnocení varianty II

vstupní parametry	
činnost	T [min]
eliminace postiženého úseku pomocí DOÚ	11
eliminace postiženého úseku pomocí recloseru	0
vymezení poruchy ve vyděleném úseku na kmenu pomocí úsečníků	25
vymezení úseku na kmenu s poruchou (35min dojezd + 25min dohledání)	60
vymezení úseku s poruchou na odbočce, náhradní napájení	20
oprava	210
vyhodnocení	
ENS [kVAh/rok]	49825,19
SAIDI [min/rok]	363,76
SAIFI [počet/rok]	4,47
CAIDI [min/přerušení]	81,45

4.3.10 Vacov a Zdíkov: Varianta III – nasazení 3 recloserů

Nahradíme-li všechny DOÚ na kmenu (664, 562, 448) reclosery, mělo by opět dojít ke zlepšení ukazatele SAIFI a také k určitému zlepšení ukazatele SAIDI. Při paralelním provozu obou úseků s největší koncentrací poruch kolem střední části, lze předpokládat, že i takto investičně náročná varianta přinese další zlepšení ukazatele SAIFI.



obr. 4.15 Orientační osazení vývodů pro variantu III

Tabulka 13 Vstupní parametry a vyhodnocení varianty III

vstupní parametry	
činnost	T [min]
eliminace postiženého úseku pomocí DOÚ	11
eliminace postiženého úseku pomocí recloseru	0
vymezení poruchy ve vyděleném úseku na kmenu pomocí úsečníků	25
vymezení úseku na kmenu s poruchou (35min dojezd + 25min dohledání)	60
vymezení úseku s poruchou na odbočce, náhradní napájení	20
oprava	210
vyhodnocení	
ENS [kVAh/rok]	48012,797
SAIDI [min/rok]	350,532
SAIFI [počet/rok]	3,263
CAIDI [min/přerušeni]	107,41317

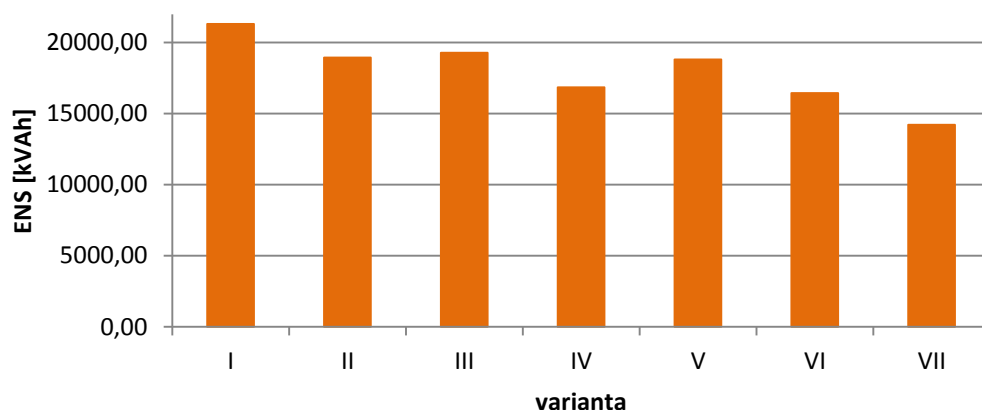
4.4 Porovnání variant

4.4.1 Zdíkov

Pro vzájemné porovnání variant jsem využil 4 základní ukazatele spolehlivosti dodávky. Při ekonomickém hodnocení viz. kapitola 4.5 je použita pouze nedodaná energie, která určuje ušlý zisk distribuční společnosti. Z grafu nedodané energie (obr. 4.16) vyplývá, že při použití 1 DOÚ je nejvýhodnější jej umístit na místo úsečníku 509 (varianta II). Použití 2 DOÚ pak dále snižuje hodnotu ENS. U variant s reclosery je patrný přínos nasazení recloseru na místo původního DOÚ, nicméně na místě úsečníku 509 je ENS nižší. Nejlepší variantou z technického hlediska je pak použití recloseru a 2 DOÚ, kde ENS poklesne nejvýrazněji.

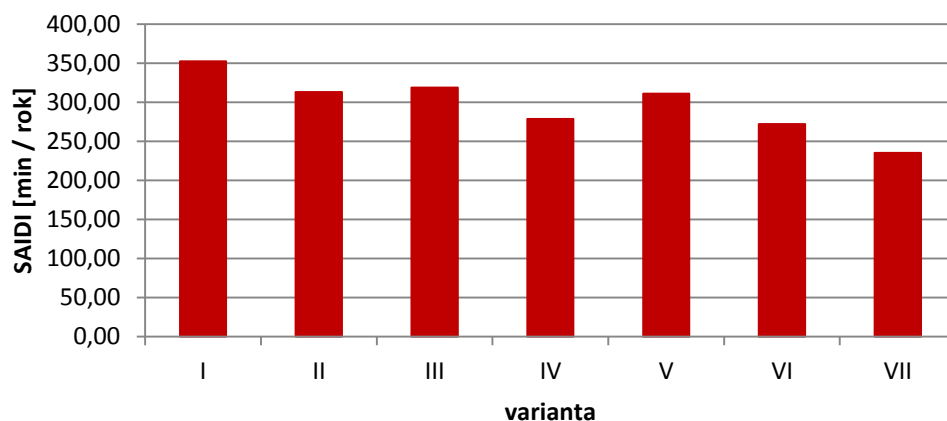
Tabulka 14 Přehled vybavení na kmeni pro jednotlivé varianty

varianta	I	II	III	IV	V	VI	VII
vybavení na kmeni	1 DOÚ	1 DOÚ	1 DOÚ	2 DOÚ	1 REC	1 REC	1 REC, 2 DOÚ



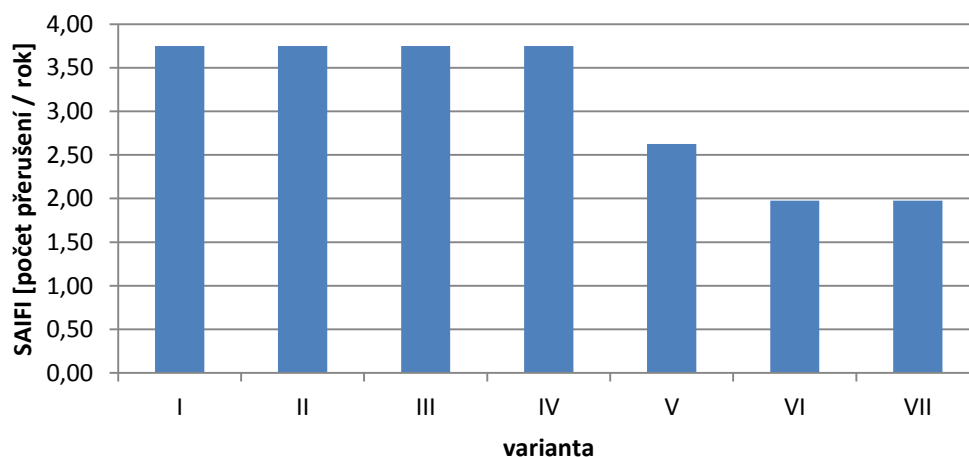
obr. 4.16 Nedodaná energie pro jednotlivé varianty

Průběh hodnot ukazatele SAIDI (obr. 4.17) je téměř shodný s ENS, proto pro něj platí závěry uvedené výše.



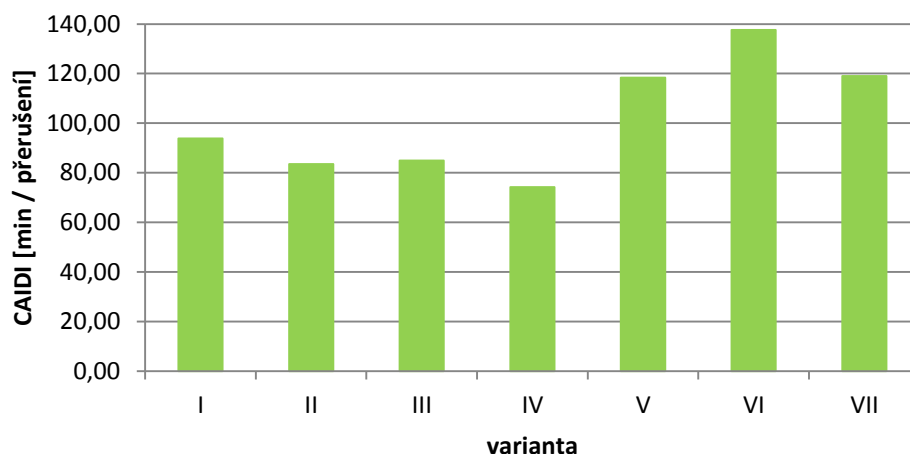
obr. 4.17 SAIDI pro jednotlivé varianty

Naproti tomu ukazatel SAIFI (obr. 4.18) nevykazuje žádnou změnu u variant pouze s nasazením DOÚ. Jediný z mnou uvažovaných prvků, který dokáže omezit hodnotu SAIFI je recloser. To je vidět na poklesu SAIFI pro variantu V a dále pro optimalizovanou polohu recloseru ve variantě VI a VII. Důvodem je, že recloser omezí počet výpadků dodávky trvajících déle než 3 minuty, které se do ukazatelů spolehlivosti dodávky započítávají.



obr. 4.18 SAIFI pro jednotlivé varianty

Na obr. 4.19 je vidět, že pro varianty s DOÚ (I-IV) jsou hodnoty ukazatele CAIDI poměrně vyrovnané. U variant s recloserem ale dochází ke zřetelnému zvýšení CAIDI. Prakticky to znamená, že se zvýšila průměrná doba na 1 přerušení. Faktem ale je, že zde nastalo zlepšení SAIDI i SAIFI. Pokles ukazatele SAIFI je však daleko výraznější a tudíž na základě vztahu 3.3 (str. 32) je hodnota CAIDI vyšší. Z tohoto důvodu může být ukazatel CAIDI poněkud zavádějící.



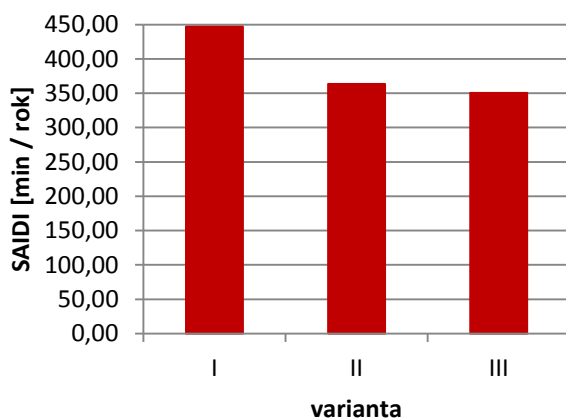
obr. 4.19 CAIDI pro jednotlivé varianty

4.4.2 Vacov a Zdíkov

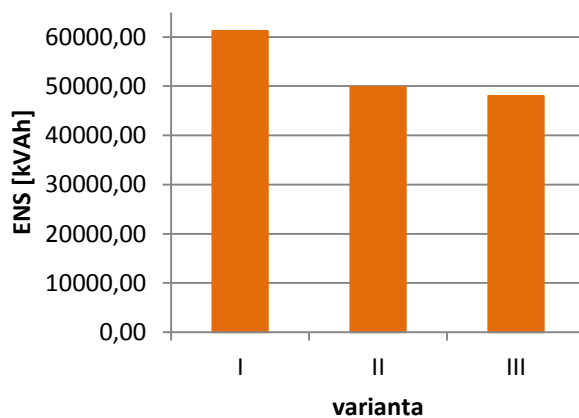
Podobně jako v předchozím případě se i zde objevuje shodná závislost ukazatelů SAIDI i ENS. U varianty s recloserem na místě DOÚ 562 (var. II) nastává výrazné zlepšení ENS. Nahrazením všech DOÚ na kmeni reclosery (var. III) pak přináší pouze minimální zlepšení ENS.

Tabulka 15 Přehled vybavení na kmeni pro jednotlivé varianty

varianta	I	II	III
vybavení na kmeni	3 DOÚ	1 REC, 2 DOÚ	3 REC

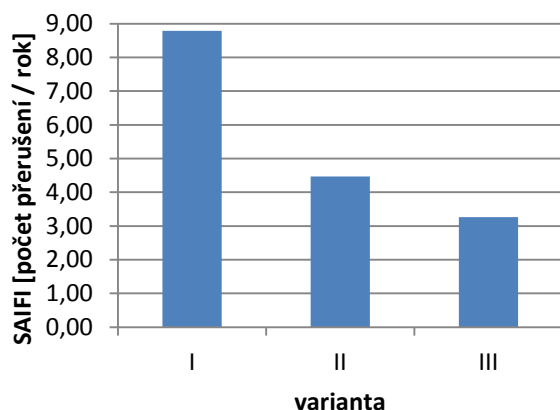


obr. 4.20 SAIDI pro jednotlivé varianty

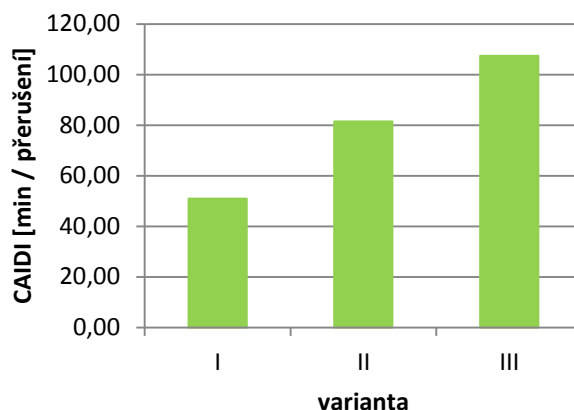


obr. 4.21 Nedodaná energie pro jednotlivé varianty

Výrazné zlepšení ukazatele SAIFI v obou navržených variantách (var. II a III) je patrné z obr. 4.22. Naopak u ukazatele CAIDI je trend opačný a u poslední varianty je hodnota CAIDI více než dvojnásobná. Stejně jako v předchozím případě (kapitola 4.4.1) je tento jev zapříčiněn tím, že hodnota SAIFI poklesla daleko výrazněji než hodnota SAIDI.



obr. 4.22 SAIFI pro jednotlivé varianty



obr. 4.23 CAIDI pro jednotlivé varianty

4.5 Ekonomické hodnocení

Pro jednotlivé varianty bylo vyčísleno množství nedodané energie ENS a následně náklady na nedodanou energii C_{ENS} , investiční náklady C_{inv} , náklady na provoz a údržbu C_{provoz} . Ceny a údaje použité pro ekonomické hodnocení byly poskytnuty pracovníky společnosti E.ON Česká republika.

Při vyčíslení **nákladů na nedodanou energii** C_{ENS} jsem vycházel z množství nedodané energie. Tyto náklady představují ušlý zisk distribuční společnosti plynoucí z nedodávky elektřiny. Pro stanovení ušlého zisku distribuční společnosti je třeba znát prodejní a nákupní cenu el. energie a jejich rozdíl vynásobit množstvím nedodané energie.

$$C_{ENS} = (c_p - c_n) \cdot ENS \quad (4.1)$$

ENS	nedodaná energie za rok [MWh]
c_p	prodejní cena elektřiny [Kč/MWh]
c_n	nákupní cena elektřiny [Kč/MWh]

Tabulka 16 Uvažované ceny el. energie

nákupní cena el. energie	1470 Kč/MWh
prodejní cena el. energie	3476 Kč/MWh
rozdíl prodejní a nákupní ceny	2006 Kč/MWh

Investiční náklady C_{inv} pro každou variantu byly vyčísleny na základě typu použitých zařízení a jejich množství. Uvažované **náklady na provoz a údržbu** C_{provoz} činí 1% z C_{inv} .

Tabulka 17 Uvažované ceny prvků

ručně ovládaný úsečník	75 000 Kč
dálkově ovládaný úsečník	221 296 Kč
recloser včetně RTU pro přenos dat	483 530 Kč

Pro porovnání nákladů na jednotlivé varianty je nutné určit **koeficient současné hodnoty nákladů CPV** [12], který respektuje hodnoty diskontní sazby, inflační míry a odhadovaný nárůst zatížení během vyhodnocovaného období.

$$CPV = \sum_{t=1}^D X^t = \frac{1-X^D}{1-X}, \text{ kde } X = \frac{(1+\frac{b}{100}) \cdot (1+\frac{c}{100})}{(1+\frac{a}{100})} \quad (4.2)$$

Tabulka 18 Uvažované ekonomické parametry

a	diskontní sazba	9,7 %
b	inflační míra	3,3 %
c	odhadovaný průměrný roční nárůst zatížení	0,5 %
D	vyhodnocované období	20 let

Současná hodnota nákladů dané varianty $C_{souč.}$ se určí:

$$C_{souč.} = (C_{ENS} + C_{provoz}) \cdot CPV \quad (4.3)$$

Ekonomický přínos B variant je posuzován rozdílem nákladů varianty s DA a původním stavem na vývodu (varianta I).

$$B = C_{původní} - C_{DA} \quad (4.4)$$

$C_{původní}$ současná hodnota nákladů na provoz a ENS při původním stavu (varianta I)

C_{DA} současná hodnota nákladů na provoz a ENS pro posuzovanou variantu

Investice se vyplatí za předpokladu, že rozdíl investičních nákladů pro danou variantu a původní variantu ($C_{rozdl} = C_{inv. s DA} - C_{inv. původní}$) bude menší než ekonomický přínos B posuzované varianty.

$$B \geq C_{rozdl} \quad (4.5)$$

Dále je provedeno srovnání variant na základě **poměru C_{rozdl}/B** (C/B ratio). Na základě vzorce 4.5 platí, že se posuzovaná varianta vyplatí, je-li $C_{rozdl}/B \leq 1$.

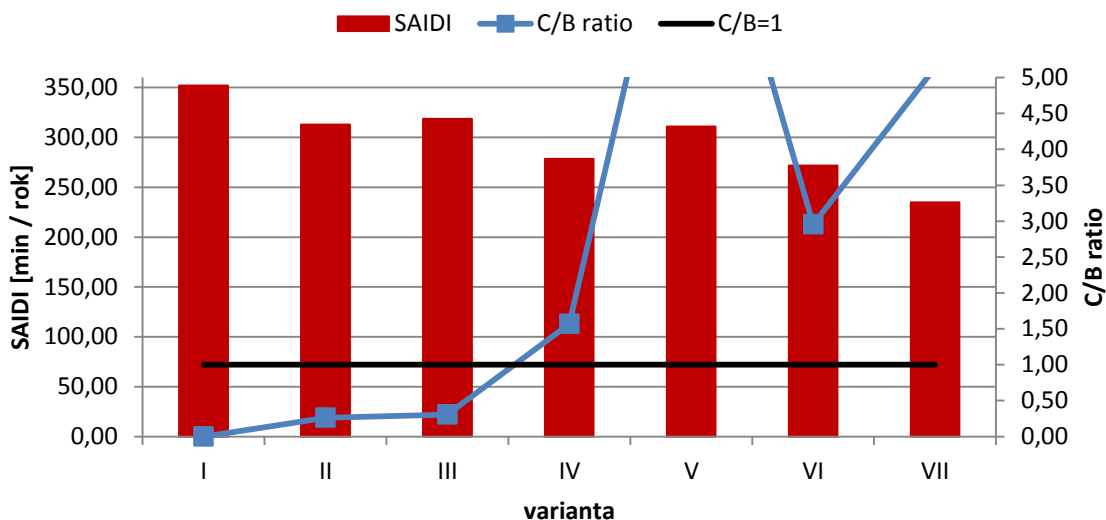
Tato kapitola byla vypracována na základě informací poskytnutých společností E.ON Česká republika a s použitím literatury [12]

4.5.1 Zdíkov

Aby se posuzovaná varianta vyplatila, musí být poměr $C/B \leq 1$ a čím je hodnota tohoto poměru menší, tím více se varianta vyplatí. Je-li hodnota C/B mimo rozsah grafu, varianta je příliš nákladná. Na obr. 4.24 můžeme pozorovat nízkou hodnotu C/B u prvních 3 variant. Důvodem je, že se jedná pouze o optimalizaci současného osazení. Mění se pouze umístění DOÚ a nejnižší hodnota ukazatele SAIDI (odpovídající ENS) napovídá, že nejvýhodnější z prvních 3 variant je varianta II. Varianta IV sice přináší další omezení nedodané energie, ale 2 DOÚ jsou pro tento vývod investičně příliš náročné. U varianty V s recloserem na místě původního DOÚ není omezení nedodané energie příliš výrazné a varianta se nevyplatí. S optimalizovanou polohou recloseru ve variantě VI ušetříme větší množství nedodané energie, ale v tomto případě se recloser opět nevyplatí. Poslední varianta kombinuje nasazení recloseru a 2 DOÚ, což opět vede ke snížení nedodané energie. Investice do varianty VII je však příliš vysoká a varianta se nevyplatí. Na základě těchto výsledků je největší prostor pro zlepšení v optimalizaci polohy současného DOÚ.

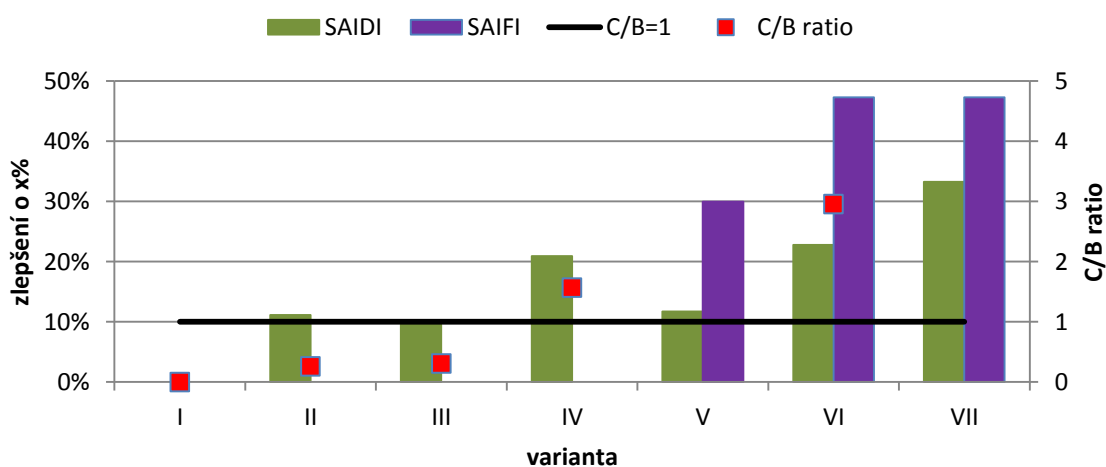
Tabulka 19 Přehled vybavení na kmeni pro jednotlivé varianty

varianta	I	II	III	IV	V	VI	VII
vybavení na kmeni	1 DOÚ	1 DOÚ	1 DOÚ	2 DOÚ	1 REC	1 REC	1 REC, 2 DOÚ



obr. 4.24 Porovnání ekonomické výhodnosti variant a ukazatele SAIDI

Na obr. 4.25 je znázorněno zlepšení ukazatelů spolehlivosti dodávky v porovnání s původním stavem na vývodu. Za daných okolností se z posuzovaných možností nejvíce vyplatí varianta II a III.



obr. 4.25 Zlepšení ukazatelů spolehlivosti dodávky a ekonomická výhodnost variant

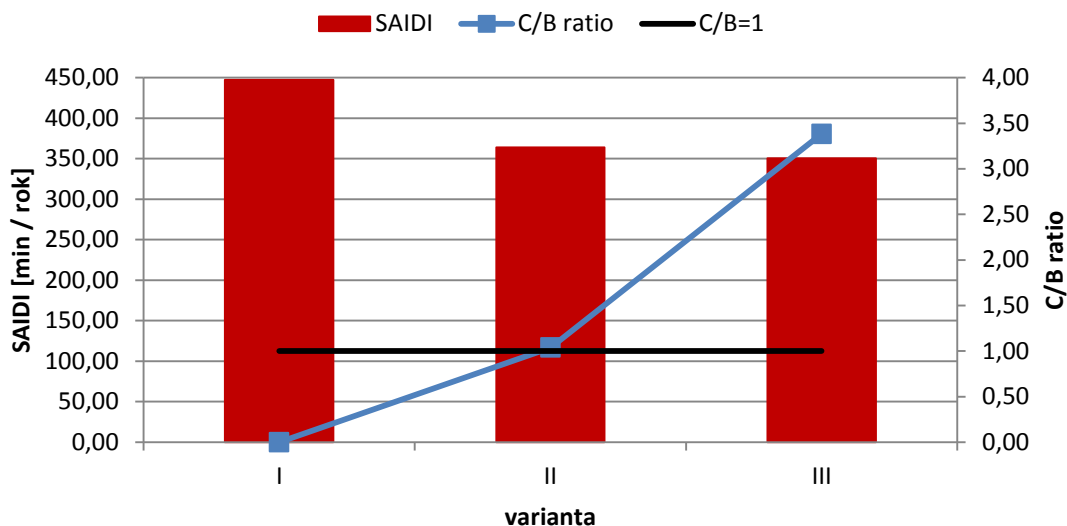
4.5.2 Vacov a Zdíkov

Paralelní provoz vývodů Vacov a Zdíkov poskytuje větší prostor pro zlepšení spolehlivosti dodávky. V první variantě je využita stávající konfigurace vývodu pro porovnání

výhodnosti ostatních variant. Na obr. 4.26 je patrné, že varianta č. II s použitím recloseru a 2 DOÚ na kmeni přináší značné omezení nedodané energie.

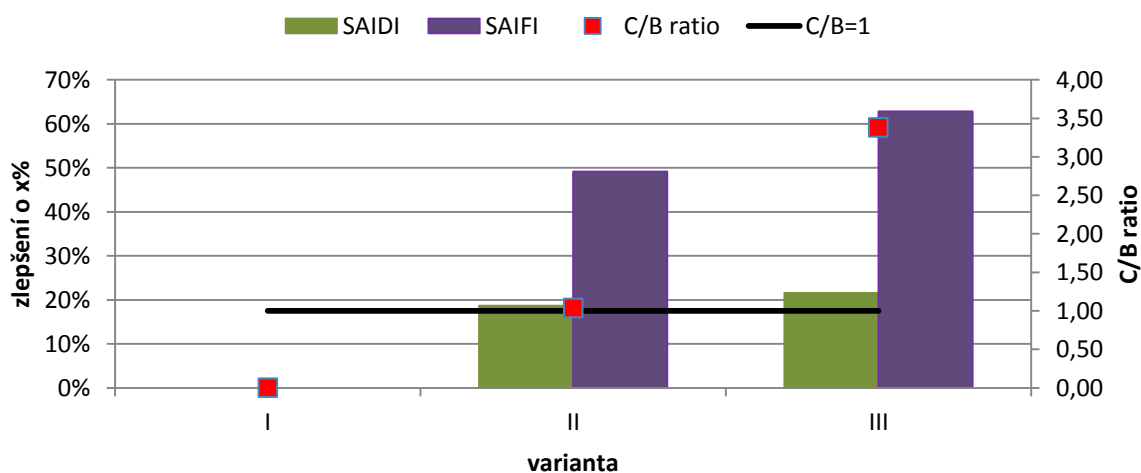
Tabulka 20 Přehled vybavení na kmeni pro jednotlivé varianty

varianta	I	II	III
vybavení na kmeni	3 DOÚ	1 REC, 2 DOÚ	3 REC



obr. 4.26 Porovnání ekonomické výhodnosti variant a ukazatele SAIDI

Výměna zbylých DOÚ za reclosery (varianta III) přinese hlavně další ovlivnění SAIFI (viz obr. 4. 27), ale na množství nedodané energie má pouze nepatrný vliv. Přesto se žádná z těchto variant nevyplatí, což potvrzuje ukazatel $C/B > 1$.

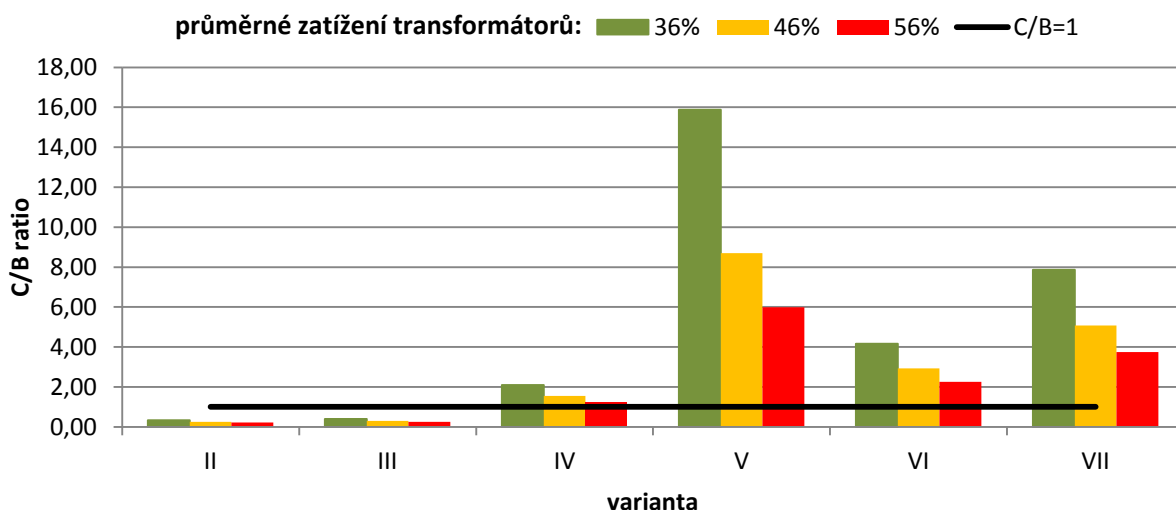


obr. 4.27 Zlepšení ukazatelů spolehlivosti dodávky a ekonomická výhodnost variant v porovnání s první variantou

Ekonomicky výhodnější je varianta II, která by z dlouhodobějšího hlediska mohla přinést určité zlepšení. Navíc lze původní stav vývodů i variantu II dále optimalizovat z hlediska rozmístění prvků.

4.6 Citlivostní analýza

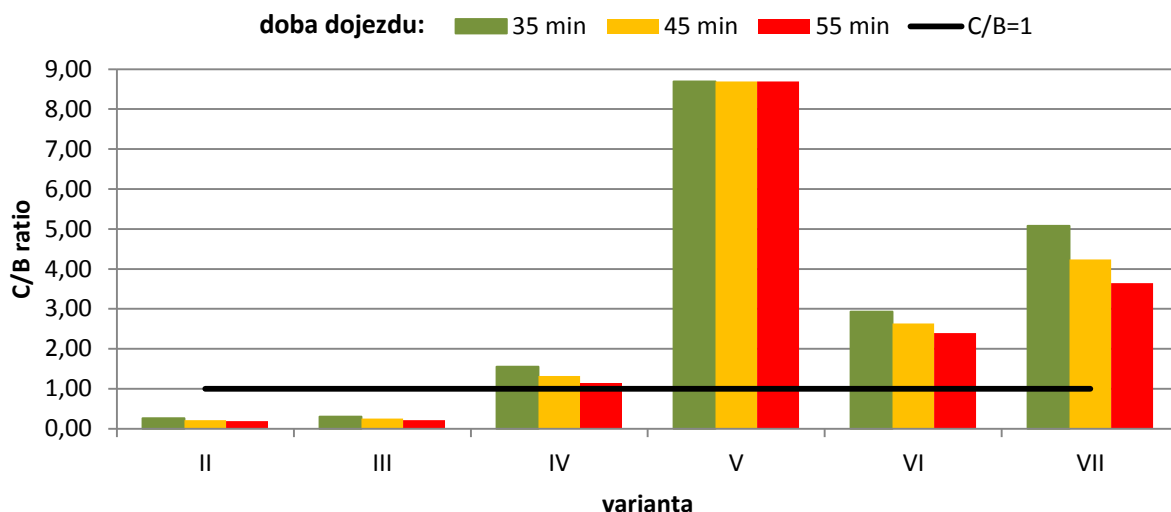
Před provedením výpočtů bylo zapotřebí přijmout určité zjednodušující předpoklady. Je třeba zjistit, jak velký vliv některá opatření mají na výsledky práce. Při výpočtech jsem uvažoval průměrné zatížení transformátorů zhruba 46 %. Na obr. 4.28 je provedeno porovnání ekonomické výhodnosti pro některé varianty týkající se vývodu Zdíkov pro různé hodnoty zatížení transformátorů.



obr. 4.28 Ekonomická výhodnost variant pro vývod Zdíkov v závislosti na průměrném zatížení transformátorů

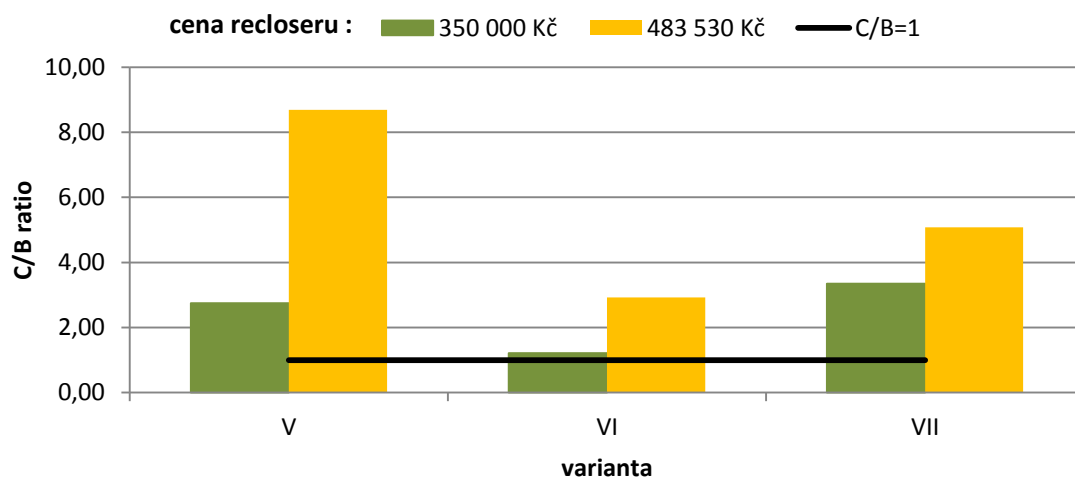
Nedá se předpokládat, že ekonomicky nevýhodné varianty budou vykazovat podstatně lepší výsledky při změně zatížení. Největší změny poměru C/B je možné pozorovat u variant V a VII. Varianty IV a VI se však díky vysokým investičním nákladům také nevyplátí.

Dalším významným parametrem výpočtu je doba dojezdu poruchové čety. Na obr. 4.29 je zobrazena závislost ekonomické výhodnosti na době dojezdu, kterou jsem ve výpočtech uvažoval 35 minut. Je zřejmé, že s rostoucí dobou dojezdu se návratnost zlepšuje. Nejvýraznější změna se projevuje u variant, které se nevyplátí ani při delší době dojezdu. Naopak ekonomicky výhodné varianty vykazují nízkou závislost na době dojezdu.



obr. 4.29 Ekonomická výhodnost variant pro vývod Zdikov v závislosti na době dojezdu poruchové čety

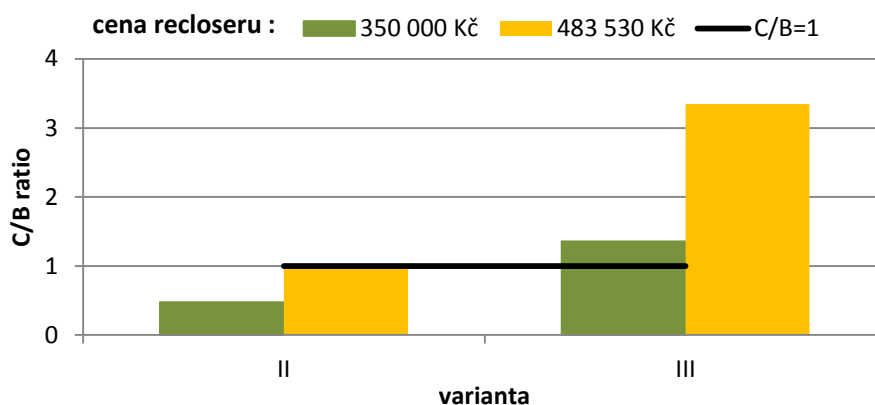
Z těchto závislostí lze soudit, že ekonomicky nejvýhodnější varianty se vyplatí i při určité změně klíčových parametrů. Tyto vstupní parametry se v praxi mohou v některých případech značně lišit. V rozsahu průměrných hodnot by ale nemělo docházet k výrazným výkyvům nejprínosnějších variant.



obr. 4.30 Ekonomická výhodnost variant pro vývod Zdikov v závislosti na ceně recloseru

Rozhodujícími parametry ekonomického hodnocení jsou také ceny prvků. Na obr. 4.30 je znázorněna citlivost ekonomické výhodnosti variant vývod Zdikov s cenami recloseru 350 000 Kč (cena z r. 2011) a 483 530 Kč (cena z r. 2013). Z grafu je patrný výrazný rozdíl

ekonomické návratnosti pro navržené varianty. Ani při nižší ceně recloseru nejsou varianty V-VII výhodné.



obr. 4.31 Ekonomická výhodnost variant pro paralelní chod vývodů Vacov a Zdíkov v závislosti na ceně recloseru

Na obr. 4.31 je znázorněna obdobná závislost pro paralelní chod úseků Vacov a Zdíkov. V tomto případě se již varianta II vyplatí s uvažováním ceny recloseru 350 000 Kč. Celkové hodnocení je však také závislé na ceně DOÚ.

Závěr

V posledních letech se stále zvyšuje důraz na kvalitu elektrické energie, kterou je možné posuzovat různými způsoby. Jednou z možností je zaměřit se na spolehlivost dodávky elektřiny, kterou je možné vyhodnotit na základě ukazatelů spolehlivosti dodávky a množství nedodané energie. Trend zlepšování kvality elektrické energie vede v mnoha zemích k legislativní úpravě týkající se regulace cen elektrické energie v závislosti na dodržení určitých standardů ukazatelů spolehlivosti dodávky.

Jedním z účinných způsobů omezení množství nedodané energie a také ukazatelů spolehlivosti je nasazení distribuční automatizace. Z hlediska výskytu poruch v síti je nejdůležitější zaměřit se na venkovní vedení VN. Základními prvky distribuční automatizace jsou dálkově ovládané úsečníky, inteligentní úsečníky, indikátory poruch a reclosery. Tyto prvky jsou často doplněny dalšími funkcemi, které například umožňují plně automatický provoz úseku sítě s možností vyhodnocení nejvhodnější konfigurace sítě.

V případové studii je navrženo několik variant rozmístění dálkově ovládaných úsečníků a recloserů pro zadané vývody. Na základě vyhodnocení se ukazuje, že při použití dálkově ovládaného úsečníku na kmeni je třeba nalézt jeho optimální polohu s ohledem na počet odběratelů, význam odběratelů, poruchovost a délku úseku. Použitím DOÚ se zkrátí celková doba vymezení poruchy a v nepostižené části vedení je dopad poruchy značně omezen. Podobné podmínky platí i při použití recloseru, který ale navíc realizuje funkci předsunuté ochrany a vypínače. To zajišťuje z pohledu spolehlivosti dodávky prakticky okamžitou reakci na poruchu a nepostižená část sítě není poruchou ovlivněna.

Ekonomické hodnocení variant naznačuje, že i v současné situaci se použití distribuční automatizace za určitých okolností vyplatí, je-li správně navrženo. Toto hodnocení bylo ale provedeno pouze na základě ušlého zisku distribuční společnosti způsobeného nedodávkou. Pro vývod Zdíkov nelze doporučit nasazení recloseru z důvodu vysokých investičních nákladů. Při paralelním chodu vývodů Vacov a Zdíkov je pak největší prostor pro zlepšení provedením optimalizace umístění DOÚ a to i v kombinaci s jedním recloserem.

Obecně se ukazuje, že použití DOÚ má vliv na ukazatel SAIDI a použití recloseru omezí mimo SAIDI zejména hodnotu ukazatele SAIFI.

Pro dosažení přesnějších výsledků by bylo zapotřebí eliminovat některá zjednodušení, jako například vycházet z údajů o počtu zákazníků, průměrném odběru v každém úseku, atd. V případě, že bychom do hodnocení zahrnuli možnost regulace cen elektřiny z hlediska nepřetržitosti dodávky, ekonomická výhodnost nasazení distribuční automatizace dále vzroste.

Použitá literatura

- [1] ČERNÝ, R., M. JELÍNEK a J. BOŘEK. Automatizace distribuční soustavy VN ČEZ Distribuce, a. s. pomocí d. o. prvků. *Konference ČK CIRED 2007*. Tábor, 6. - 7. 11. 2007, 16 stran.
- [2] MEJTA, F. Nové spínací prvky v distribučních sítích. *Konference ČK CIRED 2003*. Tábor, 4. - 5. 11. 2003, 16 stran.
- [3] LAYTON, L. *Electric System Reliability Indices* [online]. 2004 [cit. 2013-01-28]. Dostupné z: http://12eng.com/Reliability_Indices_for_Uutilities.pdf
- [4] ANDRLÍK, Z. a I. CHEMIŠINEC. Sledování spolehlivostních ukazatelů za účelem zlepšení spolehlivosti dodávky v distribučních systémech. *Electrical Power Engineering 2004*. Brno, 25. - 26. 5. 2004, 5 stran.
- [5] Česká republika. Vyhláška č. 540: O kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. In: Sběrka zákonů č.540/2005. 2005. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/vyhlasaky.html>
- [6] Česká republika. Vyhláška č. 41: O kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. In: Sběrka zákonů č. 41/2010. 2010. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/vyhlasaky.html>
- [7] Advanced feeder automation is here. *Power and energy magazine, IEEE*. 2005, Volume: 3, Issue: 5. ISSN 1540-7977.
- [8] *Journal of Reliable Power, Volume 2, Number 1: Distribution Automation, Schweitzer Engineering Laboratories, February 2011*
- [9] ROBERT, Huber. Advanced Distribution Automation: A Strategy for Improved Reliability. *THE LINE*. April 2005.
- [10] Pravidla provozování distribučních soustav: Metodika určování nepřetržitosti distribuce elektřiny a spolehlivosti prvků distribučních sítí. In: listopad 2011. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/>
- [11] Popov, V.A.: Algorithm of Reliability Optimization for Operational Planning of Distribution systems, *IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition, 2004*, pp. 524
- [12] Teng, Lu: Value-based distribution feeder automation planning, *Electrical Power and Energy Systems* 28 (2006), 9 stran.
- [13] INKA: KMB systems s.r.o. Indikátory INKA [online]. 2011 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.kmb.cz/index.php/cs/ostatni-pristroje-produkt/inka-251>
- [14] Product overview: Schneider Electric [online]. 2013 [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: <http://www.schneider-electric.com/products/>
- [15] Elektronický katalog DRIBO. DRIBO, spol. s.r.o. [online]. 2011 [cit. 2013-05-06]. Dostupné z: <http://www.dribo.cz/>

Přílohy

Seznam příloh:

A	Indikátory poruch	str. A-1 až A-10
B	Automatické úsečníky	str. B-11 až B-13
C	Reclosery	str. C-14 až C-16
D	Podklady pro výpočty.....	str. D-17 až D-23