

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektroenergetiky a ekologie**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Strategie zvyšování spolehlivosti distribuční soustavy**

*Originál (kopie) zadání BP/DP*

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku týkající se spolehlivosti sítí. Je zde teoreticky popsána spolehlivost sítí, distribuční soustava ČR a motivační regulace kvality. V další části jsou analyzovány poruchy, které se vyskytují v síti a opatření sloužící k jejich eliminaci. V závěru práce jsou vybraná opatření použita pro výpočet vedoucí ke zvýšení spolehlivosti, dále je pak zhodnocena náročnost dosažení úrovně Q – komponenty.

## **Klíčová slova**

Spolehlivost sítí, distribuční soustava, motivační regulace kvality, Q – komponenta, SAIDI, SAIFI, distribuční automatizace, recloser, dálkově ovládaný úsečník, kabelizace, izolátor VN

## **Abstract**

This thesis deals with the description of network reliability. The network reliability is theoretically described along distribution system of the Czech Republic and motivational quality control. Failures are analyzed in the next section with the precaution for elimination of failures. In the end of this thesis, there are chosen measures, which are used for increase of reliability. Next step in this thesis is evaluation how difficult is achieve specific level of Q – component.

## **Key words**

Network reliability, distribution system, motivational quality control, Q – component, SAIDI, SAIFI, distribution automatization, recloser, controlled section switch, cabling, insulator

## Prohlášení

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

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

.....  
podpis

V Plzni dne 16.5.2017

Antonín Radouch

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce paní Ing. Pavle Hejtmánkové za cenné rady, připomínky a metodické vedení. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Čeledovi za poskytnutí jeho profesních zkušeností a za čas, který mi ve své volné době věnoval.

# Obsah

<b>OBSAH.....</b>	<b>7</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>9</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>1 SPOLEHLIVOST ELEKTRICKÝCH SÍTÍ.....</b>	<b>11</b>
1.1 TEORIE SPOLEHLIVOSTI A ZÁKLADNÍ POJMY .....	11
1.2 KVALITA DODÁVKY ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	12
1.3 ENERGETICKÁ LEGISLATIVA ČR.....	13
1.3.1 Základní pojmy.....	14
1.3.2 Obecná ustanovení.....	14
1.3.3 Uplatnění náhrad.....	14
1.3.4 Standardy.....	15
1.3.5 Změny v novelizované vyhlášce 540/2005 Sb.....	17
<b>2 ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVA ČR.....</b>	<b>18</b>
2.1 DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA .....	18
2.1.1 Způsob řešení sítí VN z hlediska uspořádání .....	20
2.1.2 Způsob řešení sítí VN z hlediska spojení uzlu transformátoru .....	22
<b>3 MOTIVAČNÍ REGULACE KVALITY .....</b>	<b>26</b>
3.1 Q-KOMPONENTA.....	26
3.2 SPOLEHLIVOSTNÍ UKAZATELE NEPŘETRŽITOSTI DISTRIBUČNÍ SÍTĚ .....	29
3.2.1 SAIFI.....	30
3.2.2 SAIDI.....	30
3.2.3 CAIDI.....	30
3.3 VYKAZOVÁNÍ KVALITY DISTRIBUCE ELEKTRINY .....	32
3.4 HISTORICKÝ VÝVOJ UKAZATELŮ NA ÚZEMÍ ČR.....	32
3.5 PREDIKCE VÝVOJE UKAZATELŮ .....	33
<b>4 ANALÝZA PORUCH V DISTRIBUČNÍ SOUSTAVĚ.....</b>	<b>35</b>
4.1 NEPLÁNOVANÁ PŘERUŠENÍ .....	37
<b>5 VYBRANÁ OPATŘENÍ PRO ZVÝŠENÍ SPOLEHLIVOSTI SÍTÍ.....</b>	<b>39</b>
5.1 DISTRIBUČNÍ AUTOMATIZACE .....	39
5.1.1 Manuální úsečník.....	40
5.1.2 Dálkově ovládaný úsečník .....	40
5.1.3 Inteligentní pojistkový odpojovač.....	40
5.1.4 Recloser.....	41
5.1.5 Použití REC a DOÚ.....	44
5.2 KABELIZACE LESNÍCH PRŮSEKŮ .....	46
5.3 VÝMĚNA IZOLÁTORŮ VN.....	47
5.4 SMART VN ROZVADĚČ .....	48
<b>6 VÝPOČET VEDOUCÍ KE ZVÝŠENÍ SPOLEHLIVOSTI.....</b>	<b>49</b>
6.1 POUŽITÁ DATA PRO VÝPOČTY .....	49
6.2 VYTVOŘENÍ Q – SOUBORU.....	50
6.3 STRATEGIE NASAZOVÁNÍ VYBRANÝCH OPATŘENÍ.....	54
6.3.1 Etapa č. 1 - Recloser .....	54
6.3.2 Etapa č. 2 - 1,5 Recloser.....	57
6.3.3 Etapa č.3 - Kabelizace lesních průseků a výměna izolátorů VN .....	60

6.3.4	<i>Shrnutí</i> .....	64
<b>7</b>	<b>ZHODNOCENÍ NÁROČNOSTI Q-KOMPONENTY</b> .....	<b>66</b>
7.1.1	<i>Etapa č. 1</i> .....	66
7.1.2	<i>Etapa č. 2</i> .....	68
7.1.3	<i>Etapa č. 3</i> .....	69
7.1.4	<i>Shrnutí</i> .....	71
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>75</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>77</b>
	<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>1</b>



## Seznam symbolů a zkratek

<i>CAIDI</i>	.....	Customer Average Interruption Duration Index
<i>CDS</i>	.....	Centrální a dispečerské stanice
<i>CEER</i>	.....	Council of European Energy Regulators
<i>DOS</i>	.....	Index způsobilosti
<i>DOÚ</i>	.....	Dálkově ovládaný úsečník
<i>DS</i>	.....	Distribuční soustava
<i>DTS</i>	.....	Distribuční transformační stanice
<i>ERÚ</i>	.....	Energetický regulační úřad
<i>EU</i>	.....	Evropská unie
<i>E.ON</i>	.....	E.ON distribuce, a.s.
<i>IPO</i>	.....	Inteligentní odpínač
<i>MPO</i>	.....	Ministerstvo průmyslu a obchodu
<i>NN</i>	.....	Nízké napětí
<i>OZ</i>	.....	Opětovné zapnutí
<i>OM</i>	.....	Odběrné místo
<i>RDS</i>	.....	Regionální distribuční soustava
<i>REC</i>	.....	Recloser
<i>SAIDI</i>	.....	System Average Interruption Duration Index
<i>SAIFI</i>	.....	System Average Interruption Frequency Index
<i>SCADA</i>	.....	Supervisory Control And Data Acquisition
<i>VN</i>	.....	Vysoké napětí
<i>VVN</i>	.....	Velmi vysoké napětí
<i>ZS</i>	.....	Zemní spojení

## Úvod

V dnešní době se elektřina stala zbožím, které musí mít jasně definovanou kvalitu a spolehlivost její dodávky musí splňovat určitá kritéria. V České republice pro tyto účely slouží Energetický regulační úřad (ERÚ), který stanovuje požadovanou hodnotu kvality dodávek elektrické energie. Pro tyto účely slouží tzv. ukazatele SAIDI a SAIFI, které umožňují jednoduché porovnání jednotlivých distribučních sítí z pohledu spolehlivosti. Z tohoto důvodu je nutné, aby se energetické společnosti zabývaly spolehlivostí dodávky elektrické energie, protože při nedodržení jasně daných standardů dané vyhláškou č. 540/2005 Sb. hrozí společnostem určité penalizace. Od roku 2013 vešel v platnost faktor kvality Q – komponenta, podle které se distribučním společnostem uděluje penalizace či bonusy.

Tato diplomová práce se zabývá zvyšováním spolehlivosti distribuční soustavy E.ON Distribuce, a.s. Úvodní teoretická část je rozdělena do pěti kapitol, kde v první je popsána kvalita a spolehlivost dodávky elektrické energie v elektrických sítích. Největší pozornost je zde věnována energetické legislativě České republiky. Ve druhé části je popsána elektrizační soustava České republiky, detailněji pak soustava distribuční. Třetí část je věnována motivační regulaci kvality. Zde je popsán pojem Q – komponenta a spolehlivostní ukazatele SAIDI, SAIFI a CAIDI. Ve čtvrté části jsou teoreticky analyzovány nejčastější poruchy v distribuční soustavě neboli neplánovaná přerušení. Pátá kapitola je věnována vybraným opatřením, které slouží ke snižování hodnot spolehlivostních ukazatelů. Mezi vybraná opatření, která jsou popsána v této kapitole, patří distribuční automatizace, kabelizace lesních průseků, výměna izolátorů VN a Smart VN rozvaděč.

Výpočtová, hlavní část této diplomové práce je zaměřena na výpočet vedoucí k snižování hodnot spolehlivostních ukazatelů za použití vybraných opatření. Mezi vybraná opatření ve výpočtech patří nasazování recloserů a následné využití principu 1,5 recloseru na vývod VN. Dále pak kabelizace a výměna izolátorů VN. Výpočtová část je rozdělena do tří etap, kde v první etapě je využito nasazování recloserů na linky VN v oblasti Západ. Druhá etapa spočívá v nasazování recloseru jako hraničního prvku mezi linkami VN a ve třetí etapě je využito opatření kabelizace a výměna izolátorů VN za účelem odstranění zbytkových hodnot SAIDI a SAIFI. Na závěr je zhodnocena náročnost jednotlivých opatření a to z hlediska hrubých investičních nákladů.

# 1 Spolehlivost elektrických sítí

Spolehlivost elektroenergetického systému a jeho prvků je od začátku rozvoje elektrizační soustavy význačným parametrem pro hodnocení úrovně její práce. V dnešní době tomu není jinak, protože na spolehlivosti se podílejí nezávislí účastníci technologického procesu výroba, přenos, distribuce, odběratel a vzájemné vazby, které se projevují v požadavcích na poskytovanou elektrickou energii jak v oblasti kvality, tak i ve spolehlivosti její dodávky. Pro každou výkonnou ekonomiku je spolehlivá dodávka elektrické energie nezbytným předpokladem a zároveň vytváří podstatným způsobem určitou úroveň života jednotlivců a celé společnosti. Proto jsou požadavky na kvalitu a spolehlivost elektrické energii v dnešní době velmi vysoké a stále se tyto požadavky zvětšují.

## 1.1 Teorie spolehlivosti a základní pojmy

Spolehlivost je definována jako obecná vlastnost objektu spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot, které jsou stanoveny provozními ukazateli v daných mezích a v čase podle stanovených technických podmínek. Technickými podmínkami rozumíme souhrn technických specifikací a provozních vlastností výrobku, v tomto případě elektrické energie, spolu se způsoby jeho provozu, údržby a oprav. [1] definuje spolehlivost jako způsobilost výrobku uchovat svou kvalitu v daných podmínkách využívání. Spolehlivost je komplexní vlastnost, tudíž zahrnuje i dílčí vlastnosti, jako např. bezporuchovost, skladovatelnost, životnost atd.

Bezporuchovost je schopnost objektu plnit nepřetržitě své funkce za stanovených podmínek a za stanovenou dobu. Životnost je schopnost objektu plnit požadované funkce do mezního stavu stanoveného technickými podmínkami. Na konci období životnosti se u výrobku projeví takové rysy spojené s opotřebením a stárnutím, že jejich odstranění je neekonomické, tzv. „morální opotřebení“. Opotřebení znamená postupnou změnu znaků výrobku způsobené působením provozními podmínkami. Stárnutí znamená změny vzniklé zatížením mimo provoz. Opravitelnost je vlastnost objektu spočívající ve způsobilosti ke zjišťování příčin vzniku jeho poruch a odstraňování jejich následků opravou. Udržovatelnost je vlastnost objektu, která spočívá ve způsobilosti k předcházení poruch předepsanou údržbou. Skladovatelnost je schopnost objektu zachovávat nepřetržitě provozuschopný stav po dobu skladování a přepravy při dodržení předepsaných podmínek. Bezpečnost je vlastnost objektu

neohrožovat lidské zdraví nebo životní prostředí při plnění předepsané funkce po stanovenou dobu a za stanovených technických podmínek. Pohotovost objektu je velice důležitá, jelikož je definována schopností objektu v určitém okamžiku vyhovovat technickým podmínkám.

Velice důležitým pojmem v teorii spolehlivosti je pojem poruchy. Porucha je jev spočívající v ukončení provozuschopného stavu objektu. Je to částečná nebo úplná ztráta, případně změna těch vlastností objektu, která podstatným způsobem snižuje schopnost nebo nemožnost objektu plnit požadované funkce. Podle [1] je velice důležité v praxi tento pojem poruchy přesně vymezit. Závada je potom jev, kdy zhoršení schopností provozu ještě nezpůsobí poruchu. Údržba je činnost, která se provádí za účelem udržení objektu v provozuschopném stavu po dobu stanovenou technickými podmínkami. Spočívá v pravidelné kontrole stavu objektu a v provedení preventivních zásahů. Oprava je souhrn činností konaných po poruše za účelem navrácení objektu do provozuschopného stavu. [1], [2]

## 1.2 Kvalita dodávky elektrické energie

Jak uvádí [3], v dnešní době se stala elektrická energie zbožím, které musí mít jasně definovanou kvalitu, jako je tomu v jiných odvětvích lidské činnosti. V posledních letech se zvyšují nároky zákazníků na kvalitu dodávky elektrické energie na všech napěťových hladinách. Kvalitu dodávky elektrické energie určuje vyhláška č. 540/2005 Sb., která řeší jednak standardy obnovy distribuce elektrické energie a náhrady za jejich nedodržení. V roce 2010 vstoupila v platnost vyhláška 41/2010 Sb., která s sebou nese zpřísněné úpravy vyhlášky předešlé, jako jsou zvýšení náhrad za nedodržení standardů a zpřísnění těchto standardů. Od roku 2013 vešel v platnost nový účinný systémový standard hodnotící úroveň ukazatelů SAIFI a SAIDI pro plánovaná přerušení a neplánovaná poruchová přerušení způsobená poruchou, která mají původ v zařízení distribuční soustavy příslušného provozovatele nebo jejím provozu za obvyklých povětrnostních podmínek. S tímto standardem je nově používán člen regulačního vzorce, který nese označení „Q komponenta“. Tento nový člen zvyšuje nebo snižuje upravené povolené výnosy dle dosažené kvality distribuce, jak je uvedeno v [4]. Dle [5] můžeme očekávat zpřísnění parametrů Q komponenty (viz kapitola č. 5). Tak jako v ČR, i v ostatních evropských zemích jsou nároky na kvalitu dodávky elektrické energie vysoké, a proto lze očekávat zpřísnění předepsaných standardů a obecných ukazatelů SAIFI a SAIDI (viz kapitola č. 3).

Pro distribuční společnosti znamená zahrnutí ukazatelů SAIFI a SAIDI nasazování nových opatření do DS jak pro zkrácení dob dlouhodobých přerušení distribuce, tak pro snížení počtu dlouhodobých přerušení. Jako nasazování nových opatření uvádí [5] vyšší míru dálkově ovládaných spínacích prvků v síti, nasazování recloseru nebo např. kabelizaci vybraných částí vývodu, tato metoda je však investičně náročnější. Dále pak uvádí náhradu izolovanými vodiči, která je úspornější než kabelizace, avšak dle zkušeností nepřináší takový efekt, jaký by byl očekáván hlavně z důvodu pádů stromů, který zapříčiní přetržení izolovaných vodičů. Přínosy těchto opatření lze mezi sebou porovnat a kvantifikovat na základě simulací spolehlivosti. Modelování a simulace bude hlavním tématem praktické části této diplomové práce.

Základem pro hodnocení spolehlivosti distribučních sítí jsou záznamy o výpadcích v síti neboli hlášenky poruch. Rozsah položek v hlášenkách poruch se mezi distribučními společnostmi liší. Odlišnosti jsou dány historií společností, postupným vývojem jejich řídicích a informačních systémů a dalšími vnitřními faktory. Avšak určitý základ datových položek získaných z jednotlivých společností je v dané zemi stejný a je dán jako minimální požadavky např. pravidly provozování DS (např. [6]) nebo požadavky ERÚ.

### 1.3 Energetická legislativa ČR

V České republice se každý držitel licence na distribuci elektřiny řídí legislativou vycházející z energetického zákona č. 458/2000 Sb. a vybranými vyhláškami pro oblast energetiky, které jsou vydány Ministerstvem průmyslu a obchodu (MPO) a vyhláškami Energetického regulačního úřadu (ERÚ). Kvalita dodávek elektrické energie je v ČR stanovena vyhláškou č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, ve znění vyhlášky č 41/2010 Sb. Vyhláška je vydána Českým regulačním úřadem a stanovuje požadovanou kvalitu dodávek a služeb, které souvisí s regulovanými činnostmi v elektroenergetice, dále pak výši náhrad za nedodržení, lhůt pro uplatnění nároku na náhrady a postupy pro vykazování dodržování kvality dodávek a služeb. Povinností každého regionálního provozovatele distribuční soustavy (RDS) a dodavatele, který má více než 90 tisíc zákazníků, je předávat zprávy o dodržování standardů distribuce elektřiny a dodržování standardů dodávek definovaných vyhláškou ERÚ. Standardy lze podle [7] rozdělit do dvou základních skupin: standardy distribuce elektřiny a standardy dodávek

### 1.3.1 Základní pojmy

Pro lepší pochopení je nejprve nutné vysvětlit základní pojmy, které jsou definovány [8]:

- **Přerušeni přenosu nebo distribuce elektřiny** – stav v odběrném místě nebo předávacím místě účastníka trhu s elektřinou, při kterém není přenosová nebo distribuční soustava schopna dodávat do tohoto místa elektřinu.
- **Dlouhodobé přerušení** – přerušení přenosu nebo distribuce elektrické elektřiny, které trvá déle než 3 minuty.
- **Plánované přerušení** – přerušení přenosu nebo distribuce v důsledku provádění plánovaných prací na zařízení přenosové nebo distribuční soustavy.
- **Obnovení přenosu nebo distribuce** – obnovení schopnosti přenosové nebo distribuční soustavy dodávat elektřinu do odběrného nebo předávacího místa účastníka trhu v deklarované kvalitě dle technických norem.

### 1.3.2 Obecná ustanovení

Kvalita dodávek a služeb jsou vyjádřeny pomocí standardů přenosu nebo distribuce elektřiny, dále pak standardy dodávek a ukazateli nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny (viz Standardy). Za nedodržení se nepovažuje, jestliže příslušný držitel licence neprovede úkony a postupy z důvodu, že:

- účastník trhu s elektřinou ve lhůtě pro dodržení standardu učiní projev vůle, ze kterého jasně vyplývá, že je možné provést tyto úkony v delším časovém úseku,
- daný účastník trhu s elektřinou neposkytne součinnost nezbytnou pro dodržení standardu,
- při vzniku živelných událostí nebo havárií na zařízení přenosové nebo distribuční soustavy,
- nastal stav nouze.

### 1.3.3 Uplatnění náhrad

Náhradu podle [8] uplatňuje:

- zákazník za nedodržení standardů distribuce elektřiny u provozovatele DS, který je připojen k soustavě a má sjednanou smlouvu na distribuci elektřiny,
- zákazník za nedodržení standardu dodávek elektřiny u dodavatele, který na základě

příslušné smlouvy dodává elektřinu,

- žadatel za nedodržení standardu přenosu nebo distribuce elektřiny u provozovatele přenosové nebo distribuční soustavy, u které žádá připojení,
- dodavatel za nedodržení distribuce elektřiny u provozovatele soustavy, k jehož soustavě je připojené odběrné místo zákazníka a tento zákazník má podepsanou smlouvu.

Žádost o náhradu za nedodržení lze podat na tiskopisu, který je k dispozici na internetových stránkách ERÚ. Náhradu za nedodržení standardů lze uplatnit do 60 kalendářních dnů. U některých standardů se doba plnění liší, přesnější popis lze nalézt v [8].

### 1.3.4 Standardy

Standardy kvality dodávek dané vyhláškou č. 540/2005 Sb. se dělí na:

1. **Standardy přenosu nebo distribuce elektřiny** – stanovují kvalitu přenosu nebo distribuce elektřiny a dodávek, která musí být dosažena v každém individuálním případě. Za jejich nedodržení se poskytuje náhrada ve výši stanovené touto vyhláškou.

Mezi standardy přenosu nebo distribuce elektřiny patří:

- §5 standard ukončení přenosu nebo distribuce elektřiny po poruše,
- §6 standard dodržení plánovaného omezení nebo přerušení distribuce elektřiny,
- §7 standard výměny poškozené pojistky,
- §8 standard kvality elektřiny,
- §9 standard lhůty pro vyřízení reklamace kvality elektřiny
- §10 standard lhůty pro odstranění příčin snížené kvality elektřiny,
- §11 standard zaslání stanoviska k žádosti o připojení zařízení žadatele k přenosové nebo distribuční soustavě,
- §12 standard umožnění přenosu nebo distribuce elektřiny,
- §13 standard obnovy distribuce elektřiny po přerušení distribuce elektřiny z důvodu prodloužení konečného zákazníka nebo dodavatele sdružené služby s úhradou plateb za poskytnutou distribuci elektřiny,
- §14 standard obnovy distribuce elektřiny po přerušení distribuce elektřiny na žádost dodavatele nebo dodavatele sdružené služby,
- §15 standard lhůty pro vyřízení reklamace měření dodávky elektřiny,
- §16 standard předávání údajů o měření,

- §17 standard lhůty pro vyřízení reklamace vyúčtování distribuce elektřiny,
- §18 standard dodržení termínů schůzky s konečným zákazníkem.

Důležité standardy pro tuto diplomovou práci jsou §5, §6 a §7, protože se zabývají nepřetržitostí distribuce elektřiny, a proto budou dále popsány, aby byly snáze pochopeny. Při nutnosti znát podrobné znění je nutné navštívit internetové stránky ERÚ.

#### ○ **Standard ukončení přerušení distribuce elektřiny**

Tímto standardem je ukončení přerušení distribuce elektřiny, mimo přerušení plánovaná, v odběrném nebo předávacím místě provozovatele lokální DS nebo zákazníka ve lhůtě:

- a) 18 hodin v síti DS s napětovou úrovní do 1 kV
- b) 12 hodin v sítích DS s napětovou úrovní nad 1kV

Na území města Prahy jsou tyto lhůty kratší a to v prvním případě o 6 hodin a v druhém případě o 4 hodiny. Lhůta počíná okamžikem, kdy se provozovatel DS dozvěděl o vzniku přerušení distribuce elektřiny nebo kdy vznik přerušení mohl a měl zjistit. Za nedodržení standardu poskytuje provozovatel DS zákazníkovi náhradu ve výši 10% z jeho roční platby za distribuci, maximálně však 6 000 Kč v sítích do 1kV, 12 000 Kč v sítích nad 1 kV do 52 kV a 120 000 Kč v sítích nad 52 kV. Standardem ukončení přerušení přenosu nebo distribuce z výroby elektřiny připojené do přenosové nebo distribuční soustavy je obnova schopnosti přenášet nebo distribuovat elektřinu z předávacího místa výroby ve lhůtě 48 hodin od okamžiku, kdy se provozovatel DS dozvěděl o vzniku přerušení nebo ho mohl a měl zjistit.

#### ○ **Standard dodržení plánovaného omezení nebo přerušení distribuce elektřiny**

Standardem dodržení plánovaného omezení nebo přerušení je doba, od kdy bylo omezení nebo přerušení oznámeno zákazníkům. Tento standard není dodržen, pokud provozovatel DS omezí nebo přeruší distribuci elektřiny dříve, než oznámil nebo ukončí později, než ohlásil. Za nedodržení standardu poskytuje provozovatel DS zákazníkovi náhradu 10% z jeho roční platby za distribuci, maximálně však 6 000 Kč v sítích do 1 kV, 12 000 Kč v sítích nad 1 kV do 52 kV a 120 000 Kč v sítích nad 52 kV.

#### ○ **Standard výměny poškozené pojistky**

U tohoto jde o provedení výměny poškozené pojistky v hlavní domovní pojistkové nebo kabelové skříni zákazníka a umožnění obnovení distribuce elektřiny nejdéle do 6 hodin, na území Prahy do 4 hodin od okamžiku, kdy je provozovatel DS informován o přerušení distribuce do odběrného místa. Za nedodržení standardu poskytuje provozovatel DS



zákazníkovy náhradu ve výši 1 200 Kč, náhrada se však nevztahuje na vztah provozovatele DS a provozovatele lokální DS.[8]

## 2. *Standardy dodávek*

Mezi standardy dodávek patří:

- §19 standard zajištění ukončení přerušení dodávky elektřiny z důvodu prodlení konečného zákazníka s úhradou plateb za odebranou elektřinu,
- §20 standard lhůty pro vyřízení reklamace vyúčtování dodávky elektřiny.

Dále jsou pak vyhláškou 540/2005 Sb. dány standardy postupů pro vykazování dodržování kvality:

- §21 ukazatele nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny
- §22 vykazování dosahované úrovně kvality přenosu nebo distribuce elektřiny a dodávek elektřiny a souvisejících služeb.[8]

3. *Obecný standard přenosu nebo distribuce elektřiny* – od roku 2010 novelizovanou vyhláškou zrušen.

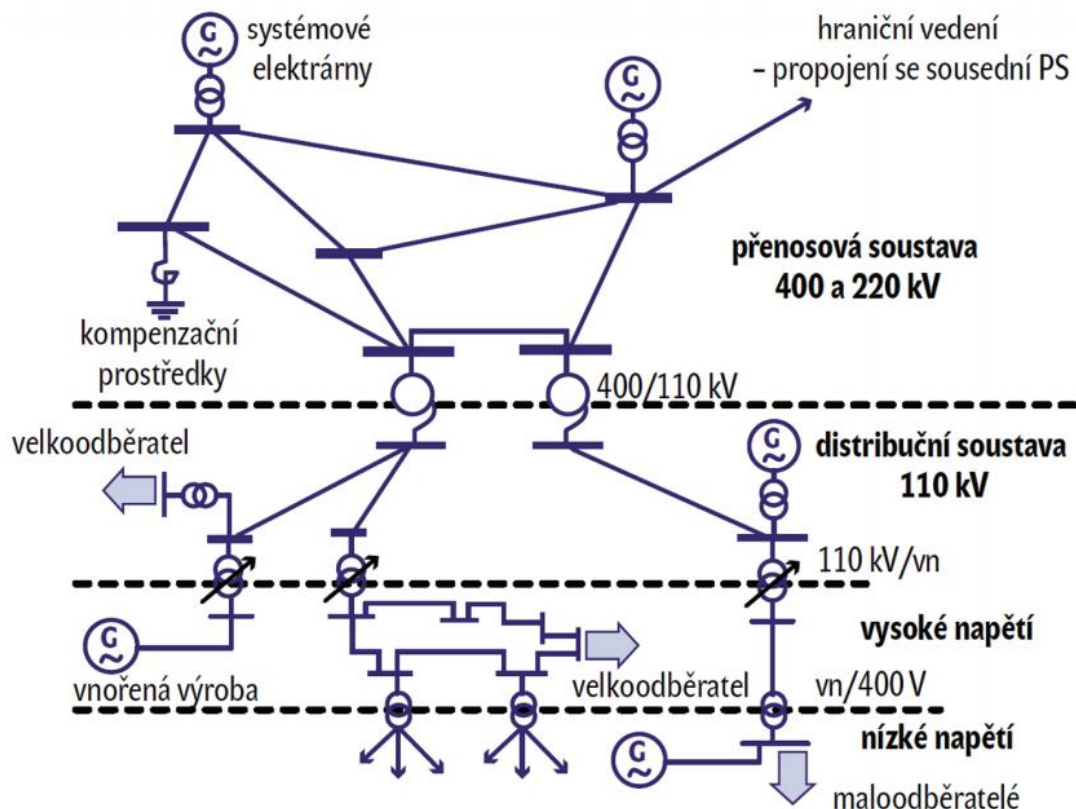
### 1.3.5 Změny v novelizované vyhlášce 540/2005 Sb.

Verze vyhlášky [8] z roku 2005 prošla v roce 2010 určitými změnami. Ty nejzásadnější jsou získány z [9], [10] a vyjmenovány zde:

- zvýšení náhrad za nedodržení standardů, které jsou vyjádřené v Kč
- zpřísnění limitů u standardu §5 a §7 pro území hlavního města Prahy,
- zrušení obecných standardů,
- úprava a doplnění příloh se vzory výkazů.

## 2 Elektrizáční soustava ČR

Tato soustava se skládá ze zdrojů, sítě a spotřebičů. Páteří elektrizáční soustavy je přenosová soustava, která je charakteristická napětím 400 a 220 kV (v určitých oblastech i 110 kV). Slouží k vyvedení výkonu z velkých elektráren a přenosu na velké vzdálenosti. Na přenosovou soustavu navazuje soustava distribuční, která je charakterizována napětím od 110 kV až po sítě nízkého napětí (nn). Přenosová soustava není však primární úlohou této diplomové práce, proto nebude dále definována. Důležitá pro tuto práci je soustava distribuční.



Obr. 2.1 Rozložení elektrizáční soustavy (převzato z:[11]).

### 2.1 Distribuční soustava

Hlavním úkolem DS je rozvod elektrické energie z uzlových elektrických stanic přenosové soustavy ke spotřebitelům. Protože elektrickou energii není možné skladovat, jsou kladen na řízení DS značné nároky. Řízení se provádí pomocí dispečinků, které musí operativně zajišťovat rovnováhu mezi výrobou a spotřebou elektrické energie, dále pak odstraňování poruchových stavů a co nejrychlejší obnovení dodávky elektrické energie. Pro městské a průmyslové sítě platí stejné požadavky jako na sítě distribuční. Požadavky na DS

vyplývají z požadavků na elektrizační soustavu a spočívají v zajištění zásobování spotřebitelů elektrické energie v požadovaném čase, v potřebném množství, v požadovaném místě a při požadované kvalitě a spolehlivosti dodávky. Při daných požadavcích je také nutné respektovat hospodárnost. DS musí podle [12] tedy zajistit následující:

### **Kvalita elektrické energie**

Zde se jedná převážně o stálou frekvenci 50 Hz a napětí v povolených mezích a pokud možno stálé. V celé síti by měly být spotřebiče připojené na jmenovité napětí, jinak může docházet k nesprávnému fungování nebo také k ovlivnění životnosti. Frekvence se nedá nikterak ovlivnit, je dána zdroji, které pracují do přenosové soustavy. Na frekvenci je závislý činný a jalový výkon, se změnou frekvence se mění i tyto výkony. DS má přímý vliv na odchylku napětí od jmenovitého napětí z hlediska stálosti napětí. Odchyly vznikají úbytkem napětí na transformátorech, na vedení, reaktorech atd. Zajištění kvality napětí má v DS zásadní význam. Dalším kritériem pro posuzování kvality je kolísání napětí, které vzniká především v průmyslových závodech připojením velkých soustředěných odběrů. Dalším sledovaným parametrem je nesymetrie napětí ve třech fázích, která je např. vyvolána nesouměrně rozloženým jednofázovým odběrem. Dále mohou vznikat vyšší harmonické, které způsobují oteplování některých spotřebičů a snižování tak jejich životnosti. Zdrojem vyšších harmonických mohou být průmyslové závody.

### **Spolehlivost dodávky elektrické energie**

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, úkolem distribuční soustavy je omezit výpadky elektrické energie odběratelům na minimum, v případě spotřebičů zařazených do I. stupně zabezpečení nesmí dojít k výpadku vůbec. Spolehlivost dodávky elektrické energie lze ovlivnit například volbou zařízení s minimální pravděpodobností výskytu poruchy, volbou rozvodu s více systémy přípojníc, volbou typu sítě vn a nn s vyšší spolehlivostí zásobování, napájením z více uzlů přenosové soustavy vvn, zařazováním automatik pro mžikového obnovení napětí atd. V současné době se pro síť vn používají automatiky opětovného zapínání (OZ), které umožňují v případě poruchy přechodného charakteru okamžité obnovení provozu.

### **Jednoduchost a přehlednost sítě**

Požadavek jednoduchosti a přehlednosti sítě je kladen hlavně z důvodu jednoduché obsluhy a údržby zařízení. Zmenšuje počet chyb, které vznikají při obsluze zařízení. Dále pak zmenšuje riziko zranění pracovníků obsluhy a údržby a v neposlední řadě snižuje počet

pracovníků potřebných právě pro obsluhu a údržbu zařízení. Jednoduchost a přehlednost sítě je však ve většině případů protikladem požadavku na vyšší spolehlivost sítí.

### **Ekonomický provoz sítě**

DS by měla umožnit hospodárny provoz při různých provozních stavech, jako je např. malé nebo velké zatížení, proměnný účinník odběru atd.

### **Ekonomický návrh DS**

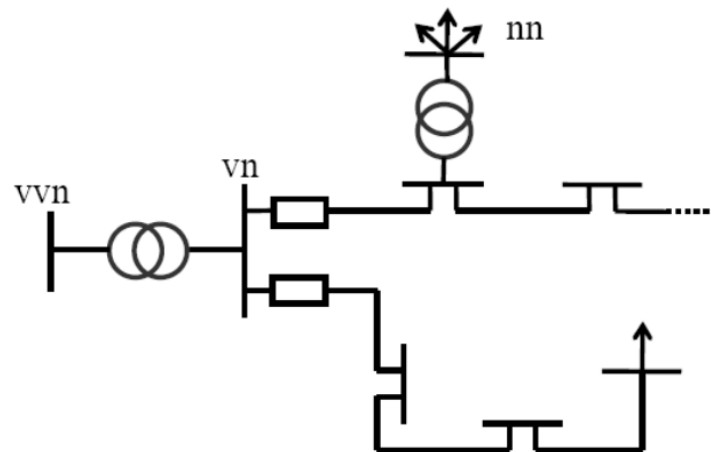
Je nutné, aby na zmíněné požadavky byly vynaložené minimální investice. Je tedy žádoucí nalezení vhodného kompromisu mezi investičními náklady, provozními náklady, zajištěním spolehlivé dodávky a bezpečností osob. [12], [13]

#### **2.1.1 Způsob řešení sítí VN z hlediska uspořádání**

Topologie sítě je jedním z charakteristických rysů distribuční soustavy, jenž definuje vlastnosti a možnosti provozu. Sítě VN mohou být řešeny buď s otevřeným rozvodem, nebo s rozvodem uzavřeným. U otevřeného rozvodu je elektřina přiváděna ke spotřebiči jen jednou cestou, u uzavřeného je napájení zajištěno z více stran. Podle počtu napájecích míst a podle způsobu napájení jednotlivých míst spotřeby můžeme rozlišovat následující druhy:

#### **Paprsková síť**

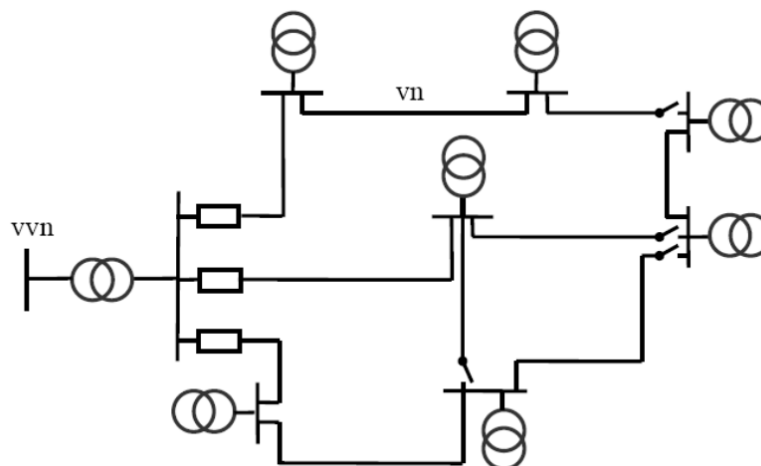
Jedná se o nejjednodušší a nejlevnější druh sítě, která se používá v DS. Elektrické vedení vychází z napájecího místa a zásobuje jednotlivé odběry. Každý vývod (paprsek) je samostatný a vývody nelze mezi sebou spojovat. Tento způsob je většinou nejvýhodnější z hlediska investičních a provozních nákladů. Jeho nevýhodou je však malá jistota zásobování, protože při poruše dochází k přerušení dodávky elektřiny konečnému zákazníkovi. Tento způsob se používá na vesnicích, malých městech a průmyslu. [13], [14]



Obr. 2.2 Paprsková síť (převzato z: [14])

### Okružní síť

Tato síť může být provozována jak rozepnutá, tak sepnutá. Jednotlivé paprsky jsou vedeny způsobem, který umožňuje jejich sepnutí. Tato síť je většinou provozována jako rozepnutá. Při poruše vedení lze postižený obvod přepnout na sousední vývod ručně nebo automaticky. Nevýhodou sítě jsou však větší pořizovací náklady než u sítě paprskové z důvodu potřeby větších délek elektrických vedení pro vzájemné spojení.[13], [14]



Obr. 2.3 Okružní síť (převzato z: [14])

### Zauzlená síť

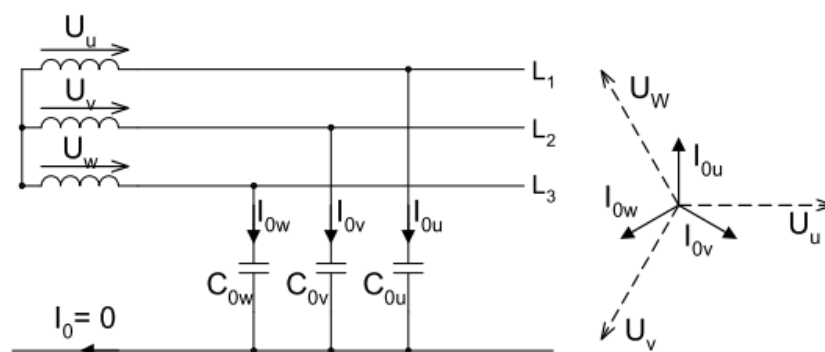
Je velmi podobná sepnuté okružní síti, liší se však větším počtem smyček, tedy složitější konfigurací.[14]

## 2.1.2 Způsob řešení sítí VN z hlediska spojení uzlu transformátoru

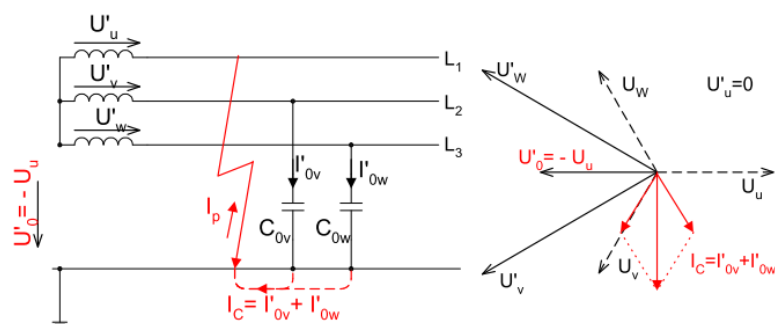
U zdravých symetrických sítí se způsob spojení uzlu transformátoru se zemí neprojeví. Napěťové a proudové poměry jsou pro všechny typy sítí stejné. Rozdíly se projeví zejména při nesymetrických stavech, jako je např. zemní porucha. Zemní poruchou se rozumí spojení jedné nebo více fází se zemí. Zemní porucha může být způsobena průrazem izolace, pádem přetrženého vodiče na zem, přeskokem na izolátoru atd. Charakter zemní poruchy závisí hlavně na způsobu spojení uzlu transformátoru se zemí. V případě izolovaného uzlu nebo uzlu transformátoru propojeného se zemí přes zhášecí tlumivku a došlo-li ke spojení se zemí pouze v jedné fázi, nazývá se porucha zemní spojení (ZS). V případě účinně uzemněného uzlu, uzlu spojeného přes odpor nebo při spojení více fází se zemí se jedná o zemní zkrat. V elektrizační soustavě ČR se provozuje soustava VVN a NN s účinně uzemněným uzlem. V distribučních sítích VN je převážně používáno zemnění uzlu přes zhášecí tlumivku neboli sítě kompenzované. Výjimku tvoří malé sítě některých průmyslových závodů, které jsou provozovány s izolovaným uzlem. Kabelové vedení VN, např. ve městech jsou většinou provozovány s uzlem uzemněným přes činný odpor. Přehledná rozdělení je zobrazeno v tabulce 2.1. Při vzniku zemního spojení je možné síť provozovat určitou dobu bez přerušení dodávky elektrické energie, aniž by byly postiženy nedodávkou elektřiny zákazníci v síti nn. Tento stav je možné provozovat na dobu nezbytnou k vyhledání zemního spojení. Pro venkovní vedení je výhodné provozovat sítě se zhášecí tlumivkou, protože zhášecí tlumivka snižuje proud v místě poruchy. To zajišťuje příznivější podmínky pro provozovaná zařízení a snadnější zhasínání oblouku při ZS. [12], [13]

### Izolovaná síť

Uzel vinutí není spojen se zemí. Pokud dojde ke spojení jedné fáze se zemí, vzroste napětí uzlu vinutí transformátoru vůči zemi na hodnotu fázového napětí, zdravé fáze vzrostou na napětí sdruženého napětí. To, že lze tuto síť po poruše dále provozovat, je její velkou výhodou, ale z důvodu sdruženého napětí na zdravých fázích musí být izolace této sítě dimenzována právě na toto napětí. Další nevýhodou je, že místem spojení teče kapacitní proud, který je dán velikostmi kapacit zdravých fází celé sítě vůči zemi a činnému odporu obvodu. Pokud tento proud nepřesahuje 10 A a spojení se zemí není přerušované, nevznikají většinou velké problémy. Při vzniku přerušovaného zemního vznikají však na zdravých fázích přepětí, které mohou způsobit dvojité zemní spojení a vedení musí být odpojeno. Používají se tedy jen u sítí vn malého rozsahu, kde kapacitní proud sítě nepřesahuje 20 A. [12], [15]



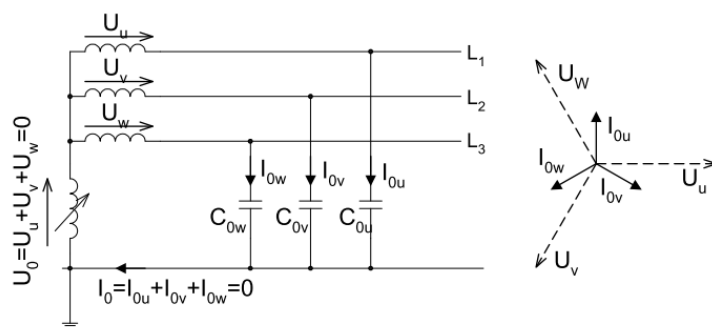
Obr. 2.4 Izolovaná síť (převzato z: [15])



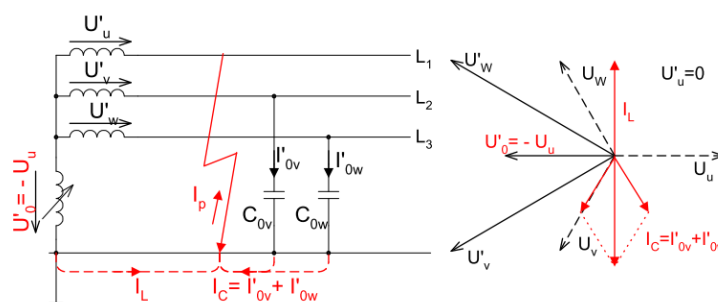
Obr. 2.5 Izolovaná síť při zemním spojení (převzato z: [15])

### Síť neúčinně uzemněná

V této síti jsou nulové body transformátoru spojeny se zemí přes velkou impedanci. Pro snížení zemního proudu se používá zhašecí tlumivka, která je vlivem fázového napětí mezi nulovým bodem transformátoru a zemí zdrojem proudu inductivního charakteru (pro zjednodušení se uvažuje proud čistě inductivní). Pokud je tento proud stejně velký jako proud kapacitní tekoucí místem zemního spojení, dojde k vykompenzování zemního proudu a místem poruchy neteče žádný proud. Zhašecí tlumivka musí být regulovatelná, aby se inductivní proud mohl měnit podle velikosti zemního proudu, ke kterému může docházet např. při odepínání nebo připínání některých vedení. V ČR se provádí kompenzování i kabelových vedení menšího rozsahu. Horní mezí pro kapacitního proudu je 100 A u venkovních vedení, u kabelových 450 A a u smíšených 300 A. Problémem může být malý kapacitní proud, který je při zemním spojení špatně dohledatelný. V těchto sítích může být uzel transformátoru spojen také přes rezistor, který má jako tlumivka kompenzovat poruchový kapacitní proud. Výhodou tohoto zapojení je omezení přepětí, je však nutné vypnutí vedení postiženého zemním spojením. [12], [15]



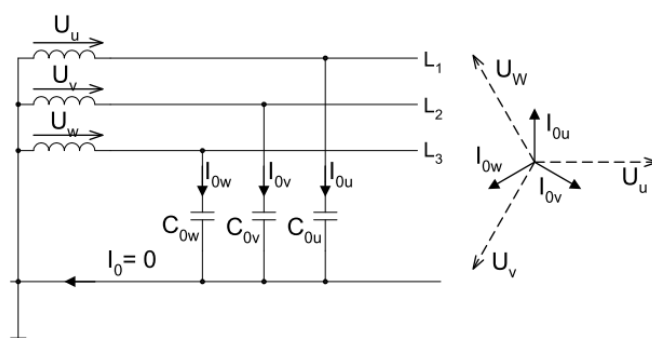
Obr. 2.6 Kompenzovaná síť (převzato z: [15])



Obr. 2.7 Kompenzovaná síť při zemním spojení (převzato z: [15])

### Síť účinně uzemněná

Tato síť má nulové body spojeny přímo se zemí nebo přes malou impedanci. V ČR jsou uzly transformátorů uzemněny přímo, u některých sítí 110 kV jsou výjimečně možná odpojení uzlů transformátorů pro snížení velikosti jednofázových zkratových proudů. Napětí uzlu transformátoru zůstává nulové, napětí zdravých fází zůstávají vůči zemi na fázové hodnotě. Proto se izolace těchto vedení dimenzují na jmenovitá fázová napětí, což je ekonomicky výhodné. Toto vedení musí být však v krátkém čase odpojeno, protože jednofázový zkratový proud dosahuje většinou velkých hodnot. V ČR se provozují účinně uzemněné sítě vvn a nn.[12], [15]



Obr. 2.8 Účinně uzemněná síť (převzato z: [15])



**Tabulka 2.1** Řešení sítí jednotlivých napěťových úrovní (převzato: [15])

	Napěťová úroveň	Jmenovité napětí	Uspořádání rozvodu	Spojení uzlu transformátoru
Nadřazená soustava	vvn	400 kV	Okružní	Účinně uzemněný
		220 kV		
Distribuční soustava	vn	110 kV	Průběžný, paprskový, dvojpaprskový (obvykle s možností spojení do okružního)	Neúčinně uzemněný - většinou kompenzovaný
		22 kV, 35 kV		Neúčinně uzemněný, nebo izolovaný
		10 kV		
	nn	6 kV		
		500 V	Průběžný, paprskový, mřížová síť	Izolovaný
		400/230 V		Účinně uzemněný s vyvedeným středním vodičem

### 3 MOTIVAČNÍ REGULACE KVALITY

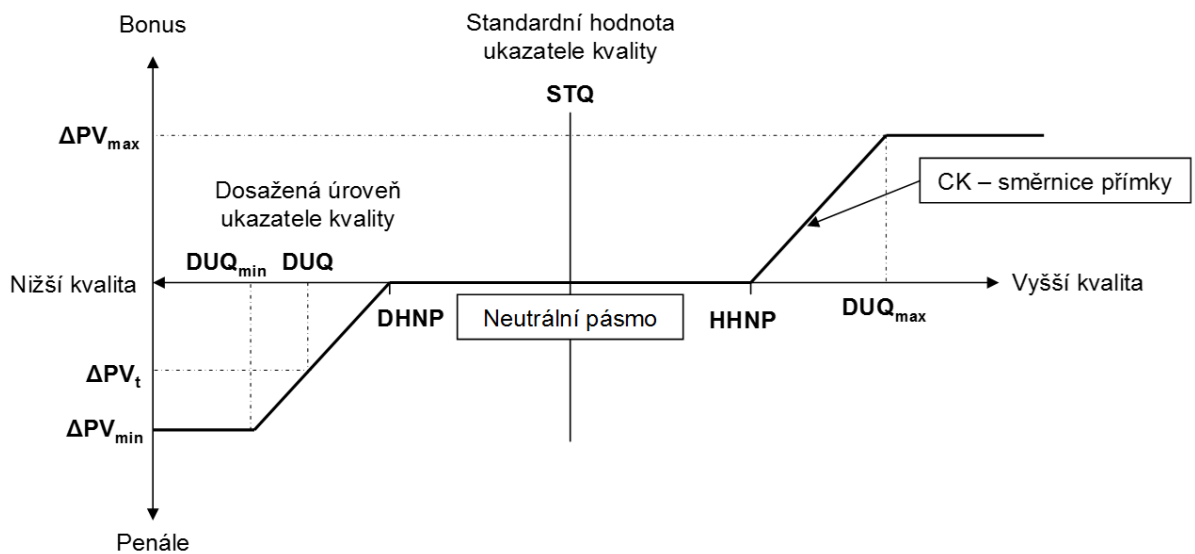
Vyhláška o kvalitě 540/2005 Sb. a její standardy jsou zaměřeny na ochranu nejvíce postižených zákazníků a to prostřednictvím limitů, které definují úroveň kvality, jenž musí být dosažena v každém individuálním případě. Cílem motivační regulace kvality je naopak ovlivnění kvality v celém systému, v tomto případě v konkrétní distribuční soustavě. Záměrem je snižovat počty a doby trvání přerušování distribuce elektřiny. Jedná se především o kategorii plánovaných přerušování, které nejsou nikterak legislativně omezeny a jsou nejčastějším tématem stížností zákazníků. Dalším cílem je postupné sjednocení úrovně kvality dodávek elektřiny na jednotlivých místech ČR, jelikož zákazníci platí srovnatelné distribuční platby za rozdílnou kvalitu. V neposlední řadě je cílem regulace i dosažení lepších výsledků při srovnávání úrovně kvality s ostatními státy EU. Kombinace těchto dvou mechanismů by měla zaručovat postupné zlepšování kvality dodávek elektřiny pro všechny zákazníky v ČR. [16]

#### 3.1 Q-komponenta

ERÚ v průběhu roku 2012 stanovil ukazatele kvality a jejich parametry na regulační rok 2013 pro oblast distribuce elektřiny. Uvedené vychází ze zprávy ERÚ o metodice regulace III. regulačního období, která zavádí tzv. motivační regulaci kvality neboli Q-komponentu, jejímž cílem je nastavení požadované úrovně kvality poskytovaných služeb ve vztahu k jejich ceně. Q-komponenta je ve vyhlášce popsána schématem s nulovým (mrtvým) pásmem a pásmem bonusů a penalizací, jak je znázorněno na *Obr. 3.1*. Bonus či penalizace je vztažena k výši zisku stanoveného úřadem pro daný regulovaný rok. Požadované hodnoty ukazatelů SAIFI a SAIDI (viz kapitola 3.2) pro rok 2013 byly stanoveny na základě dostupných dat úřadu za předcházející období, které byly dále sníženy zhruba o 5 % (podle společnosti a ukazatele). V případě ukazatelů se konkrétně jedná o celo-systémové ukazatele nepřetržitosti, které jsou definovány vyhláškou č. 540/2005 Sb., bez zahrnutí událostí, na které nemá provozovatel soustavy vliv.[16], [17]

Pro IV. regulační období ERÚ nadále ponechává kombinace výše uvedených regulačních mechanismů. Pro jednotlivé držitele licence jsou stanoveny individuální parametry ukazatelů kvality. V případě ukazatelů SAIFI<sub>Q</sub>, SAIDI<sub>Q</sub> se bude jednat o celo-systémové ukazatele, tj. pro celou distribuční soustavu příslušného provozovatele bez rozlišení napěťových úrovní. Bonusy či penále za dosaženou kvalitu distribuce elektřiny jsou stanoveny v závislosti na dosažených

hodnotách ukazatelů nepřetržitosti vzhledem k požadovaným hodnotám ERÚ. Z důvodu uvědomění, že rozvoj a rozsáhlé rekonstrukce distribučních soustav jsou časově a finančně velmi náročné, je pro fungování motivační regulace kvality nezbytné stanovení požadovaných cílů na delší časové období. Z tohoto důvodu jsou nastaveny požadované hodnoty ukazatelů SAIFI<sub>Q</sub>, SAIDI<sub>Q</sub> na celé následující regulační období. Novinkou v tomto regulačním období je tzv. *klouzavý průměr*, který je zaveden za účelem eliminace meziročního kolísání ukazatelů nepřetržitosti. Do výpočtu faktoru kvality Q již nebudou vstupovat hodnoty ukazatelů SAIFI<sub>Q</sub>, SAIDI<sub>Q</sub> za jednotlivé roky, ale průměry z posledních dvou nebo tří let. [18]



Obr. 3.1 Schéma motivační regulace kvality (převzato z: [16])

Kde	$\Delta PV_t$	je finanční vyjádření bonusu nebo penále za dosaženou kvalitu služeb,
	T	je pořadové číslo regulovaného roku,
	$\Delta PV_{\max}$	je maximální hodnota bonusu za dosaženou kvalitu služeb,
	$\Delta PV_{\min}$	je minimální hodnota penále za dosaženou kvalitu služeb,
	DUQ	je hodnota dosažené úrovně ukazatele kvality v roce rozhodném pro hodnocení kvality služeb pro příslušný rok regulačního období,
	CK	je jednotková cena kvality,
	MAX	je procentuální vyjádření bonusu ve vztahu k regulovanému zisku,
	MIN	je procentuální vyjádření penále ve vztahu k rolovanému zisku,
	STQ	je hodnota požadované úrovně ukazatele kvality SAIDI, SAIFI,
	$DUQ_{\max}$	je limitní hodnota ukazatele kvality, od níž je uplatňována maximální hodnota bonusu za dosaženou kvalitu služeb,
	$DUQ_{\min}$	je limitní hodnota ukazatele kvality, od níž je uplatňována maximální

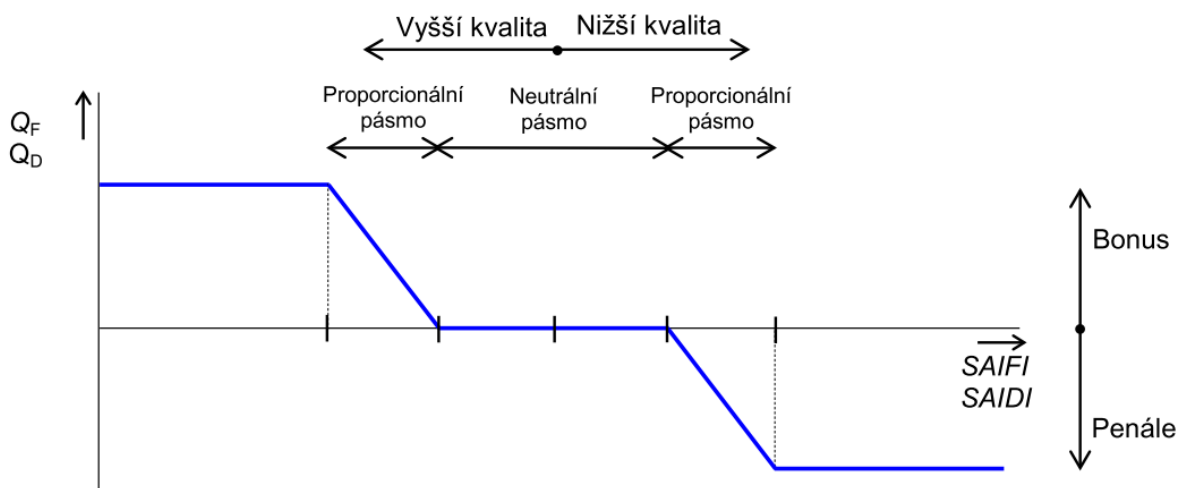
hodnota penále za dosaženou kvalitu služeb,  
 DHNP je dolní hranice neutrálního pásma,  
 HHNP je horní hranice neutrálního pásma.

Jak již bylo řečeno, Q-komponenta neboli faktor kvality se skládá ze dvou složek. Z faktoru kvality zohledňující počet přerušení distribuce elektřiny (SAIFI) a z faktoru kvality zohledňující doby trvání přerušení (SAIDI). Oba ukazatele jsou vypočteny:

- z přerušení neplánovaných poruchových způsobených poruchou mající původ v zařízení DS provozovatele soustavy nebo jejím provozu za obvyklých povětrnostních podmínek,
- z přerušení plánovaných.

Do výpočtu se nezahrnují:

- přerušení neplánovaná za nepříznivých povětrnostních podmínek,
- přerušení způsobená v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby,
- přerušení některých dalších kategorií.[19]



Obr. 3.2 Funkce pro výpočet (převzato z: [20])

Výpočet probíhá pomocí lineární funkce, která je zobrazena na Obr. 3.2. Tato funkce je složena z pásma maximálního bonusu nebo penále, kdy složka faktoru kvality dosahuje mezních hodnot a není již závislá na hodnotě ukazatele nepřetržitosti distribuce. Dále funkce obsahuje pásma proporcionality, ve kterých se hodnota složky faktoru kvality mění v závislosti na hodnotě ukazatele nepřetržitosti distribuce a dále pak z neutrálního pásma, ve kterém je hodnota ukazatele nulová. Funkce pro výpočet SAIDI je stejná jako pro výpočet SAIFI avšak

hodnoty obou ukazatelů se liší. Z toho plyne, že pro každého provozovatele distribuční soustavy existují dvě funkce, jejichž výsledné hodnoty se sčítají a obě funkce tak mohou nabývat různých hodnot. V případě, že nabyde jedna funkce maximálního bonusu a druhá maximálního penále, tak výsledná hodnota faktoru kvality bude nulová, protože ve vyhlášce o regulaci cen [21] je stanoveno, že maxima obou složek jsou si rovna.[20]

### 3.2 Spolehlivostní ukazatelé nepřetržitosti distribuční sítě

Jedním z nejdůležitějších ukazatelů pro zákazníka je nepřetržitost dodávky elektrické energie. Pro provozovatele je však tento fakt značně obtížně splnitelný, jednak z pohledu technického a také z pohledu ekonomického. Nepřetržitost dodávky elektrické energie patří do oblasti kvality elektřiny a zaměřuje se na události, které vedou k úplnému nebo částečnému přerušení dodávky elektřiny, ať už se jedná o plánované nebo neplánované přerušení.

Kvalita dodávky elektrické energie v distribuční síti je určena ukazateli nepřetržitosti distribuce elektřiny podle § 21 vyhlášky 540/2005 Sb. Jedná se o agregované ukazatele spolehlivosti, které vyjadřují spolehlivost dodávky jako celku a často se vyjadřují v průměrných hodnotách. Pomocí nich je v určité soustavě, úseku či na napěťové úrovni charakterizována kvalita dodávky elektřiny. Tyto ukazatele jsou důležité z pohledu zákazníka, který je informován o kvalitě elektřiny v dané oblasti. Jak uvádí [3], hodnoty ukazatelů mohou být důležité např. pro investory při rozhodování umístění nového závodu. Dále jsou ukazatelé důležité pro provozovatele soustav, kteří se mohou porovnávat mezi ostatními společnostmi a také z pohledu rozvoje či modernizace určitého úseku soustavy. V neposlední řadě jsou ukazatelé důležité pro regulační orgány, kteří díky nim hodnotí jednotlivé společnosti a mohou pro ně nastavovat určité cíle a zákaznické standardy. Mezi události, které nebudou zahrnuty do požadovaných hodnot ukazatelů, patří podle [16] následující:

- poruchové způsobené poruchou mající původ v zařízení přenosové nebo distribuční soustavy provozovatele soustavy za nepříznivých povětrnostních podmínek,
- poruchové způsobené v důsledku zásahu jednání třetí osoby,
- vynucené,
- mimořádné,
- vzniklé mimo soustavu a u výrobce.

Podle vyhlášky [8] jsou definovány tři základní ukazatele nepřetržitosti dodávky:

### 3.2.1 SAIFI

Ukazatel průměrné systémové četnosti přerušeni dodávky (System Average Interruption Frequency Index). Tento ukazatel udává průměrný počet přerušeni dodávky, ke kterým došlo v průběhu roku. Hodnoty ukazatele SAIFI lze zlepšit pouze zmenšením počtu přerušeni dodávky, např. za pomoci pravidelné údržby vedení, nasazováním spolehlivých prvků do sítě, atd.

$$SAIFI = \frac{\sum N_i}{N_T} \left[ \frac{\text{min}}{\text{počet přerušeni}} \right] \quad (3.1)$$

kde:  $N_i$ ...celkový počet odběratelů postižených i-tým přerušeni dodávky  
 $N_T$ ...celkový počet odběratelů

### 3.2.2 SAIDI

Ukazatel průměrné doby trvání přerušeni u odběratele (System Average Interruption Duration Index). Ukazatel SAIDI udává průměrnou dobu za celý rok, po kterou byl odběratel v síti bez elektrické energie. Hodnoty tohoto ukazatele je možné zlepšit jako v předchozím případě snížením počtu výpadků dodávky elektrické energie nebo také snížením doby, po kterou byl odběratel bez elektrické energie. Toho lze dosáhnout např. nasazováním recloserů, DOÚ, použitím OZ, kabelizací, atd.

$$SAIDI = \frac{\sum N_i * T_i}{N_T} \left[ \frac{\text{min}}{\text{počet přerušeni}} \right] \quad (3.2)$$

kde:  $N_i$ ...celkový počet odběratelů postižených i-tým přerušeni dodávky  
 $T_i$ ...doba nedodávky pro i-té přerušeni dodávky [min]  
 $N_T$ ...celkový počet odběratelů

### 3.2.3 CAIDI

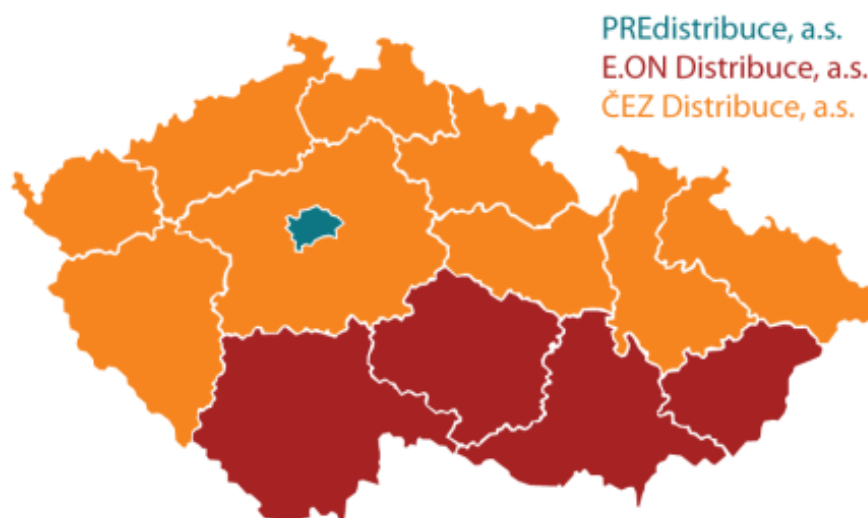
Ukazatel průměrné doby trvání přerušeni u odběratele (Customer Average Interruption Duration Index). CAIDI představuje průměrnou dobu trvání jednoho přerušeni dodávky elektrické energie u odběratele. Tento ukazatel vychází z ukazatelů SAIFI a SAIDI. Jeho hodnoty je možné vylepšit snížením celkové doby trvání výpadků nebo zvýšením počtu kratších výpadků.

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \left[ \frac{\text{min}}{\text{počet přerušení}} \right] \quad (3.3)$$

Díky těmto ukazatelům je možné jednoduše porovnávat spolehlivost v různých distribučních sítích. Podle [17] není však toto porovnání efektivní z důvodu odlišností v jednotlivých distribučních soustavách. Proto je důležitý profil společností, který popisuje charakter jednotlivých sítí. Hlavní vliv na ukazatele mají geografické podmínky, procentuální podíl kabelového vedení, způsob zapojení sítí, počet zákazníků, hustota odběru atd. Tyto vlivy na různé distribuční soustavy jsou detailněji popsány v kapitole 3.

**Tabulka 3.1** Profil distribučních společností na území ČR k roku 2015 (převzato z: [7])

Profil společností	Napětová hladina	Počet zákazníků [-]	Délka kabelových vedení [km]	Délka venkovních vedení [km]
<b>ČEZ Distribuce</b>	nn	3 547 373	52 551	48 099
	vn	14 741	10 233	40 249
	vvn	262	23	9 759
<b>E.ON Distribuce</b>	nn	1 490 250	23 075	16 526
	vn	8 158	3 522	18 609
	vvn	41	11	3 907
<b>PREdistribuce</b>	nn	757 778	7 750	84
	vn	1 986	3 758	113
	vvn	4	62	144
<b>Česká republika</b>	nn	5 795 401	83 376	64 709
	vn	24 885	17 513	58 971
	vvn	307	96	13 810



*Obr. 3.3* Mapa regionálních distribučních společností ČR (převzato z: [22]).

Jak uvádí [14] ve své práci, existují i další agregované ukazatele spolehlivosti jako je např. rostoucí citlivost odběrů na krátkodobá přerušení nebo z ekonomického hlediska ukazatel spolehlivosti pravděpodobně nedodané elektrické energie. Jednotlivé ukazatele se však mohou v různých zemích lišit a současně době existuje značná nejednotnost terminologie a způsobu výpočtu těchto jednotlivých ukazatelů. Tento fakt stěžuje objektivní srovnávání spolehlivostí sítí. Z tohoto důvodu existuje Rada evropských energetických regulátorů CEER (Council of European Energy Regulators), což je neziskové sdružení, ve kterém dobrovolně spolupracují jednotlivé evropské regulátory s elektrickou energií a plynem. V jejich zájmu je vytvořit jednotný, konkurenční, efektivní a trvale udržitelný vnitřní trh s elektřinou a plynem v Evropě. Sdružuje 27 regulátorů působících na území Evropy. Členem rady je také český ERÚ.

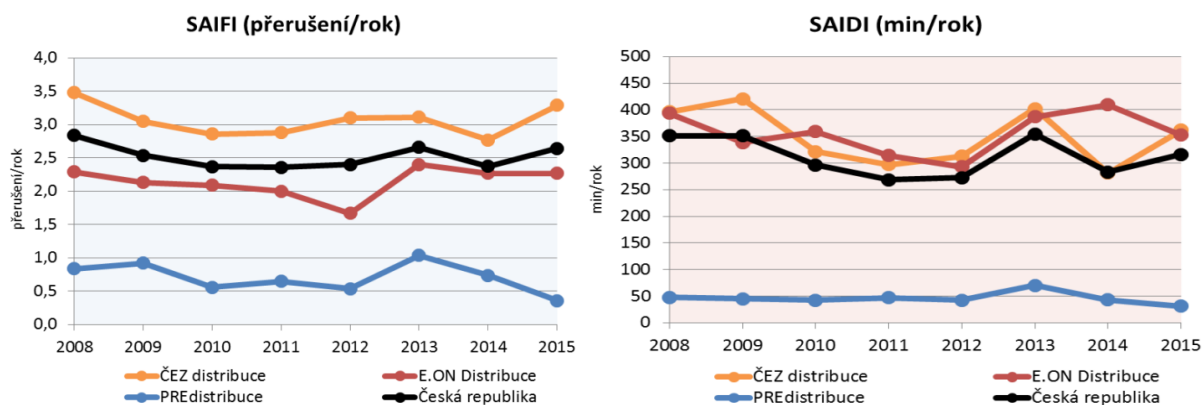
### 3.3 Vykazování kvality distribuce elektřiny

Provozovatel distribuční soustavy je povinen vést záznamy o všech dlouhodobých přerušeních distribuce elektřiny v soustavě, kterou provozuje. Provozovatel distribuční soustavy musí vypočítat ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny (kapitola 3.2). Dále je povinností provozovatele distribuční soustavy vypočítat ukazatele nepřetržitosti pro jednotlivé kategorie přerušení (Tabulka 4.1) a pro jednotlivé napěťové hladiny. Povinností každého provozovatele distribuční soustavy je zpracování zprávy o dosažené úrovni kvality distribuce elektřiny a souvisejících služeb za předchozí kalendářní rok včetně porovnání s předcházejícím obdobím a o dodržování standardů dodávek v předchozím roce. Zpráva musí být zpracována do 31. března následujícího kalendářního roku. Dále provozovatel musí zpracovávat měsíční zprávy o dodržování standardů distribuce elektřiny ve formě výkazů. ERÚ následně zpracuje a zveřejní zprávu o dosažené úrovni nepřetržitosti distribuce elektřiny, která bude sdílena na stránkách ERÚ. [8]

### 3.4 Historický vývoj ukazatelů na území ČR

Jak již bylo uvedeno výše, hodnoty ukazatelů jednotlivých společností nelze mezi sebou jednoduše porovnávat vzhledem k odlišnému charakteru sítí. Z tohoto důvodu je podstatnější sledování časového vývoje ukazatelů pro jednotlivé společnosti, který je znázorněn na *Obr. 3.5*. Časová řada je však k dispozici pouze od roku 2008, a proto nelze činit hlubší závěry o vývoji ukazatelů. Pro úplnost je v grafu znázorněna hodnota ukazatelů za celou Českou republiku. [7]





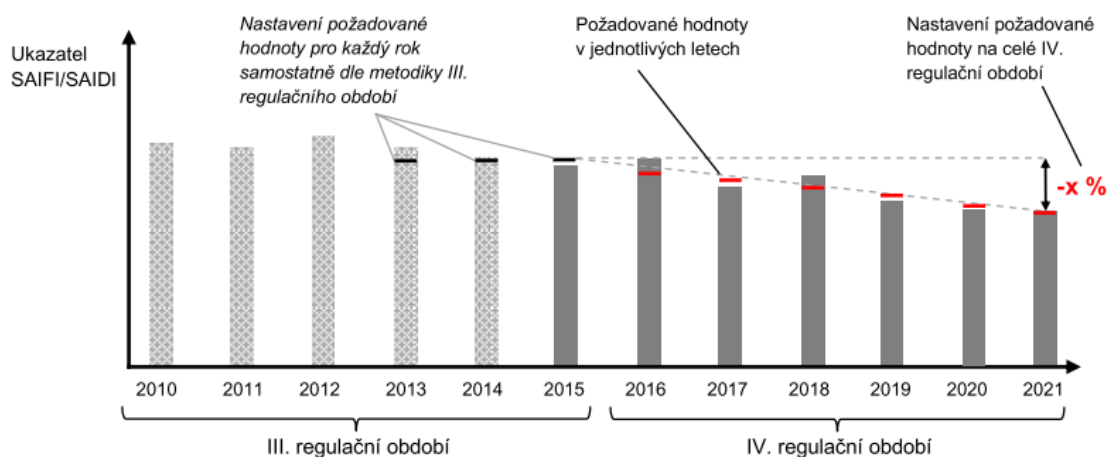
Obr. 3.4 Historický vývoj ukazatelů (převzato z: [17])

Stanovení ukazatele kvality a jeho parametrů vychází ze zprávy úřadu o metodice regulace třetího regulačního období, která zavádí tzv. motivační regulaci kvality, jejímž cílem je nastavení požadované úrovně kvality poskytovaných služeb ve vztahu k jejich ceně. Standardní vzorec pro výpočet povolených výnosů regulovaného subjektu je doplněn o člen, který upravuje hodnotu povolených výnosů o finanční vyjádření penále nebo bonusu za dosaženou úroveň kvality. Bonifikace či penalizace je vztažena k výši zisku stanoveného úřadem pro daný regulovaný rok. Motivační regulace kvality byla zavedena s cílem snižovat počty a doby trvání přerušení distribuce elektřiny. Jedná se především o kategorii plánovaných přerušení, které nejsou nikterak legislativně omezeny a jsou nejčastějším tématem stížností zákazníků. Dalším cílem je postupné sjednocení úrovně kvality dodávek elektřiny na jednotlivých místech ČR. V neposlední řadě je cílem regulace i dosažení lepších výsledků při srovnávání úrovně kvality s ostatními státy EU. [7]

### 3.5 Predikce vývoje ukazatelů

Nezbytným krokem pro fungování motivační regulace v praxi je stanovení požadovaných cílů dané Energetickým regulačním úřadem. Dle současného principu se požadované hodnoty stanovují každoročně na následující rok dopředu na základě historického vývoje. Rozsáhlé zasahování do DS za účelem zlepšení spolehlivosti sítě je však časově velmi náročná činnost. Distribuční společnosti potřebují vědět dané hodnoty dostatečně dopředu, aby mohly provést přípravy a samotná opatření dostatečně brzy. Proto [19] navrhuje nastavit požadované hodnoty ukazatelů dostatečně dopředu, alespoň na celé regulační období s tím, že bude možnost do těchto hodnot zasahovat při neočekávatelném vývoji ukazatelů. [19]

Jedinou možnou variantou je tedy predikce hodnot ukazatelů z historických dat. Toto je však složité, protože historická data jsou k dispozici od roku 2008, a proto z nich není možné dělat hlubší závěry. Cílem distribučních společností je snižování hodnot ukazatelů na co nejmenší hodnotu z důvodu vyhnout se penále za nesplnění požadavků dané ERÚ, případně získání bonusu. Zvyšování spolehlivosti v síti je však dlouhodobý proces a snižovat hodnoty ukazatelů každý rok je velmi složitý cíl. Tohoto faktu si je vědom samotný ERÚ, který pro IV. regulační období nastavil hodnoty ukazatelů nepřetržitosti SAIFI<sub>Q</sub> a SAIDI<sub>Q</sub> na celé následující regulační období. Toto nastavení vychází ze studie, která má za cíl určit vztah mezi možnými opatřeními pro snížení ukazatelů a vynaloženými náklady jednotlivých provozovatelů distribučních soustav. Tento mechanismus je popsán v [19] a je zobrazen na Obr. 3.5.



Obr. 3.5 Mechanismus nastavení hodnot ukazatelů (převzato z: [19])

Je jasné, že snaha distribučních společností bude přibližovat se co nejvíce hodnotám nastavených ERÚ, nejlépe být pod nimi, aby docházelo k získání bonusů.

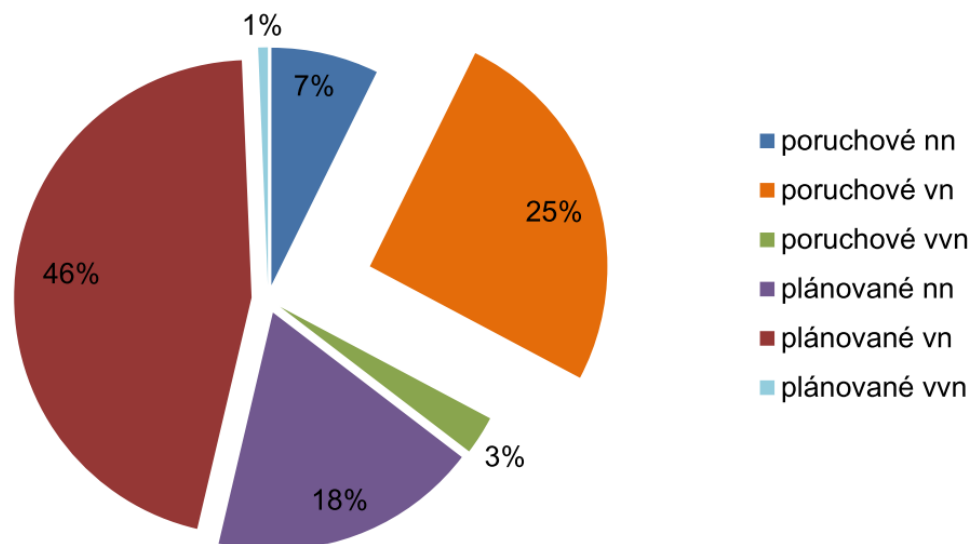
SAIFI	Referenční hodnota	Roční zpříšňování	Požadovaná hodnota pro rok 2016	Požadovaná hodnota pro rok 2017	Požadovaná hodnota pro rok 2018	Hranice neutrálního pásma	Maximální bonus/penále
ČEZ Distribuce	2,360	1,25%	2,331	2,301	2,273	± 5%	± 15%
E.ON Distribuce	1,570	0,75%	1,558	1,547	1,535	± 5%	± 15%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

SAIDI	Referenční hodnota	Roční zpříšňování	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%

Obr. 3.6 Požadované hodnoty dané ERÚ (zdroj: [23])

## 4 Analýza poruch v distribuční soustavě

Jak již vyplynulo z předchozích kapitol, zásadní pro spolehlivost v energetice je počet a délka přerušení. Podle příčiny vzniku můžeme tedy přerušení rozdělit na *plánovaná* a *neplánovaná*. Plánovaná přerušení musí být oznámena zákazníkům, kterých se přerušení týká, předem a to minimálně 15 dnů dopředu. Plánovaná přerušení nejsou v ČR nikterak legislativně omezena a to ani časově, ani počtem přerušení. Právě plánovaná přerušení jsou ve srovnání se zahraničím vysoká. Toto téma potřebuje však podrobnější analýzu, protože při snaze snižování ukazatelů na úkor zmenšování počtu plánovaných přerušení (např. revize, údržby, opravy, rekonstrukce), by časem docházelo k nárůstu počtu neplánovaných přerušení distribuce v důsledku zanedbání plánovaných prací. Ve finále by měl tento krok za následek snížení kvality dodávek elektřiny. Jak uvádí [19] je právě v této kategorii velký potenciál pro zlepšování, protože například pro společnost E.ON zaujímají plánovaná přerušení přibližně 60% ze všech přerušení. Plánovaná přerušení však nejsou hlavním tématem této diplomové práce. V diplomové práci se zaměřuji hlavně na přerušení neplánovaná. Nejčastějším případem neplánovaného přerušení je porucha.[19]



Obr. 4.1 Rozdělení přerušení dle napěťových hladin a kategorie (převzato z: [24])

Z Obr. 4.1 je patrné, že největší zastoupení mají plánovaná přerušení na VN. Celkově zaujímají plánovaná přerušení 65% z celkového počtu přerušení. Neplánovaná přerušení neboli poruchy, zaujímají opět největší podíl v síti VN a z celkové počtu přerušení zaujímají poruchová přerušení 35%. V tabulce 4.1 jsou pak detailně popsány kategorie přerušení podle jejich příčin.

**Tabulka 4.1 Kategorie přerušení podle příčiny (zdroj: [25])**

<b>Přerušení</b>	
<b>Neplánované</b>	
	Poruchové
	Způsobené poruchou mající původ v zařízení přenosové nebo distribuční soustavy provozovatele soustavy nebo jejím provozu
	Za obvyklých povětrnostních podmínek
	Za nepříznivých povětrnostních podmínek
	Způsobené v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby
	Vynucené
	Mimořádné
V důsledku události mimo soustavu a u výrobce	
<b>Plánované</b>	

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.1, porucha je jev spočívající v ukončení provozuschopného stavu objektu. Je to částečná nebo úplná ztráta, případně změna těch vlastností objektu, které podstatným způsobem snižují schopnost nebo nemožnost objektu plnit požadované funkce. Zda se jedná o poruchu, je rozhodováno podle stanovených podmínek provozu. Jak uvádí [1], poruchy lze dělit podle různých hledisek:

- *Porucha z vnějších příčin* - porucha způsobená nedodržením stanovených provozních podmínek a předpisů
- *Porucha z vnitřních příčin* – porucha způsobená vlastní nedokonalostí objektu při zachování stanovených provozních podmínek a předpisů

Podle časového průběhu na:

- *Postupná porucha* – vzniká postupnou změnou parametrů objektu, např. v důsledku stárnutí nebo opotřebení.
- *Náhlá porucha* – vzniká v důsledku prudké změny jednoho nebo více parametrů objektu

Dále pak na:

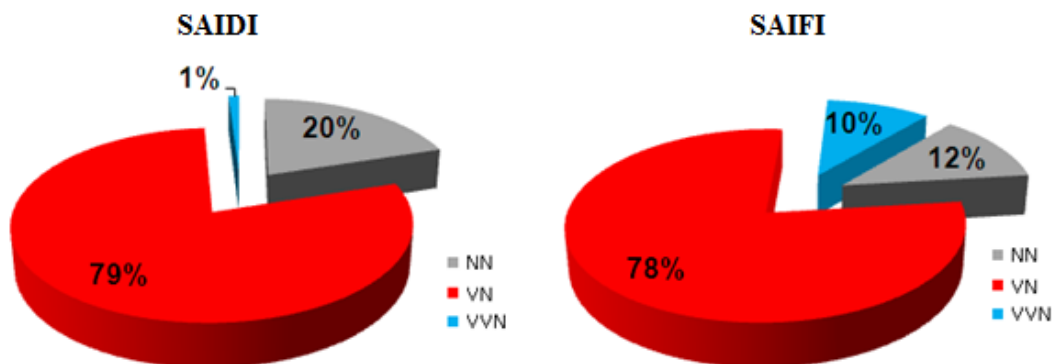
- *Částečná porucha* – odchýlení jednoho nebo více parametrů od úrovně stanovené technickými podmínkami, které ale nebrání výrobku plnit svou funkci.
- *Úplná porucha* – zcela zabraňuje plnit požadovanou funkci

Podle doby trvání:

- *Trvalá porucha* – tuto poruchu je možné odstranit pouze opravou nebo náhradou porouchaného prvku.
- *Dočasná porucha* – tato porucha může samovolně vymizet nebo trvá jen po dobu působení vnějšího vlivu

Jak uvádí [2], v teorii spolehlivosti se uvažují pouze poruchy náhodné. Ty vznikají bez zjevných předchozích příčin. Ostatní poruchy, které lze předpovědět podle jiných závislostí nejsou náhodné. Dělení do tříd je často relativní, protože např. náhlé poruše předcházejí skryté změny vlastností prvku, které by bylo možné podrobným zkoumáním zjistit a tuto poruchu označit za postupnou. Dokonalá znalost všech dějů, které probíhají v materiálech prvku, znalost postupu výroby a podmínek provozu by umožnila předvídat dobu vzniku poruchy prvku a v takovém případě by se porucha definovala jako nenáhodná. Avšak omezená znalost všech těchto informací je důvodem pro označení poruchy prvku jako náhodné.

#### 4.1 Neplánovaná přerušení



Obr. 4.2 Procentuální obsazení SAIDI/SAIFI v napěťových hladinách distribuční soustavy ČR (převzato z:[26])

Z Obr. 3.2 získaného od společnosti E.ON je patrné, že největší zastoupení poruch je na hladině VN. Je to dáno poměrem kabelového vedení a venkovního vedení společnosti E.ON. V tabulce 2.1, kde jsou zobrazeny profily jednotlivých distribučních společností, je znázorněno, že ve společnosti E.ON zaujímají kabelová vedení 15,9% a venkovní vedení 84,1%. Ze získaných provozních zkušeností lze říci, že většinový podíl poruchovosti je na venkovním vedení v porovnání s kabelovou sítí. Vysoká poruchovost je zapříčiněná délkou venkovního

vedení VN, zvoleným umístěním trasy vedení (lesní úseky, kopcovité terény) a v neposlední řadě náchylností na atmosférické vlivy. Mezi nejčastější příčiny poruch na venkovním vedení v našich podmínkách jsou podle [13]:

- pád stromů nebo větví do vedení,
- bouře a atmosférické vlivy,
- vítr,
- stárnutí izolace,
- opotřebení materiálu,
- námraza,
- sníh,
- ostatní provozní vlivy.

Z toho výčtu je patrné, že jednotlivé příčiny jsou spolu provázané a mohou mít stejný charakter. Např. pád stromu nebo větví mohl být vyvolán bouří nebo větrem. Stejně lze nahlížet na prvotní příčiny klasifikované jako námraza, sníh nebo bouře. Ve většině případů se na vysokém počtu dlouhých výpadků podílí několik kritických úseků daného vývodu, které procházejí lesním průsekem nebo podél okraje lesa, větrnou oblastí, námrazovou oblastí nebo oblastí se zvýšenou intenzitou bouřek. [10]

Největší smysl má tedy investice právě do VN sítě ke zlepšení ukazatelů nepřetržitosti z hlediska neplánovaných událostí. Proto lze považovat tuto část distribuční soustavy za zásadní pro zlepšení neplánovaných spolehlivostních ukazatelů. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto o prvotním zaměření investičních opatření snižující úroveň SAIDI a SAIFI právě na hladinu VN. [24], [27]

Analýza poruch byla stěžejním úkolem při vypracování výpočtové části v kapitole č. 6, proto zde nebude dále rozebírána. Všechny informace o poruchách v oblasti Západ jsou zaznamenány v kapitole č. 6 a v příloženém Q – Souboru.

## 5 Vybraná opatření pro zvýšení spolehlivosti sítí

Vybraná opatření pro zvyšování spolehlivosti sítí slouží k eliminování počtu a dob trvání dlouhodobých přerušení, z čeho plyne, že opatření slouží ke zlepšování ukazatelů nepřetržitosti SAIFI a SAIDI. Je nezbytné, aby jednotlivá technická a netechnická opatření pro zlepšení nepřetržitosti distribuce byla řešena vždy společně s regulačními mechanismy, protože se jedná o vzájemně propojený systém, jak uvádí [3]. Některé investice do DS jsou ekonomicky efektivní vzhledem ke spolehlivosti a některé méně. Novinek na trhu neustále přibývá, dle [24] má smysl zabývat se pouze těch, u kterých je aktuálně nejvyšší potenciál a efektivita, tj. poměr cena/přínos ke spolehlivosti DS. Mezi technická opatření podle [24] patří:

- kabelizace lesních průseků,
- výměna izolátorů VN,
- kratší vývody,
- možností záložního napájení (napájení z více stran),
- způsob chránění, lokalizace poruchy,
- využití distribuční automatizace.

Každé z těchto opatření má své nevýhody týkající se realizace, provozu nebo ekonomické efektivity. V této diplomové práci se zaměřím hlavně na zavádění recloserů, které patří do kategorie distribuční automatizace, dále pak na kabelizaci lesních průseků a výměnu izolátorů VN.

### 5.1 Distribuční automatizace

Jedním z prostředků pro zvyšování spolehlivosti VN sítí, ať už se jedná o venkovní nebo kabelové, je zavádění nových systémů řízení těchto sítí neboli distribuční automatizace. Tyto systémy jsou schopny dálkově ovládat a nepřetržitě monitorovat dané úseky sítě, umožňují rychlé řešení problémů jako jsou například poruchy a v neposlední řadě zjednodušují manipulaci při pracích v síti. Z hlediska poruch je možné pomocí těchto systémů řízení danou poruchu lokalizovat a provést následné změny v zapojení sítě bez nutnosti manuálního spínání. V posledních letech, ve spojitosti s pojmem Smart Grid, se objevila myšlenka pokročilé distribuční automatizace, která má představovat inteligentní řízení sítě v reálném čase. Pokročilá distribuční automatizace by měla reagovat na změny zatížení a výroby a na vznik poruchových stavů bez zásahu dispečera. Mezi prvky distribuční automatizace patří:

- indikátory poruch s místní nebo dálkovou signalizací,

- místní automatizace: reclosery, automatické úsečníky, přepínače,
- odpínače dálkově ovládané z dispečinku (SCADA)

Prvky distribuční automatizace je možné kombinovat nebo použít samostatně. Tato kapitola se bude zabývat hlavně prvky dálkového ovládní, manuální ovládní bude zmíněno jen na okraj z důvodu nižší efektivity. Systém dálkového ovládní se skládá z komunikačních sítí oblasti, centrálních a dispečerských stanic (CDS) a z dálkově ovládaných stanic (DOS). Celý systém je chráněn proti náhodným rušivým signálům, proti statické elektřině a také proti interferencím. [26]

### 5.1.1 Manuální úsečník

V dnešní době je mnohem více efektivní používání dálkově ovládaných systémů namísto používání manuálních systémů jako je například manuální úsečník. Samozřejmě i manuální úsečníky mají své uplatnění v kombinaci s jinými prvky distribuční soustavy, je však nutné počítat s větší časovou prodlevou při vypínání, jelikož pro vypnutí manuálních úsečníků musí být přítomen technik.

### 5.1.2 Dálkově ovládaný úsečník

Dálkově ovládaný úsečník (DOÚ) má oproti manuálnímu úsečníku některé přednosti. Mezi tu nejzásadnější patří zkrácení doby nedodávky elektrické energie. Požitím DOÚ dochází k dálkové lokalizaci poruchového místa v provozu s následným vypnutím pouze tohoto místa, proto lze provést změny zapojení soustavy bez omezení zákazníků. Dochází také k ušetření nákladů na obsluhu v terénu, která by jinak musela manipulovat s úsečníky ručně. K automatickému vypnutí DOÚ dochází v beznapěťové pauze po neúspěšném OZ. Různé druhy DOÚ se liší především systémem zhášení oblouku. Na trhu je možné nalézt DOÚ s olejovou, vzduchovou nebo vakuovou komorou. Dříve se pro komunikaci s DOÚ používala rádiová komunikace, v dnešní době je nahrazena technologií GPRS.[28], [29]

### 5.1.3 Inteligentní pojistkový odpojovač

Princip funkce inteligentního pojistkového odpojovače (IPO) spočívá v tom, že pokud jím projde dvakrát po sobě stejný zkratový proud, IPO provede automaticky vypnutí. IPO pracuje na stejném principu jako DOÚ, hlavní rozdíl je v možnostech těchto zařízení. Použití IPO vyžaduje mít předřazený prvek s možností minimálně dvou cyklů OZ (REC, rozvodna



s digitálními ochranami). K vypnutí dojde v druhé beznapěťové pauze a po vypnutí je nutný zásah obsluhy, která musí ručně natáhnout spoušť pojistky a opětovně zapnout. IPO nahlásí svůj stav zapnuto/vypnuto na dispečink. Je to zjednodušeně řečeno DOÚ bez komunikace. Použití IPO se předpokládá hlavně na problémových odbočkách. [28], [29]

#### 5.1.4 Recloser

Recloser (REC) je vypínač, který je umístěný na podpěrném bodu venkovního vedení a má schopnost opětovného zapnutí (OZ). REC je vybaven řídicí jednotkou pro ovládání jeho pohonu, dále pak prvky s monitorovacími, ochrannými a automatizačními funkcemi. Recloser může být osazen kdekoliv v síti, pracuje v určitém autonomním provozu, kdy ve spolupráci s dalšími prvky zabezpečí automatizaci části vedení distribuční sítě. Je vhodný především pro likvidaci přechodných poruch v části sítě za místem jeho instalace bez působení vypínače na rozvodně. V základní variantě sleduje proud tekoucí ze zdroje do vedení a pomocí elektronického relé rozhoduje o činnosti v případě poruchy. Pokud dojde ke zkratu nebo zemnímu spojení, relé zajistí dle požadavků jeden nebo více OZ, čímž umožní likvidaci přechodných i trvalých poruch v části sítě za REC. K dispozici jsou tři druhy relé, které umožňují využití REC v kmeni vedení, na přechodu kabel-venkovní vedení, na odbočce VN, ve venkovní stožárové trafostanici a automatické připojení odběratele k záložnímu zdroji. REC sebou přinášejí nové funkce, jako např. automatické vypínání a funkci OZ, nezávislost na dispečerském řízení a možnost automatického vymanipulování poruchového úseku. REC je velice spolehlivý a má vysoký počet zapnutí a vypnutí. [26], [28], [29]



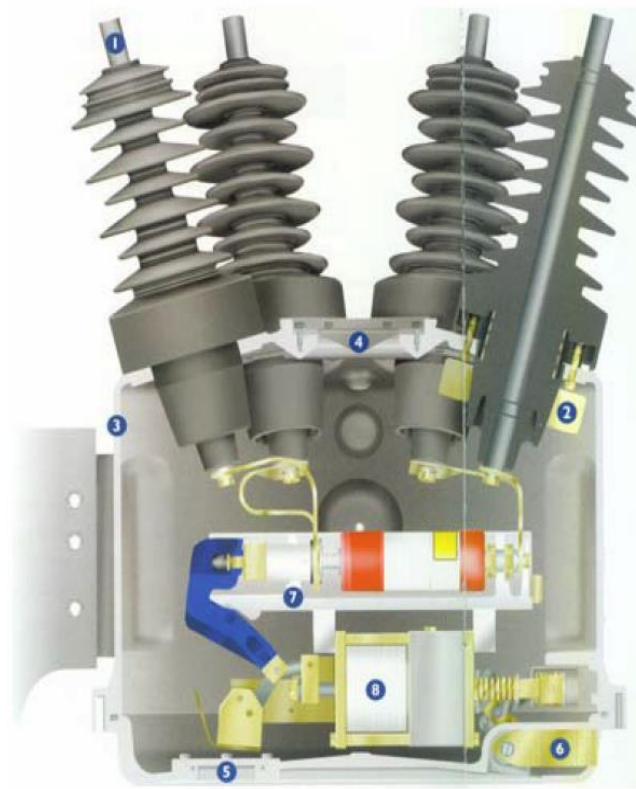
*Obr. 5.2 GVR Recloser Hawker Siddeley Switchgear (převzato z: [30])*



*Obr. 5.1 Recloser Hawker Siddeley Switchgear (převzato z:[30])*

### **GVR Recloser Hawker Siddeley Switchgear**

Použití REC bude jedním z hlavních úkolů této práce, proto budou v této kapitole detailněji popsány jeho funkce. Na trhu je možné nalézt velké množství REC, které se liší svými vlastnostmi, funkcí, cenou atd. Pro podrobný popis jsem vybral GVR Recloser Hawker Siddeley Switchgear, který nabízí firma Dribo, spol. s r.o. Tyto REC jsou určeny pro použití na venkovních distribučních sítích VN. Vypnutí elektrického oblouku probíhá ve vakuu, díky kterému nevznikají žádné toxické štěpné plyny. Jako izolace se zde používá plyn SF<sub>6</sub>, který vyniká vysokou dielektrickou pevností. Vypínač GVR je možné instalovat na sloup nebo v trafostanici a je možné ho ovládat jako autonomní vypínač s přídavným napájecím zdrojem, nebo jako zařízení zabudované do moderních distribučních automatizovaných systémů. Vypínače jsou bezúdržbové po dobu 10-ti let nebo do 10 000 spínacích operací.



1. Průchodky EPDM ze silikonové pryže, s Al nebo Cu drátem.
2. Transformátory proudu instalované uvnitř skříně. Mají jediné vinutí s odbočkami 100:1, 200:1, 300:1 a používají se pro jištění a měření.
3. Al nádoba
4. Přídavná talířová membrána na vypuštění přetlaku v nádobě.
5. Mechanický ukazatel spínací polohy (0/1) viditelný ze země.
6. Manuální vypínání a blokování ovládací tyčí s hákem.
7. Držák trojfázového vakuového zhášedla, mechanismus magnetického ovladače a pohonné rameno odlité z jediného kusu.
8. Jednocivkový magnetický pohon, který je udržován permanentním magnetem.

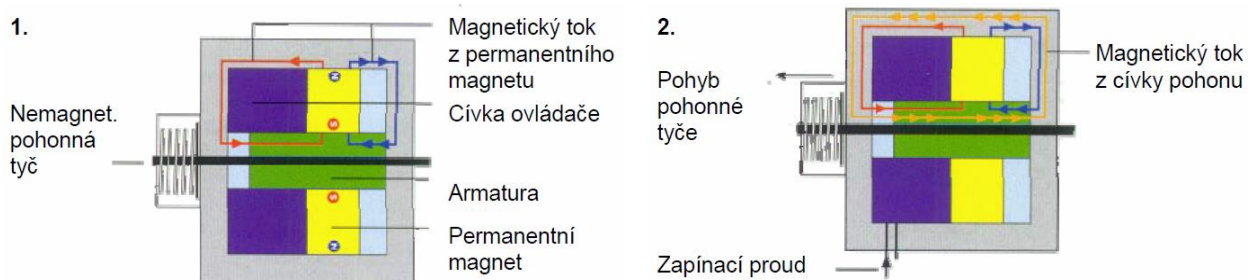
Obr. 5.3 Technický popis vypínače GVR  
(převzato z: [30] )

### Popis funkce:

Po zapnutí vypínače GVR se cívka pohonu nabudí v jednom směru, v opačném pak nastává vypnutí vypínače tím, že dojde k odblokování přídržné síly. Tento jednocivkový pohon umožňuje vypínání za jakéhokoliv stavu baterie i při ručním vypínání.

### Zapínání:

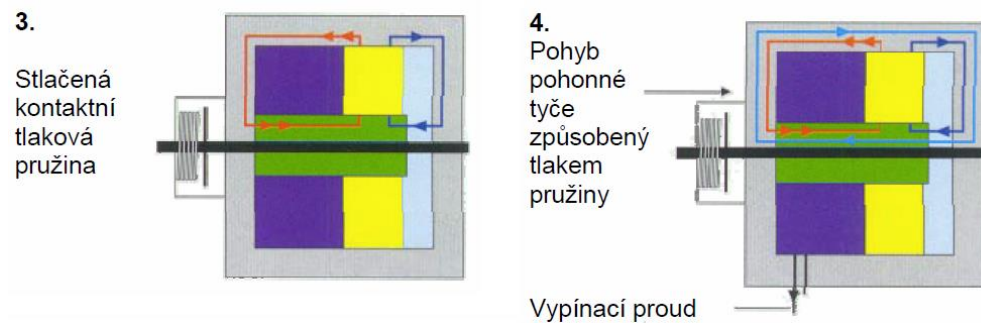
Bistabilní konstrukce pohonu zajišťuje přidržení jádra cívky ve vypnutém stavu a to do té doby, než v elektromagnetu naroste proud nad úroveň potřebnou pro zapnutí vypínače. Po překonání přídržné síly, dojde k zapnutí vypínače působením nashromádané energie v elektromagnetu a permanentním magnetem.



Obr. 5.4 Popis funkce vypínání/zapínání (převzato z:[30])

**Vypínání:**

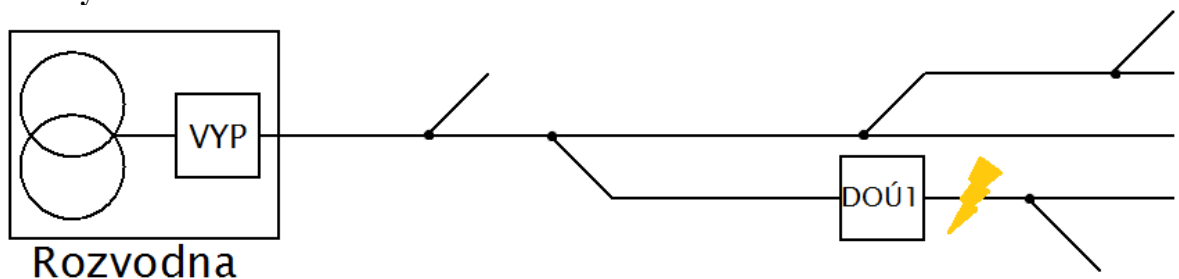
Při vypínání je elektromagnet buzen v opačném směru tak, aby došlo k překonání přídržné síly magnetu a odblokování pohonu, dále je vypínání podpořeno také energií nasádanou během zapnutí v kontaktních tlakových vypínacích pružinách a je nezávislé na napětí napájecího zdroje při elektrickém vypínání. Energie potřebná pro vypnutí se pohybuje okolo 1/30 energie potřebné pro zapnutí.[30], [31]



Obr. 5.5 Popis funkce vypínání/zapínání (převzato z: [30] )

### 5.1.5 Použití REC a DOÚ

#### Samotný DOÚ

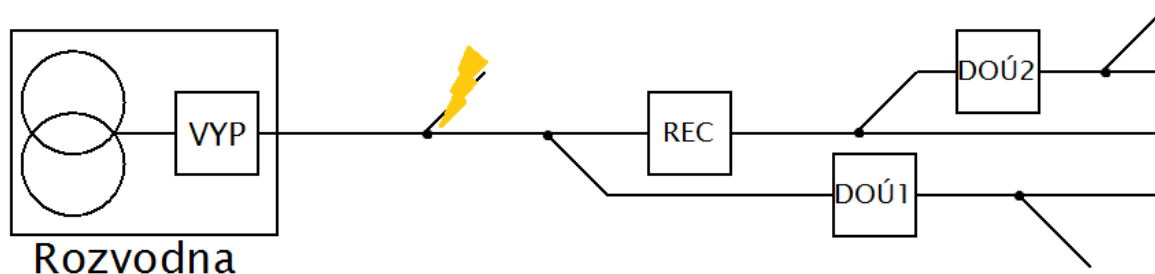


Obr. 5.6 Použití samotného DOÚ (zdroj: [29])

V případě, který je zobrazen na Obr. 5.6, na poruchu jako první reaguje ochrana v rozvodně vypnutím vypínače (VYP). Ochrany v rozvodně jsou nastaveny na jeden cyklus rychlého OZ. Pokud porucha stále trvá, vývod je opět vypnut. Následuje manipulace dispečera, který provádí zapnutí s cílem obnovit provoz vývodu do 3 minut. Porucha, která trvá déle než 3 minuty, negativně ovlivňuje ukazatel SAIFI. Pokud ani toto zapnutí neproběhne úspěšně, dispečer začne manipulovat s DOÚ1. nejprve vypne DOÚ1 a poté zapne úsek až po DOÚ1. Následuje výjezd poruchové čety, která komunikuje s dispečerem a postupně vypíná manuální úsečníky v úseku za DOÚ1. Pomocí manuálních úsečníků poruchová četa nalezne ve spolupráci s dispečerem přesný úsek poruchy za DOÚ1 a následně tuto poruchu odstraní. Výhodou je, že obnovení

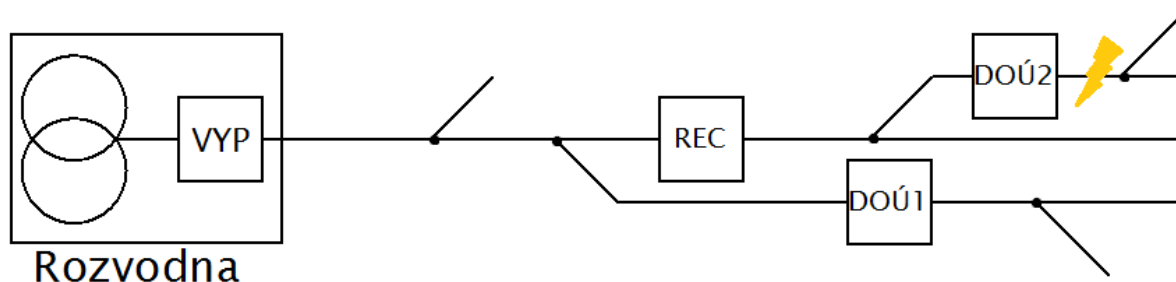
dobavky mezi rozvodnou a DOÚ1 proběhne velmi rychle, podle [28] do 10 minut v porovnání s použitím pouze manuálních úsečníků.

### REC a DOÚ



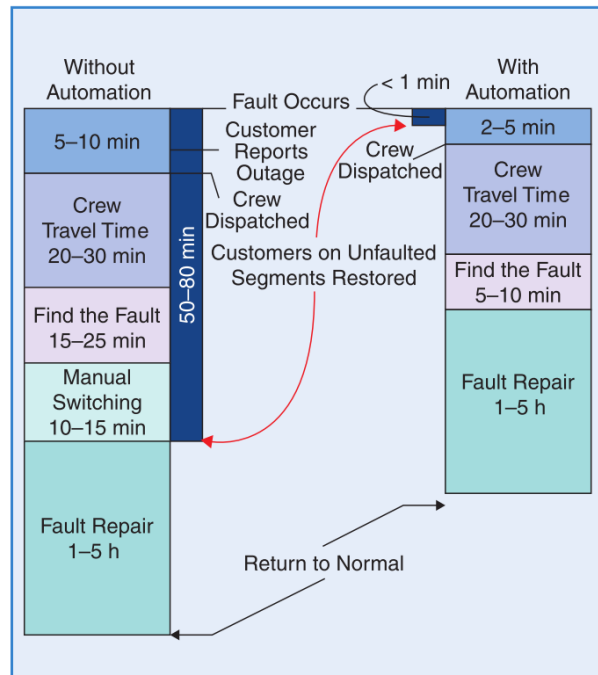
Obr. 5.7 Použití DOÚ a REC varianta 1 (zdroj: [29])

V případě, který je na Obr. 5.7, je průběh podobný jako v předchozím případě a dispečer provede ohledání REC a DOÚ1. Ani jeden z těchto prvků v síti nehlásí průchod zkratového proudu. Z toho plyne, že porucha je někde mezi rozvodnou a těmito přístroji. V tomto případě bude cíl nalézt poruchu mezi rozvodnou a přístroji, dále pak zajistit napájení z druhé strany, pokud tato daná síť dovoluje.



Obr. 5.8 Použití DOÚ a REC varianta 2 (zdroj: [29])

V situaci zobrazené na Obr. 5.8 bude využito hlavní výhody REC. REC podobně jako DOÚ slouží k rozdělení vývodů na několik částí a navíc disponuje funkcí vypínače a ochrany. V situaci zobrazené na Obr. 5.8 bude využito hlavní výhody REC, kdy odběratelé před REC nebudou nikterak postiženi. Dispečer pomocí manipulace s DOÚ určuje, že se porucha nalézá za DOÚ2 a následuje výjezd poruchové čety, která pomocí komunikace s dispečerem a odpojováním manuálních úsečníků nalezne přesný úsek poruchy a odstraní ji.



Obr. 5.9 Časový přínos distribuční automatizace (zdroj: [32])

## 5.2 Kabelizace lesních průseků

Ve čtvrté kapitole bylo zmíněno, že velký vliv na neplánované přerušení na sítích VN mají lesní průseky. Pro zlepšení ukazatelů nepřetržitosti je tedy vhodné opatření kabelizace úseků venkovního vedení, které prochází přímo v lesních úseku nebo v jeho těsné blízkosti. Mezi výhody tohoto opatření patří snížení počtu poruch typu „dřevina“, eliminace velmi dlouhých přerušení, nižší náklady na opravu a údržbu. Kabelizace lesních průseků je však velice investičně nákladná a realizace poměrně velmi náročná. Jako vhodné oblasti pro kabelizace lze také zvolit úseky, které jsou ve větrné nebo námrazové oblasti, dále pak oblasti se zvýšenou intenzitou bouřek.





Obr. 5.10 Lesní průsek venkovního vedení VN (převzato z: [33], [34])

Varianta kabelizace vybraného lesního průseku zahrnuje detailnější rozbor konkrétního úseku případně celého vývodu. Před přistoupením k této variantě je nejprve nutné zohlednit délku lesního průseku, počet poruch, vybavenost linky (odpínače, REC, indikátory) a v neposlední řadě zkušenosti získané od techniků regionálních správ. Na základě technicko – ekonomických výpočtů provedených společnostmi E.ON má smysl kabelovat lesní průseky, jejichž souvislá délka přesahuje 800 metrů. Dalším velice důležitým parametrem pro obnovu je technický stav vybraného úseku.

### 5.3 Výměna izolátorů VN

Bezpečný a bezporuchový chod venkovních vedeních je podmíněn kvalitní izolací živých částí vůči sobě navzájem a vůči zemi. Izolace mezi živými částmi je provedena vzduchem při dodržení vzdušných vzdáleností. Upevnění živých částí (vodiče) na nosné konstrukce (stožáry) se provádí pomocí izolátorů, které mohou být závěsné nebo podpěrné. V ČR se pro venkovní vedení s napětím větším než 52 kV používají pouze izolátory závěsné. Izolátor je nejvíce namáhán u vodiče pod napětím, proto se pro lepší rozložení napětí používají ochranné kruhy nebo rohy, které chrání izolátor i před poškozením při přeskoku. Mezi nejdůležitější parametry izolátorů patří jmenovité napětí, zkušební rázová vlna, mechanická pevnost v ohybu pro

podpěrné izolátory nebo v tahu pro závěsné izolátory.

Na základě zkoumání poruchových záznamů dispečinků 22 kV společnosti E.ON bylo rozhodnuto o přeizolaci částí venkovního vedení 22 kV. Při vybrání této varianty je vhodné postupovat jako v předchozím případě (Kapitola 5.2). Mezi nejdůležitější faktory této varianty patří charakter a příčina vzniklých poruch. Toto investiční opatření se týká pouze částí vývodů VN, kde byl příčinou poruchy prasklý nebo vadný izolátor.

## **5.4 Smart VN rozvaděč**

### **Rozpadový – s vypínačem**

Používá se na vývodech 22 kV, kde je část vývodu realizována kabelem, který dále pokračuje jako linka venkovního vedení. Jako typický příklad lze uvést městskou část vedení, která přechází na venkovní. Rozvaděč se v tomto případě instaluje na poslední DTS na kabelovém vedení. V případě poruchy na venkovním vedení je Smart VN rozvaděč schopen odpojit automaticky venkovní vedení a nepřerušit tak dodávku pro odběrná místa připojená na kabelové vedení.

### **Manipulační – s odpojovačem**

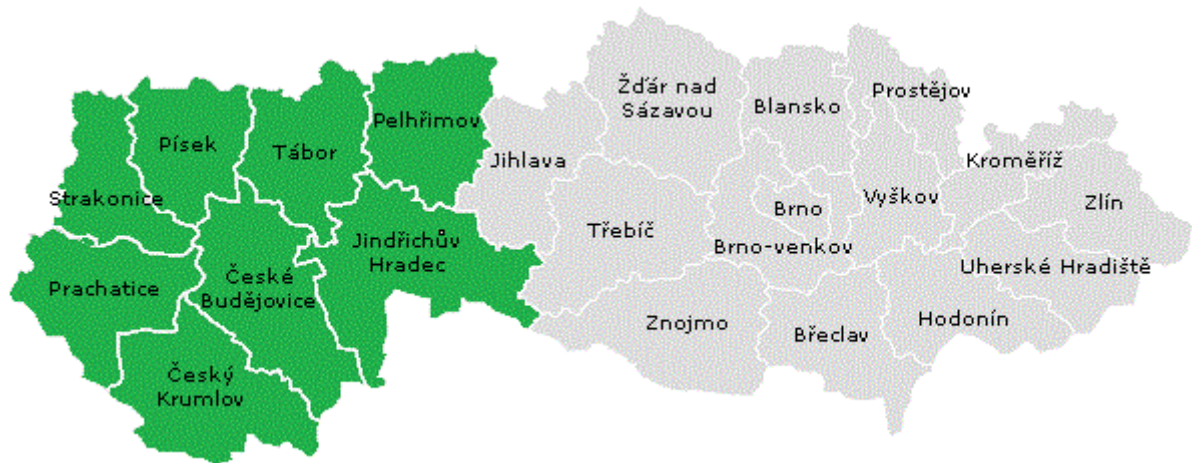
Tento Smart VN rozvaděč se opět používá na vývodech 22 kV do kabelových trafostanic. Rozdíl je však v tom, že se používá u 3 směrových trafostanic, což znamená spojení 2 až 3 kabelových vývodů. V případě potřeby je dispečer schopen dálkově vymanipulovat (přepojit) topologii sítě.

Výhody obou Smart VN rozvaděčů spočívají v měření napětí, činného a jalového výkonu a poruchových veličin jako je proud a napětí.



## 6 Výpočet vedoucích ke zvýšení spolehlivosti

Cílem výpočtu bylo zlepšení ukazatelů SAIDI a SAIFI na hladinách vysokého napětí a to především na venkovním vedení, kde je největší potenciál ke zlepšení. Tato výpočtová část je rozdělena do několika sekcí. První z nich bylo analyzování databáze neplánovaných přerušení dodávek elektrické energie na všech vývodech VN v oblasti Západ (*Obr. 6.1 – zeleně*)



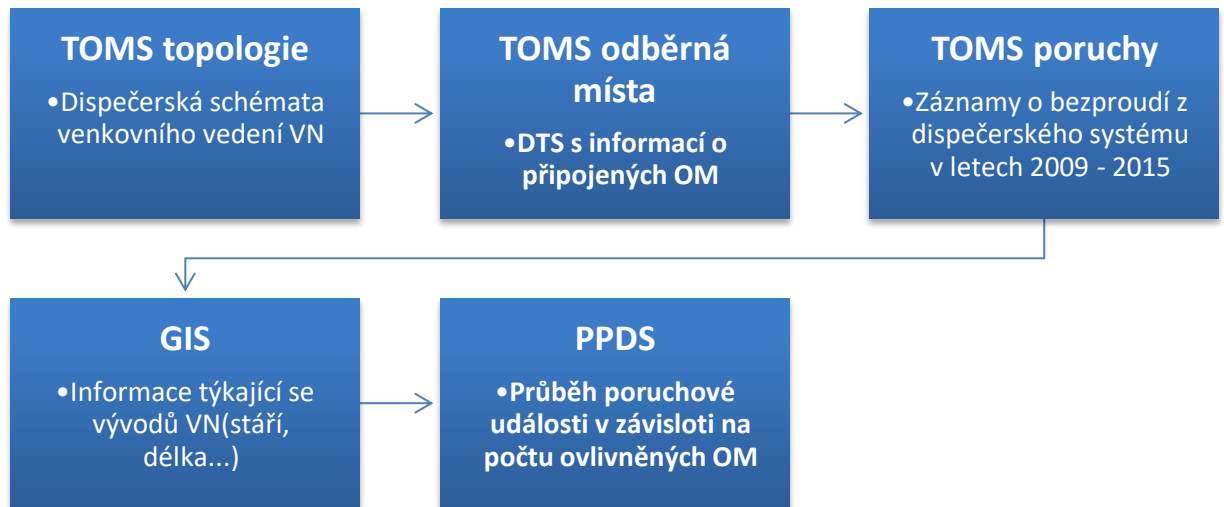
*Obr. 6.1 Oblast Západ - zeleně vyznačená část*

Dále jsem navrhnul jednotlivá opatření pro zlepšení ukazatelů SAIFI a SAIDI. Primárním opatřením pro tento výpočet je implementace recloserů na jednotlivé vývody s nejvyšším potenciálem pro zlepšení hodnot SAIDI a SAIFI. Další sekce je věnována zlepšení ukazatelů SAIDI a SAIFI pomocí pokročilé automatizace, jako je nasazování recloserů jako hraničních prvků, kabelizace či výměna izolátorů VN.

### 6.1 Použitá data pro výpočty

Data a dispečerská schémata použitá při výpočtech jsou získaná od společnosti E.ON. Potřebné databáze pro výpočet jsou zobrazena na *Obr. 6.2*. Pro účely výpočtů byla použita aktuální dispečerská schémata venkovních vedení 22 kV a informace o počtu odběrných míst ze systému TOMS. Data obsahují všechna plánovaná přerušení (opravy) a všechny poruchové záznamy způsobené cizím vlivem (poruchy). Databáze nahlášených bezproudí či neplánovaných poruchových stavů obsahuje pouze takové záznamy, které svojí délkou trvání překročily hranici 3 minut (dlouhodobá přerušení). Součástí databáze nejsou také kalimnitní stavy a extrémní klimatické podmínky, při kterých byly evidovány poruchy na venkovním

vedení VN.

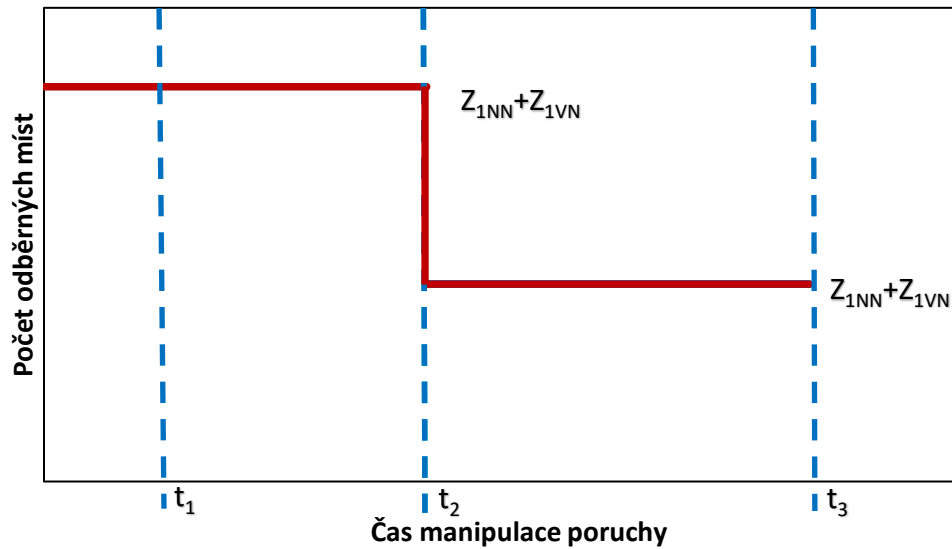


Obr. 6.2 Systémy s požadovanými daty

## 6.2 Vytvoření Q – Souboru

Cílem bylo seskupit data získaná z databází zobrazených na Obr. 6.2 a sjednotit je do jednoho souboru a nalézt v nich ty nejporuchovější vývody VN. Z databáze poruch 2009-2015 pro oblast E.ON jsem vytvořil kontingenční tabulku v MS Excel, kde jsem vyčlenil poruchy, které se staly pouze na území E.ON Západ. Dále bylo nutné analyzovat přerušení kategorie 11, tj. pouze neplánovaná přerušení za běžných povětrnostních podmínek. Z tohoto důvodu jsem neuvažoval kalamitní stavy ani extrémní klimatické podmínky. Dále pak nebyly uvažovány příčiny poruchy jako pojistka VN, vynucené vypnutí, porucha u odběratele, porucha u výrobce, událost v sousední DS atd. Přesný filtr je zobrazen v příloženém souboru Excel.

Dále jsem vypočítal čitatele SAIDI a SAIFI. Zde jsem využil průběhu poruchové události, jež obsahuje informace o době vymanipulování poruchy a o počtu postižených OM poruchou (Obr. 6.3).



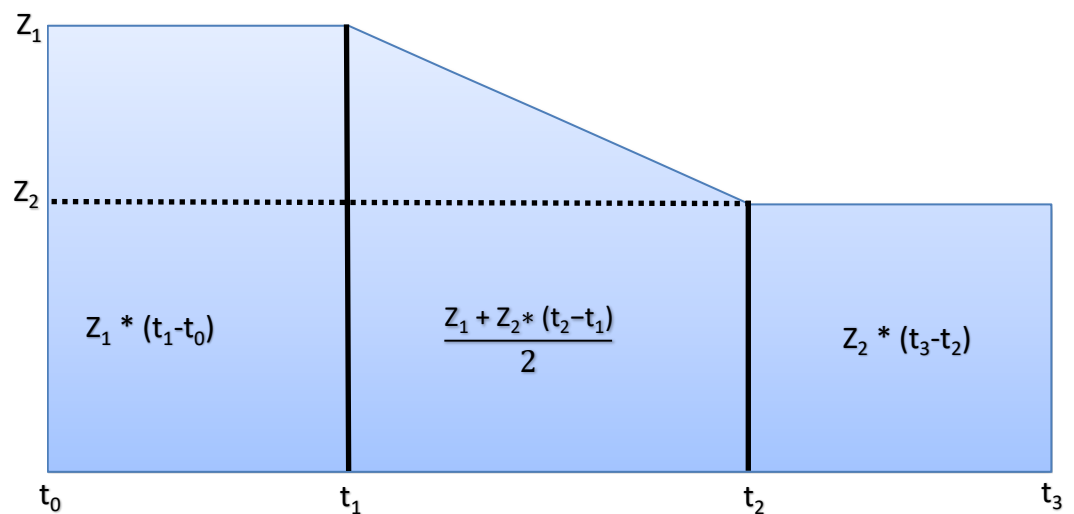
Obr. 6.3 Průběh poruchové události

$t_1$  .....doba do první manipulace

$t_2$  .....doba do vymanipulování poruchového úseku

$t_3$  .....doba do odstranění poruchy na postiženém úseku

Pro výpočet čítelů spolehlivostních ukazatelů každého poruchového záznamu jsem použil tzv. „Lichoběžníkovou metodu“. Lichoběžníková metoda analyzuje informace o délce bezproudí a počtu odběrných míst ovlivněných nedodávkou elektrické energie.



Obr. 6.4 Lichoběžníková metoda

**Čítatel SAIDI**

$$((Z_{1NN} + Z_{1VN}) * D_{t1}) + \left(\frac{(Z_{1NN} + Z_{1VN}) * D_{t2}}{2}\right) + ((Z_{2NN} + Z_{2VN}) * D_{t3}) \quad (6.1)$$

**Čítatel SAIFI**

$$Z_{1NN} + Z_{1VN} \quad (6.2)$$

Výsledné hodnoty za sledované období 2009-2015 byly sečteny pomocí kontingenční tabulky a přiřazeny jednotlivým vývodům VN. Aby bylo možné hodnoty spolehlivostních ukazatelů porovnávat, bylo je třeba upravit do základního tvaru. Nejprve byly stanoveny ukazatele  $\Sigma$  SAIDI a  $\Sigma$  SAIFI za sedmi-leté období a přepočteny na jedno odběrné místo v rámci DS E.ON (6.3 a 6.4). Celkový počet odběrných míst pro DS E.ON činil v tomto výpočtu 1 514 418 OM (odběrných míst). V dalším kroku byly stanoveny hodnoty  $\emptyset$ SAIDI v minutách na jedno OM za rok a  $\emptyset$ SAIFI v četnosti na OM za rok.

**Spolehlivostní ukazatele**

$$\Sigma SAIDI = \frac{\text{Čítatel SAIDI}}{\text{Počet OM E.ON}} \quad (6.3)$$

$$\Sigma SAIFI = \frac{\text{Čítatel SAIFI}}{\text{Počet OM E.ON}} \quad (6.4)$$

**Průměrné hodnoty  $\emptyset$ SAIFI a  $\emptyset$ SAIFI za jeden rok**

$$\emptyset SAIDI = \frac{SAIDI}{7} \quad (6.5)$$

$$\emptyset SAIFI = \frac{SAIFI}{7} \quad (6.6)$$

Pro jednotné sestavení žebříčku VN linek s největším potenciálem přínosu pro zlepšení kvality distribuce byly stanoveny referenční hodnoty SAIDI<sub>ref</sub> a SAIFI<sub>ref</sub>. Tyto hodnoty byly stanoveny společností E.ON z poruchových událostí za roky 2012 – 2014. Dle těchto hodnot se

přezkoumává největší potenciál pro zlepšení spolehlivostních ukazatelů.  $SAIDI_{ref}$  činí 41,15 [min/OM/rok] a  $SAIFI_{ref}$  činí 0,636 [-/OM/rok]. Právě díky těmto hodnotám byl v Q - Souboru vypočítán procentní potenciál jednotlivých vývodů Q pro zlepšení spolehlivostních ukazatelů zobrazený v sekci *Spolehlivostní koeficienty VN*.

### Výpočet spolehlivostního koeficientu SAIDI

$$SAIDI = \frac{\emptyset SAIDI}{SAIDI_{ref}} \quad (6.7)$$

### Výpočet spolehlivostního koeficientu SAIFI

$$SAIFI = \frac{\emptyset SAIFI}{SAIFI_{ref}} \quad (6.8)$$

### Výpočet spolehlivostního koeficientu Q

$$Q = \frac{SAIDI + SAIFI}{2} \quad (6.9)$$

Tabulka 6.1 Ukázka linek VN s největším potenciálem pro zlepšení podle Q-souboru

Informace o vývodu				Spolehlivostní koeficienty VN		
Správa RS	Rozvodna	Zkratka Rozvodny	Vývod VN	SAIDI [%]	SAIFI [%]	Q [%]
				<b>41,15</b>	<b>0,636</b>	
Jindřichův Hradec	Humpolec	HUM	Rápotice (hum)	1,66%	0,52%	1,09%
České Budějovice	Lipno	ELI	Frymburk (eli)	0,93%	0,58%	0,76%
České Budějovice	Větrní	VET	Planá (vet)	0,73%	0,57%	0,65%
Jindřichův Hradec	Dačice	DAC	Slavonice (dac)	0,78%	0,35%	0,56%
České Budějovice	Větrní	VET	Olšina (vet)	0,69%	0,43%	0,56%

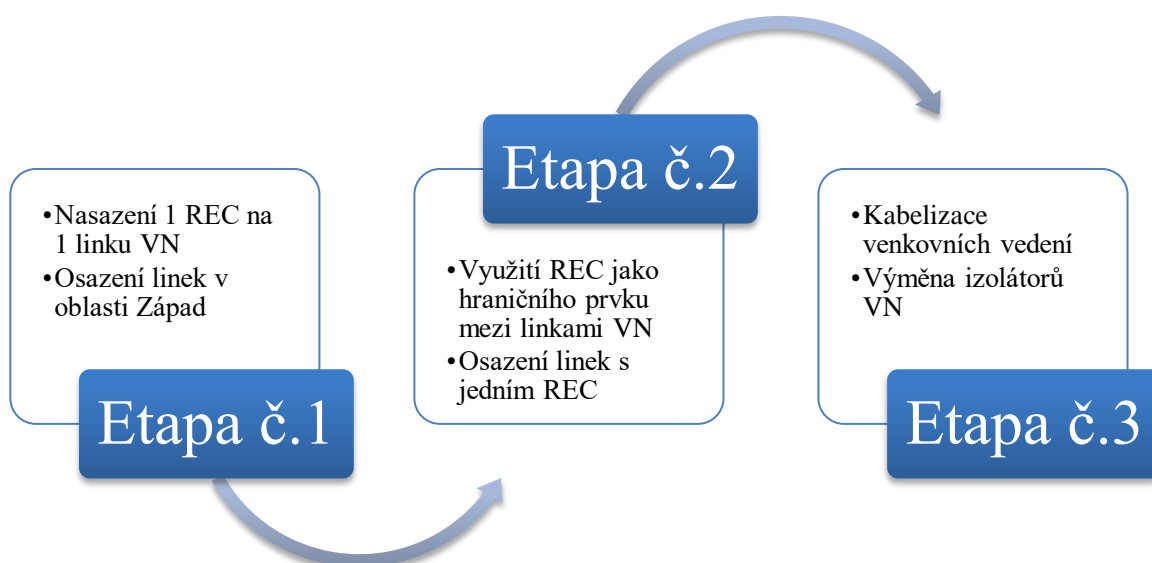
V této chvíli je vytvořen základ pro hodnocení vybraných opatření zlepšování spolehlivosti dodávky. Vytvořený Q – Soubor je rozdělen do několika sekcí. První sekce obsahuje data týkající se topologie jednotlivých vývodů neboli *Informace o vývodu*. Q – Soubor obsahuje také list *Úseky VN*, který popisuje detailněji vývody i s přiřazenými úseky. Pro Q – Soubor je však primární list s názvem *Vývody VN*. Ve druhé sekci jsou data týkající se poruchovosti jednotlivých vývodů VN. V další sekci s názvem *Výpočty spolehlivostních ukazatelů* je šest sloupců, které popisují vývod z hlediska provozní nepřetržitosti a stability dodávek. Jsou zde zobrazeny jednotlivé ukazatele počítané v této kapitole (čitatele SAIDI a SAIFI,  $\sum SAIDI$ ,  $\sum SAIFI$ ,  $\emptyset SAIDI$  a  $\emptyset SAIFI$ ). Sekce s názvem *Spolehlivostní koeficienty* byla vytvořena za účelem jednotného sestavení žebříčku vývodů VN s největším potenciálem pro zlepšení

spolehlivosti distribuce.

### 6.3 Strategie nasazování vybraných opatření

Vzniklý Q - Soubor byl vytvořen z důvodu jasného rozhodnutí, na jaký konkrétní vývod v oblasti Západ je vhodné aplikovat vybraná opatření pro snížení hodnot ukazatelů spolehlivosti. Dle zkušeností společnosti E.ON a úvah zmíněných v kapitole 5 jsem vytvořil strategii nasazování investičních opatření, neboli vybraných opatření, která mají za úkol tyto hodnoty ukazatelů snížit.

Celý proces nasazování investičních opatření jsem rozložil do tří po sobě jdoucích etap. První etapa spočívá v nasazování jednoho recloseru na jeden vývod VN. V další etapě bylo využito pokročilé automatizace vývodů VN, neboli nasazování recloserů jako hraničních prvků mezi linkami VN (tzv. 1,5 REC/vývod), které již jedním recloserem byly osazeny. Poslední etapa se zaměřuje na eliminaci ukazatelů SAIDI a SAIFI pomocí opatření kabelizace venkovních vedení a výměna izolátorů VN.

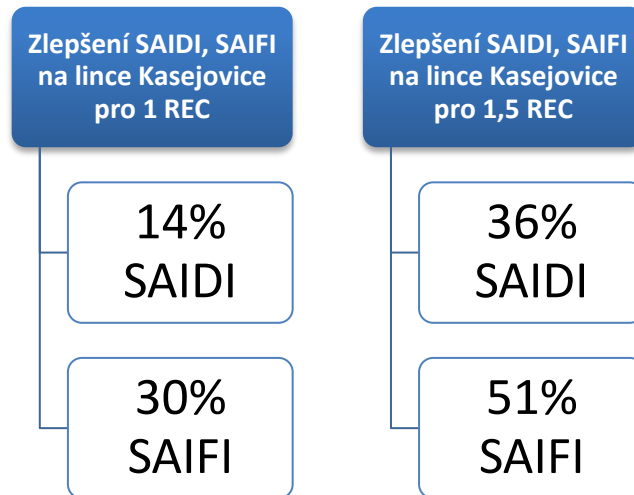


Obr. 6.5 Strategie zvyšování spolehlivosti

#### 6.3.1 Etapa č. 1 - Recloser

Pro výpočet jsem vycházel ze studie „Možnosti zlepšení nepřetržitosti dodávky odběratelům napájených na vedení 22 kV Kasejovice“, která se zabývala optimálním umístěním automatizačních prvků, počtem a typem těchto zařízení. Protože princip nasazení budoucích REC jsem uvažoval pro ostatní linky VN stejný, bylo možné uvažovat zlepšení

ukazatelů SAIDI a SAIFI stejné jako na lince Kasejovice. Je zde však nutné zanedbat veškeré pravděpodobnosti vzniku poruch apod. Zlepšení spolehlivostních ukazatelů SAIDI a SAIFI bylo tedy konstantně uvažováno o 14% a 30% na každém vývodu VN.



Obr. 6.6 Zlepšení SAIDI a SAIFI na lince Kasejovice

V následujících výpočtech pro zjištění zlepšení nasazení jednoho recloseru na jeden vývod VN bylo využito právě procentních zlepšení SAIDI a SAIFI, dále pak z vypočtených hodnot  $\emptyset SAIDI$ ,  $\emptyset SAIFI$  na jeden rok a referenčních hodnot  $SAIDI_{ref}$ ,  $SAIFI_{ref}$ .

#### Výpočet zlepšení $\Delta SAIDI_{REC}$

$$\Delta SAIDI_{REC} = \emptyset SAIDI * \frac{\text{Zlepšení SAIDI pro 1REC (14\%)}}{100} \quad (6.10)$$

#### Výpočet zlepšení $\Delta SAIFI_{REC}$

$$\Delta SAIFI_{REC} = \emptyset SAIFI * \frac{\text{Zlepšení SAIFI pro 1REC (30\%)}}{100} \quad (6.11)$$

#### Výpočet celkového procentního přírůstku $Q_{REC}$

$$Q_{REC} = \frac{\frac{\Delta SAIDI_{REC}}{SAIDI_{ref}} + \frac{\Delta SAIFI_{REC}}{SAIFI_{ref}}}{2} \quad (6.12)$$

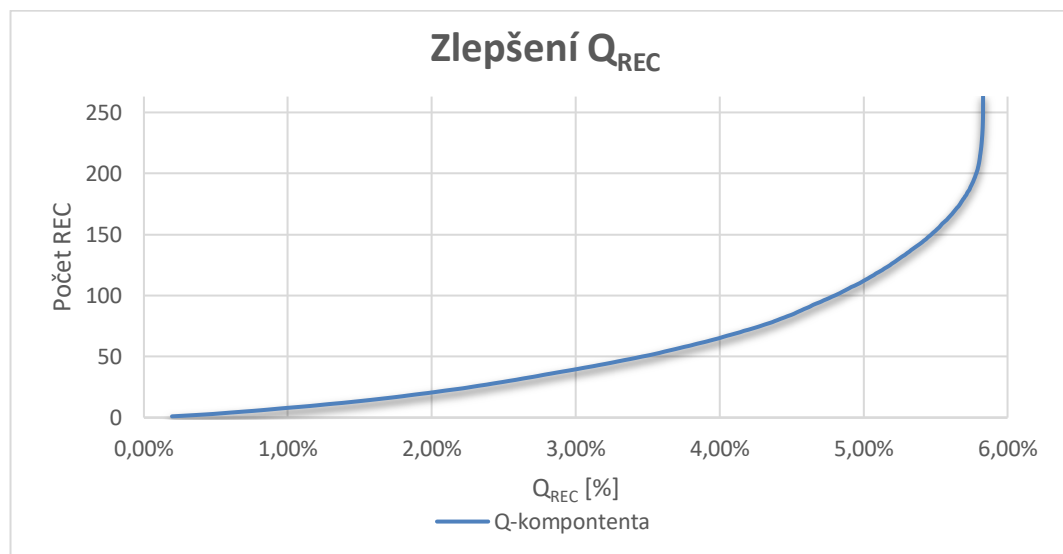
Z těchto výpočtu bylo možné zhodnotit procentní příspěvek  $Q_{REC}$  pro jednotlivé vývody VN v oblasti Západ. Linky s největším procentním přírůstkem  $Q_{REC}$  jsou zobrazeny v Tabulce

## 6.2.

Tabulka 6.2 Ukázka nejvhodnějších linek pro instalaci jednoho REC podle Q-souboru

Informace o vývodu				Zlepšení - Recloser		
Správa RS	Rozvodna	Zkratka Rozvodny	Vývod VN	$\Delta$ SAIDI [min/OM/rok]	$\Delta$ SAIFI [počet/OM/rok]	$Q_{REC}$ [%]
				14	30	
Jindřichův Hradec	Humpolec	HUM	Rápotice (hum)	0,096	0,001	0,19%
České Budějovice	Lipno	ELI	Frymburk (eli)	0,053	0,001	0,15%
České Budějovice	Větřní	VET	Planá (vet)	0,042	0,001	0,14%
České Budějovice	Větřní	VET	Olšina (vet)	0,040	0,001	0,11%
Písek	Mirovice	MRC	Milevsko (mrc)	0,041	0,001	0,11%

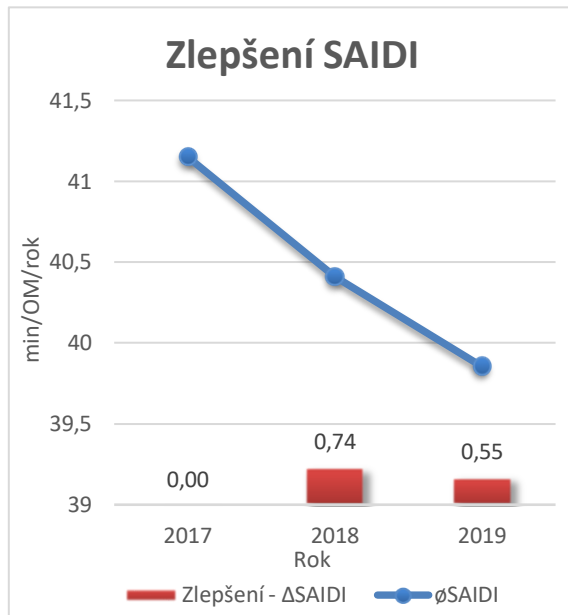
Na Obr. 6.7 je graf znázorňující závislost  $Q_{REC}$  na počtu instalovaných recloserů. Z grafu je patrné, že instalace REC na všechny linky VN v oblasti Západ (263 linek VN) není zcela efektivní. Při určitém počtu instalovaných REC dochází ke stagnaci zvyšování křivky. V první řadě bylo tedy nutné určit počet linek, které budou osazeny jedním REC. Jako hraniční hodnotu  $Q_{REC}$  jsem zvolil velikost zlepšení 0,04% a lepší. Tomuto rozhodnutí odpovídalo v Q – Souboru 50 linek VN v oblasti Západ.



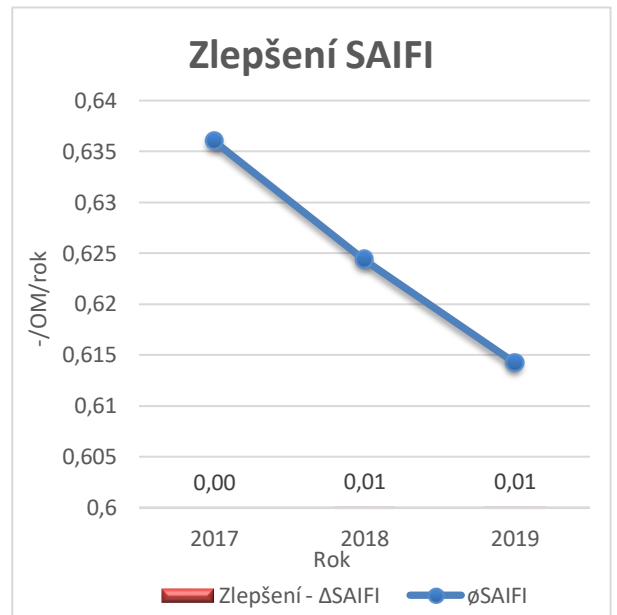
Obr. 6.7 Očekávaný přínos nasazování REC



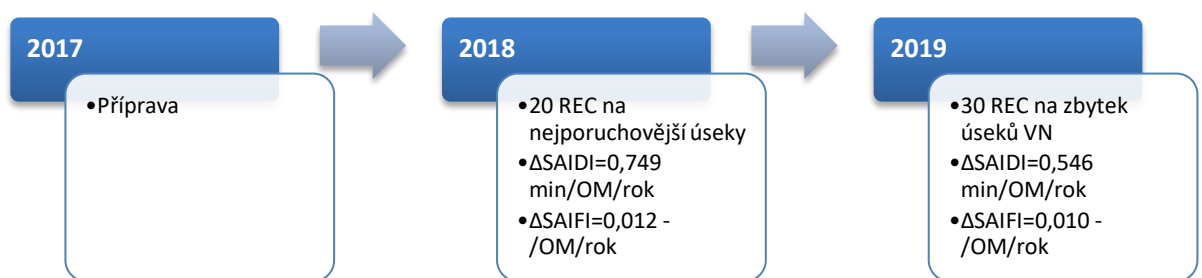
Osazování linek VN v oblasti západ jsem rozdělil do tří let. V prvním roce docházelo k celkovým přípravám, k výpočtům a výběru linek pro osazení REC. Ve druhém a třetím roce by mělo dojít k osazení samotných REC na vybrané linky VN. Ve druhém roce, tedy v roce 2018, dojde k osazení nejporuchovějších linek VN. Celkově toto číslo činí 20 instalovaných REC. V roce 2019 by se měla provést instalace do zbývajících linek VN, přesněji do 30 linek VN. Zlepšení ukazatelů  $\Delta$ SAIDI a  $\Delta$ SAIFI je znázorněno na Obr. 6.8 a Obr. 6.9.



Obr. 6.8 Zlepšení ukazatele SAIDI



Obr. 6.9 Zlepšení ukazatele SAIFI

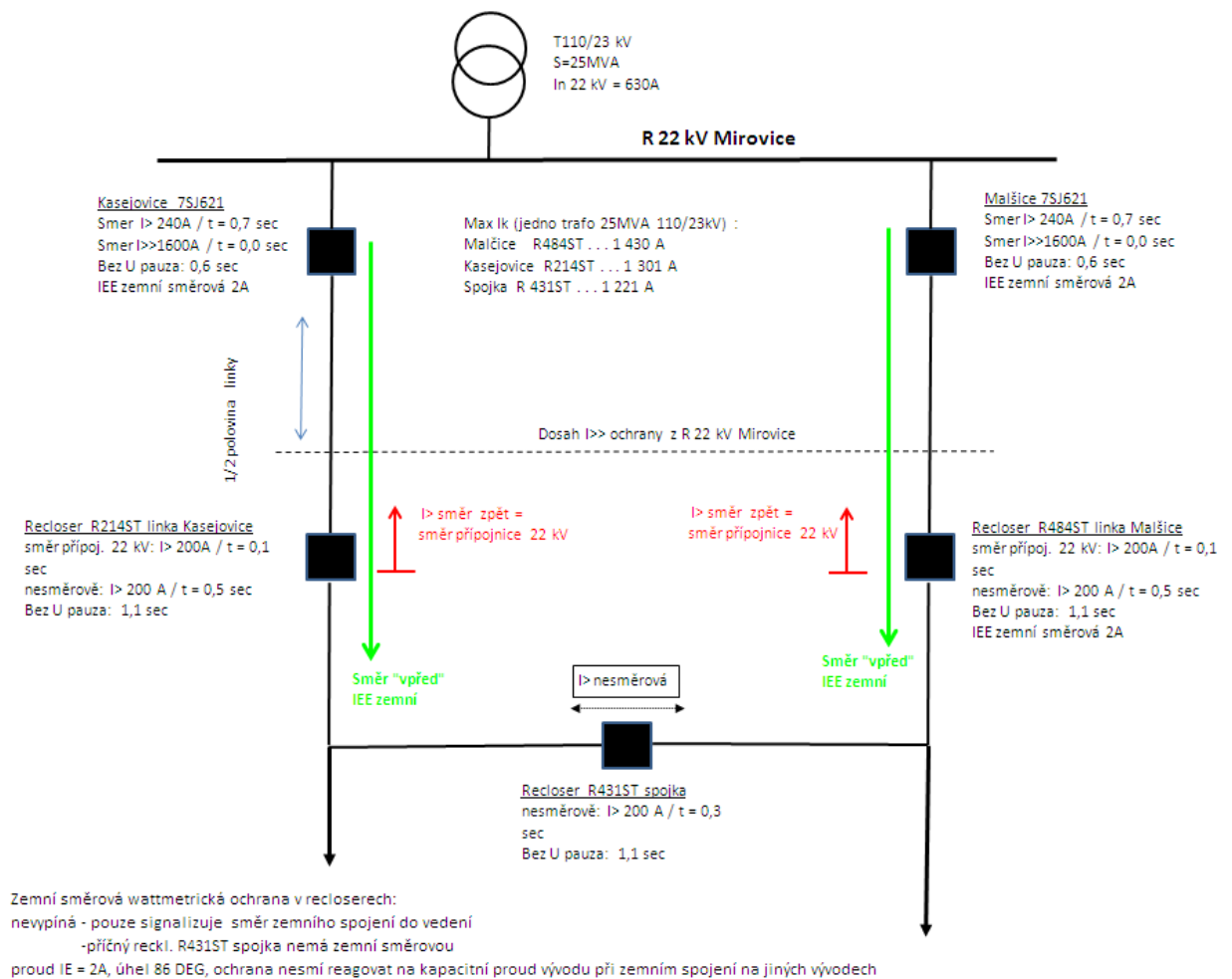


Obr. 6.10 Strategie nasazování REC v oblasti Západ

### 6.3.2 Etapa č. 2 - 1,5 Recloser

Druhá etapa osazování spočívá ve využití recloserů jako hraničních prvků mezi linkami VN, které již byly osazeny reclosery v první etapě. Tímto krokem lze dosáhnout vzájemné komunikaci mezi instalovanými reclosery, které jsou schopné vymanipulovat určitý poruchový úsek vývodu bez zásahu dispečera. Princip funkce recloseru jako hraničního prvku je zobrazen

na Obr. 6.11. Příklad tohoto využití byl použit v pilotním projektu „Automatizace sítí VN s využitím prvku RECLOSER“ mezi linkami Malčice a Kasejovice. Tyto reclosery byly instalovány na místa, které byly dříve osazeny DOÚ. Recloser R431ST slouží jako spojovací člen pro paralelní provoz. Díky tomuto principu je možné provozovat síť jako kruhovou, nikoliv jako paprskovou. Mění se tak i parametry této sítě. Při paprskovém provozu disponuje síť menším zkratovým výkonem a nižšími požadavky na síťové prvky. Paralelní provoz má oproti paprskovému provozu vyšší spolehlivost, vyšší zkratový výkon a automatickou funkci ochrany.



Obr. 6.11 Nastavení a parametry recloserů (převzato z: [26])

### Výpočet zlepšení $\Delta SAIDI_{1,5REC}$

$$\Delta SAIDI_{1,5REC} = \emptyset SAIDI * \frac{\text{Zlepšení SAIDI pro 2REC (36\%)}}{100} \quad (6.13)$$

Výpočet zlepšení  $\Delta SAIFI_{1,5REC}$ 

$$\Delta SAIFI_{1,5REC} = \varnothing SAIFI * \frac{\text{Zlepšení SAIFI pro 2REC (51\%)}}{100} \quad (6.14)$$

Výpočet celkového procentního přírůstku  $Q_{1,5REC}$ 

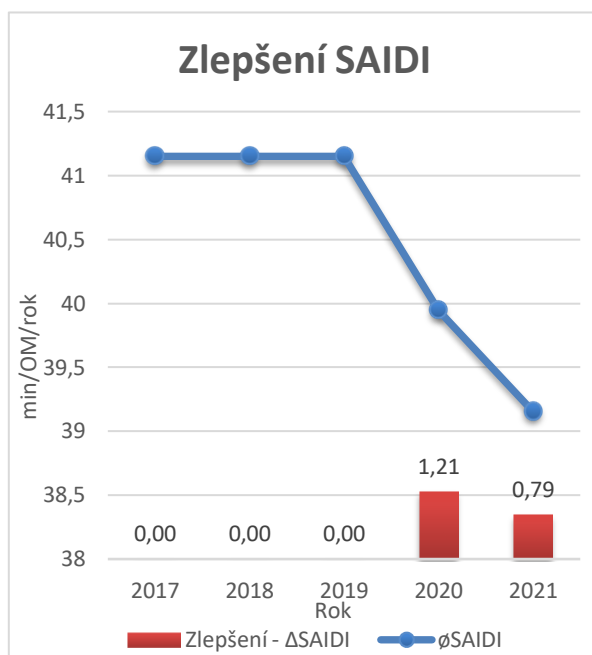
$$Q_{1,5REC} = \frac{\frac{\Delta SAIDI_{1,5REC}}{SAIDI_{ref\_VN}} + \frac{\Delta SAIFI_{1,5REC}}{SAIFI_{ref\_VN}}}{2} \quad (6.15)$$

Z výpočtu 6.13, 6.14 a 6.15 bylo možné zhodnotit procentní příspěvek  $Q_{1,5REC}$  pro jednotlivé vývody VN v oblasti Západ. Linky s největším procentním přírůstkem  $Q_{1,5REC}$  jsou zobrazeny v Tabulce 6.3.

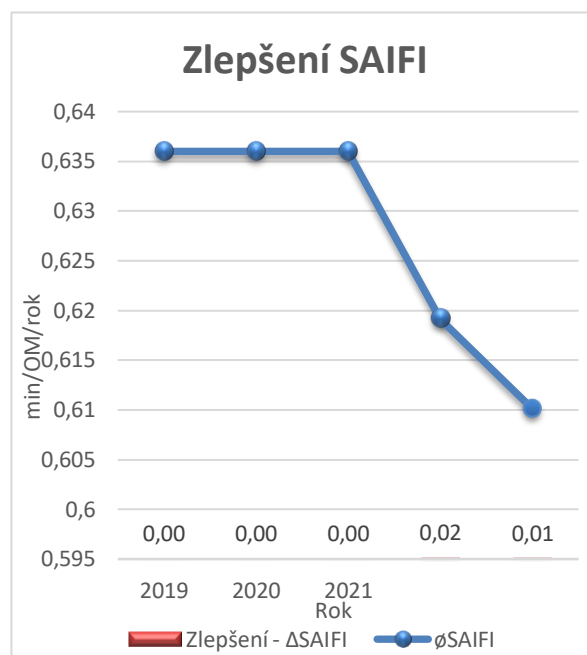
Tabulka 6.3 Ukázka nejvhodnějších linek pro instalaci 1,5 REC podle Q-souboru

Informace o vývodu				Zlepšení - 1,5 Recloser		
Správa RS	Rozvodna	Zkratka Rozvodny	Vývod VN	$\Delta SAIDI$ [min/OM/rok]	$\Delta SAIFI$ [počet/OM/rok]	$Q_{REC}$ [%]
				36	51	
Jindřichův Hradec	Humpolec	HUM	Rápotice (hum)	0,246	0,002	0,43%
České Budějovice	Lipno	ELI	Frymburk (eli)	0,137	0,002	0,32%
České Budějovice	Větřní	VET	Planá (vet)	0,108	0,002	0,28%
České Budějovice	Větřní	VET	Olšina (vet)	0,102	0,001	0,23%
Písek	Mirovice	MRC	Milevsko (mrc)	0,106	0,001	0,23%

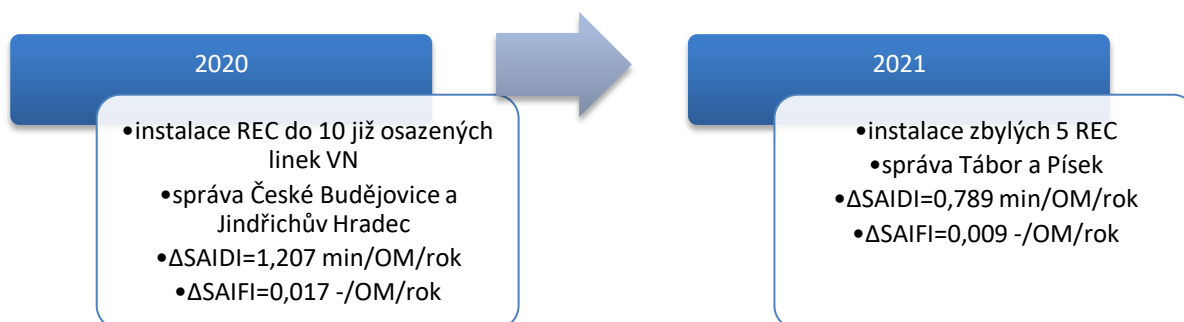
Počet recloserů instalovaných do již osazených linek VN je maximálně 25. Je zřejmé, že princip 1,5REC na jeden vývod VN nelze aplikovat na všechny již osazené linky VN v oblasti Západ. Proto jsem pomocí dispečerských schémat získaných od společnosti E.ON hledal linky VN, které spolu sousedí, a tudíž by na nich mohl být teoreticky použit REC jako hraniční prvek. Po analýze dispečerských schémat jsem došel k závěru, že je možné osadit 15 linek VN hraničním recloserem. Linky VN, které je možné takto osadit, jsou znázorněny v Q – Souboru v sekci *Návrh vybraného opatření*. Etapu jsem rozdělil do dvou let, kdy v prvním roce budou osazeny linky spadající pod správu České Budějovice a Jindřichův Hradec, ve druhém roce budou osazeny linky spadající pod správu Tábor a Písek. Zlepšení ukazatelů  $\Delta SAIDI$  a  $\Delta SAIFI$  je znázorněno na *Obr. 6.12* a *Obr. 6.13*.



Obr. 6.13 Snižování SAIDI při využití 1,5 REC



Obr. 6.12 Snižování SAIFI při využití 1,5 REC

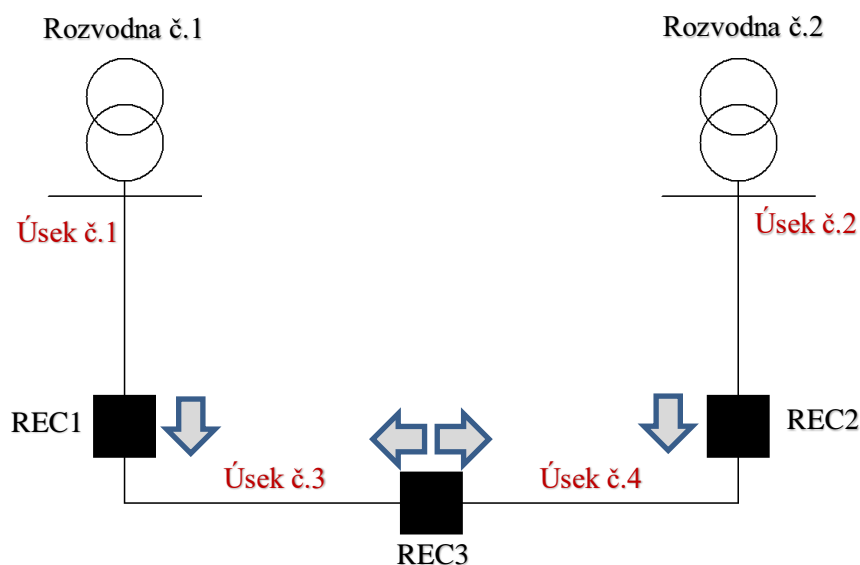


Obr. 6.14 Strategie při nasazování 1,5 REC

### 6.3.3 Etapa č.3 - Kabelizace lesních průseků a výměna izolátorů VN

Strategii nasazení opatření „Kabelizace“ a „Výměna izolátorů VN“ lze rozdělit do dvou variant. První varianta slouží k odstranění zbytkového SAIDI a SAIFI u linek VN, které již byly osazeny recloserem. Příklad využití kabelizace či výměny izolátoru u této varianty je zobrazen na Obr. 6.15. Úseky č. 3 a č. 4 jsou již v této fázi kontrolovány REC1, 2 a 3. Úseky č. 1 a č. 2 mají však potenciál pro další zlepšování spolehlivosti a to pomocí investičních opatření kabelizace a výměna izolátorů VN. Tato varianta má pro kabelizaci dodatečný přínos SAIDI, SAIFI ve výši 20% z poruch typu „dřevina“ a pro výměnu izolátorů VN dodatečný přínos SAIDI, SAIFI ve výši 10% z poruch typu „prasklý izolátor“. Druhá varianta spočívá v kabelizaci lesních průseků či výměny izolátorů VN na linkách, které nebyly osazeny recloserem. V tomto případě dojde k 100% redukci poruch typu „dřevina“ a k 100% redukci poruch typu „prasklý izolátor“. Obě varianty jsou z hlediska příprav, projednání a investičních

nákladů podstatně náročnější než opatření v první a druhé etapě. V roce 2020 by měla teoreticky proběhnout kabelizace a výměna izolátorů na vybraných vývodech VN. Tento účinek se však projeví až v roce následujícím, tedy v roce 2021. To je dobře patrné na *Obr. 6.16 a 6.17*.



*Obr. 6.15 Úseky vhodné pro kabelizaci a výměnu izolátorů VN*

V první řadě bylo nutné zjistit potenciál pro kabelizaci na jednotlivých vývodech VN:

#### Výpočet zlepšení $\Delta SAIDI_{KAB}$

$$\Delta SAIDI_{KAB} = \varnothing SAIDI * \frac{\text{Počet poruch typu DŘEVINA}}{\text{Celkový počet poruch}} \quad (6.16)$$

#### Výpočet zlepšení $\Delta SAIFI_{KAB}$

$$\Delta SAIFI_{KAB} = \varnothing SAIFI * \frac{\text{Počet poruch typu DŘEVINA}}{\text{Celkový počet poruch}} \quad (6.17)$$

#### Výpočet celkového procentního přírůstku $Q_{KAB}$

$$Q_{KAB} = \frac{\frac{\Delta SAIDI_{KAB}}{SAIDI_{ref}} + \frac{\Delta SAIFI_{KAB}}{SAIFI_{ref}}}{2} \quad (6.18)$$

**Tabulka 6.4 Ukázka vývodů s největším potenciálem pro kabelizaci**

Informace o vývodu				Zlepšení - Kabelizace		
Správa RS	Rozvodna	Zkratka Rozvodny	Vývod VN	$\Delta SAIDI$ [min/OM/rok]	$\Delta SAIFI$ [počet/OM/rok]	$Q_{KAB}$ [%]
Písek	Písek	PIS	Putim (pis)	0,092	0,001	0,15%
České Budějovice	Lipnice	LIP	Chlum (lip)	0,065	0,001	0,14%
Tábor	Bechyně	BEX	Staňkov (bex)	0,064	0,001	0,13%
Písek	Mirovice	MRC	Milevsko (mrc)	0,062	0,001	0,12%
Písek	Prachatice	PRA	Smědeč (pra)	0,065	0,000	0,11%
Tábor	Bechyně	BEX	Malšice (bex)	0,053	0,001	0,10%

Investičnímu opatření „Kabelizace lesních průseků“ odpovídá podle Q – Souboru 6 linek VN v oblasti Západ. Zda je linka vhodná pro kabelizaci či nikoliv jsem rozhodl ze dvou podmínek, které musela linka splnit. První podmínka spočívala ve velikosti procentního přírůstku  $Q_{KAB}$ . Pokud byl procentní přírůstek menší než 10%, linka nebyla vhodná pro kabelizaci. Druhá podmínka spočívala v porovnání  $Q_{KAB}$  a  $Q_{IZOL}$ . Podmínka byla splněna pokud  $Q_{KAB}$  bylo větší nebo rovno než  $Q_{IZOL}$ . Příklady vhodných linek VN pro kabelizaci jsou zobrazeny v *Tabulce 6.5*.

**Tabulka 6.5 Vhodné linky VN pro kabelizaci podle Q - souboru**

Informace o vývodu				raného opatření
Správa RS	Rozvodna	Zkratka Rozvodny	Vývod VN	Kabelizace
Písek	Písek	PIS	Putim (pis)	Vhodné pro kabelizaci
České Budějovice	Lipnice	LIP	Chlum (lip)	Vhodné pro kabelizaci
Tábor	Bechyně	BEX	Staňkov (bex)	Vhodné pro kabelizaci
Písek	Mirovice	MRC	Milevsko (mrc)	Vhodné pro kabelizaci
Písek	Prachatice	PRA	Smědeč (pra)	
Tábor	Bechyně	BEX	Malšice (bex)	Vhodné pro kabelizaci
Písek	Prachatice	PRA	Husinec (pra)	Vhodné pro kabelizaci

Dále bylo nutné zjistit potenciál pro výměnu izolátorů na jednotlivých vývodech VN:

**Výpočet zlepšení  $\Delta SAIDI_{IZOL}$**

$$\Delta SAIDI_{IZOL} = \varnothing SAIDI * \frac{\text{Počet poruch typu IZOLÁTOR VN, KONZOLE}}{\text{Celkový počet poruch}} \quad (6.19)$$

Výpočet zlepšení  $\Delta SAIFI_{IZOL}$ 

$$\Delta SAIFI_{IZOL} = \varnothing SAIFI * \frac{\text{Počet poruch typu IZOLÁTOR VN, KONZOLE}}{\text{Celkový počet poruch}} \quad (6.20)$$

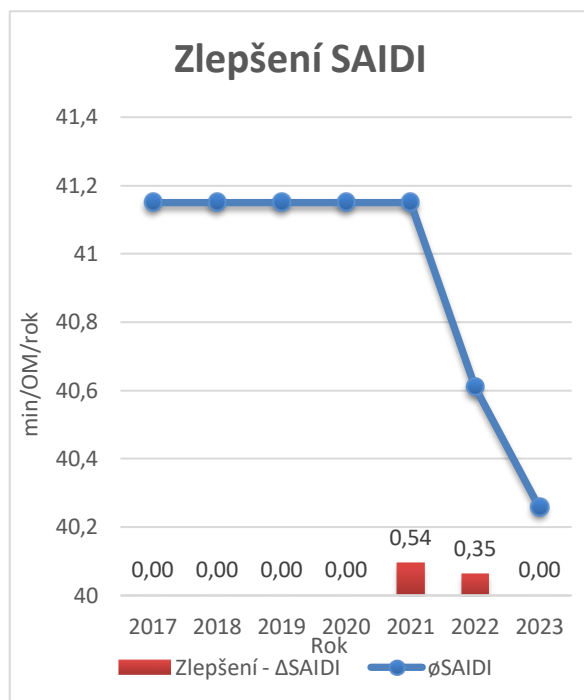
Výpočet celkového procentního přírůstku  $Q_{IZOL}$ 

$$Q_{IZOL} = \frac{\frac{\Delta SAIDI_{IZOL}}{SAIDI_{ref}} + \frac{\Delta SAIFI_{IZOL}}{SAIFI_{ref}}}{2} \quad (6.21)$$

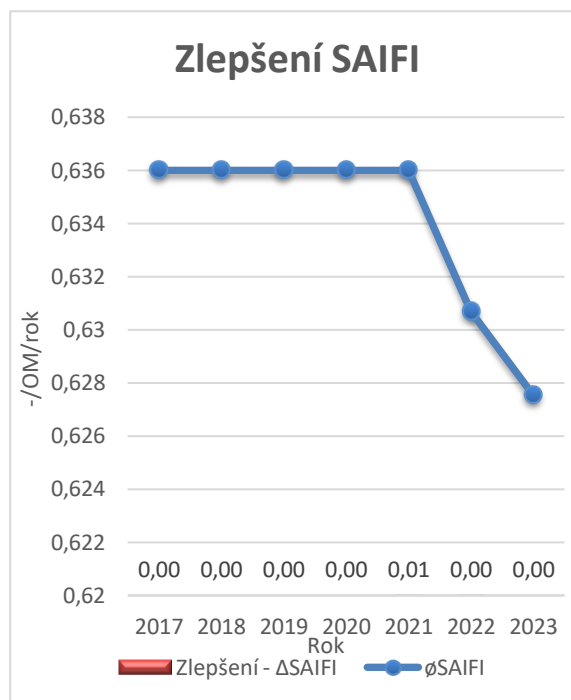
Tabulka 6.6 Vhodné linky VN pro výměnu izolátorů

Informace o vývodu				Zlepšení - Izolátory VN		
Správa RS	Rozvodna	Zkratka Rozvodny	Vývod VN	$\Delta SAIDI$ [min/OM/rok]	$\Delta SAIFI$ [počet/OM/rok]	$Q_{IZOL}$ [%]
Jindřichův Hradec	Humpolec	HUM	Rápotice (hum)	0,456	0,002	0,73%
České Budějovice	Lipno	ELI	Frymburk (eli)	0,308	0,003	0,61%
České Budějovice	Větrní	VET	Planá (vet)	0,204	0,002	0,44%
České Budějovice	Větrní	VET	Olšina (vet)	0,205	0,002	0,40%
Tábor	Bechyně	BEX	Sepekov (bex)	0,150	0,002	0,34%

Investičnímu opatření „Výměna izolátorů VN“ odpovídá podle Q – Souboru 36 linek VN v oblasti Západ. Opět bylo nutné splnit dvě podmínky. Procentní přírůstek  $Q_{IZOL}$  musel být větší než 10% a  $Q_{IZOL}$  musel být větší než  $Q_{KAB}$  pro jednotlivé linky VN. Na následujícím Obr. 6.16 a 6.17 jsou znázorněny průběhy sumárních průměrných ročních hodnot  $\varnothing SAIDI$ ,  $\varnothing SAIFI$  (spojitý graf) a průměrné roční příspěvky  $\Delta SAIDI$ ,  $\Delta SAIFI$  (sloupcový graf) při použití opatření kabelizace a výměna izolátorů VN.

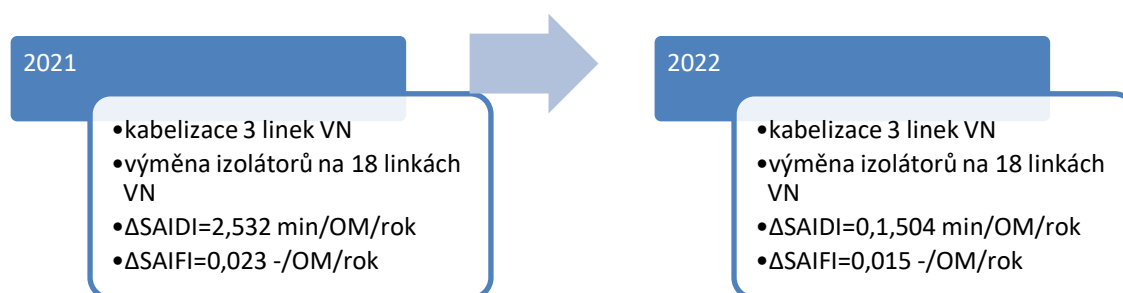


Obr. 6.17 Snižování SAIDI při využití kabelizace a výměny izolátorů VN



Obr. 6.16 Snižování SAIFI při využití kabelizace a výměny izolátorů VN

Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly, tato opatření jsou časově náročná jak na přípravu, tak na samotnou výstavbu. Proto by v této etapě měla být dle mého návrhu snaha o rovnoměrné rozdělení těchto investičních opatření mezi jednotlivé správy RS. V Q – Souboru bylo proto s tímto teoretickým požadavkem počítáno. Strategie kabelizace a výměny VN izolátorů i se zlepšením  $\Delta$ SAIDI a  $\Delta$ SAIFI je znázorněna na Obr.

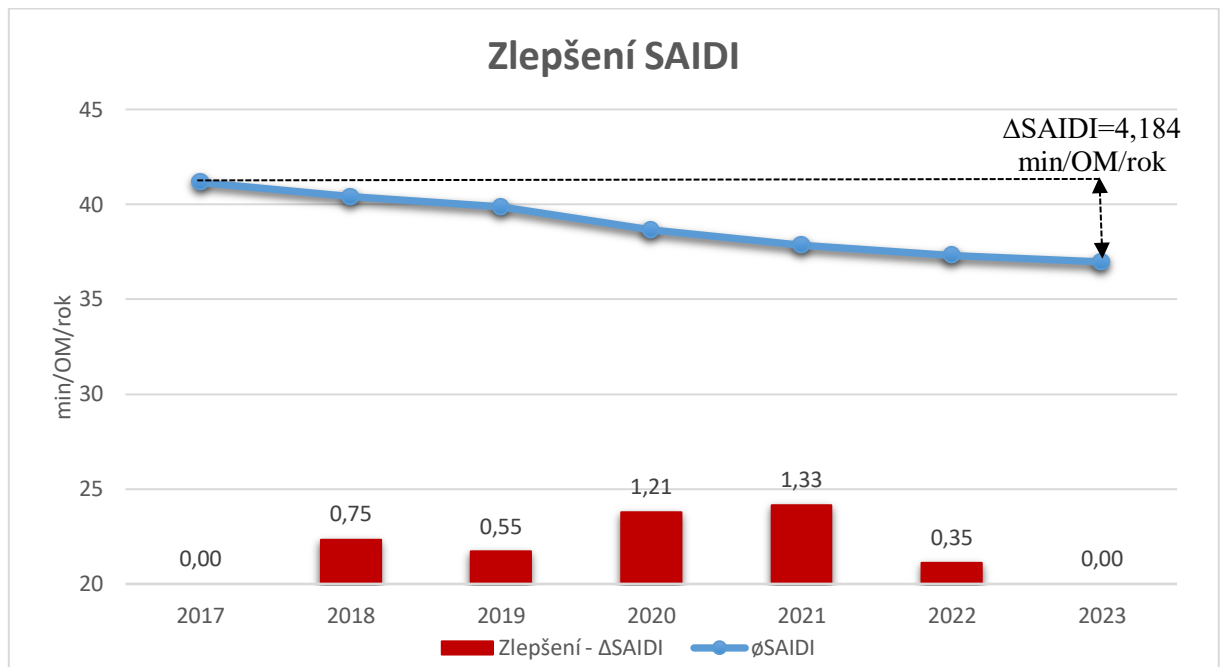


Obr. 6.18 Strategie pro kabelizaci a výměnu izolátorů VN

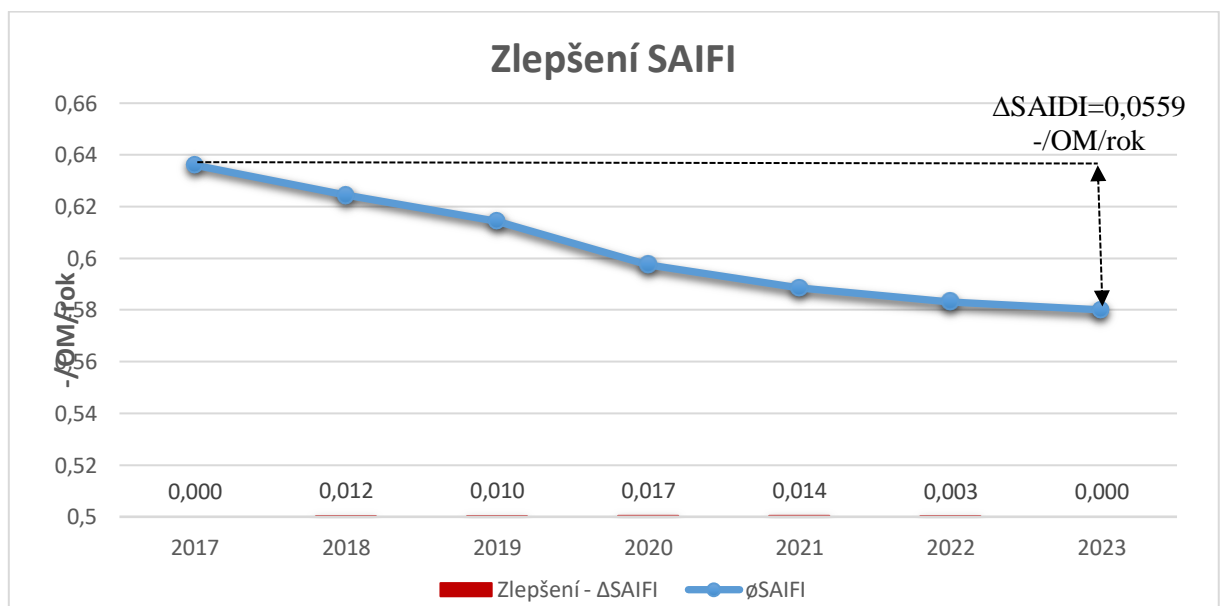
### 6.3.4 Shrnutí

Následující obrázky (Obr. 6.19 a 6.20) znázorňují průběhy spolehlivostních ukazatelů od roku 2017 až do roku 2023 za použití všech investičních opatření, které byly počítány v předchozích kapitolách, tedy etapa č. 1, č. 2 a č. 3.





Obr. 6.19 Snižování SAIDI (REC, 1.5 REC, kabelizace, výměna izolátorů VN)



Obr. 6.20 Snižování SAIFI (REC, 1.5 REC, kabelizace, výměna izolátorů VN)

- Celkový přínos SAIDI - 4,184 min/OM/rok
- Celkový přínos SAIFI - 0,0559 -/OM/rok

## 7 Zhodnocení náročnosti Q-komponenty

V této kapitole je zhodnocena náročnost dosažení úrovně Q – komponenty regulačního vzorce dle požadavků ERÚ. Společnou hodnotou pro všechna opatření jsou hrubé investiční náklady. Ke každému opatření byla tedy přiřazena hodnota hrubých investičních nákladů. Hrubé investiční náklady jsou odhadované investiční náklady na instalaci jednoho prvku a jsou v nich zahrnuté různé položky, které se vyskytují až v projektových dokumentacích. Provozní náklady nebyly v této diplomové práci uvažovány. Hodnoty hrubých investičních nákladů byly získány od společnosti E.ON a jsou zobrazeny v Tabulce 7.1.

**Tabulka 7.1 Hrubé investiční náklady**

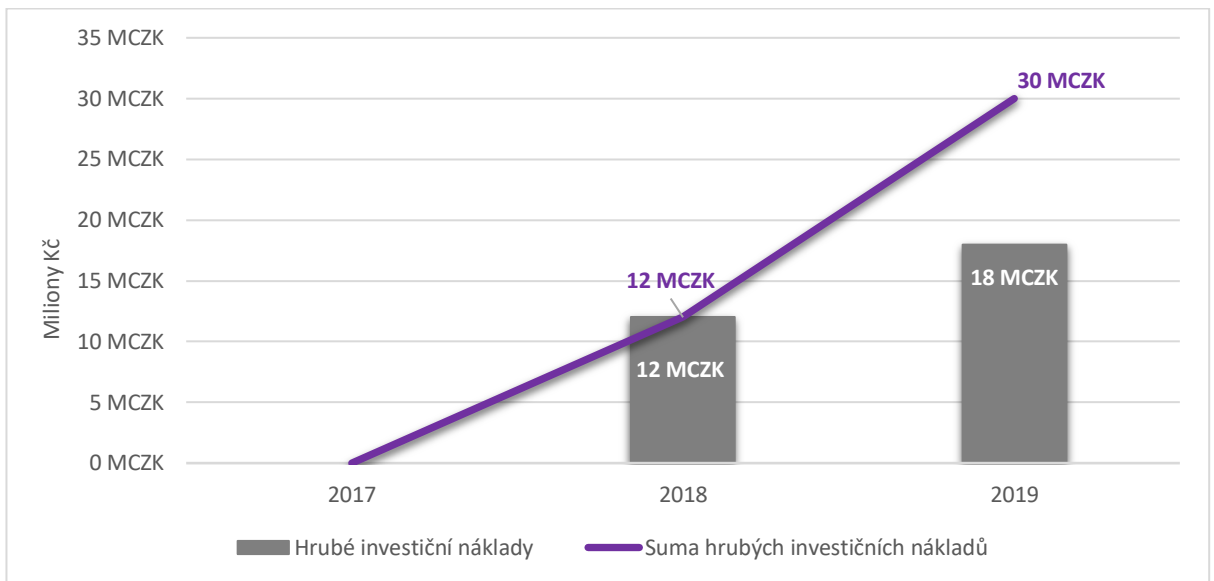
Opatření	Činnosti spjaté s opatřením	Hrubé investiční náklady
Recloser	Instalace	600 000 Kč
	Úpravy sítě	
	Zprovoznění (signály, SCADA, oživení)	
Kabelizace	Demontáž venkovního vedení	1 200 000 Kč
	Výkopové práce	
	Kabel	
Přeizolace	Výměna izolátorů VN na celém vývodu	400 000 Kč

V následujících kapitolách jsou zobrazeny grafy pro jednotlivé etapy. Grafy znázorňují sumu hrubých investičních nákladů pro jednotlivé etapy, dále pak závislost zlepšení SAIDI a SAIFI na velikosti hrubých investičních nákladů.

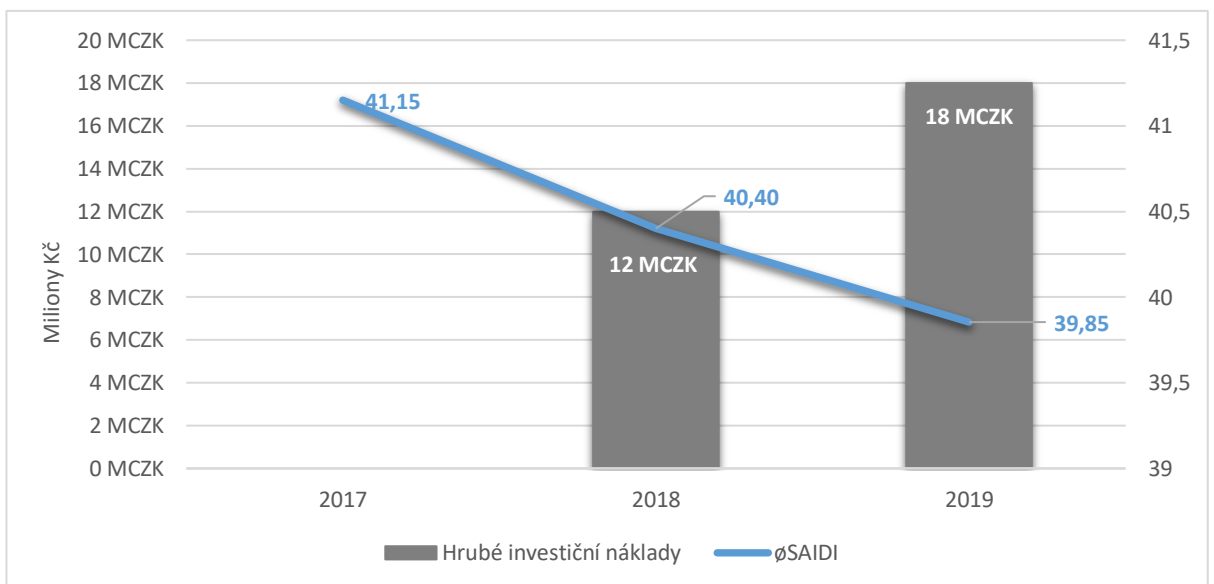
### 7.1.1 Etapa č. 1

V první etapě je odhadována instalace 50 recloserů v oblasti Západ. Samotná instalace začne v roce 2017, kdy by mělo být instalováno 20 REC s celkovými investičními náklady 12 milionů Kč. V dalším roce bude instalováno zbylých 30 REC s celkovými investičními náklady 18 milionů Kč. Celkové investiční náklady pro etapu č. 1 činí tedy 30 milionů Kč.

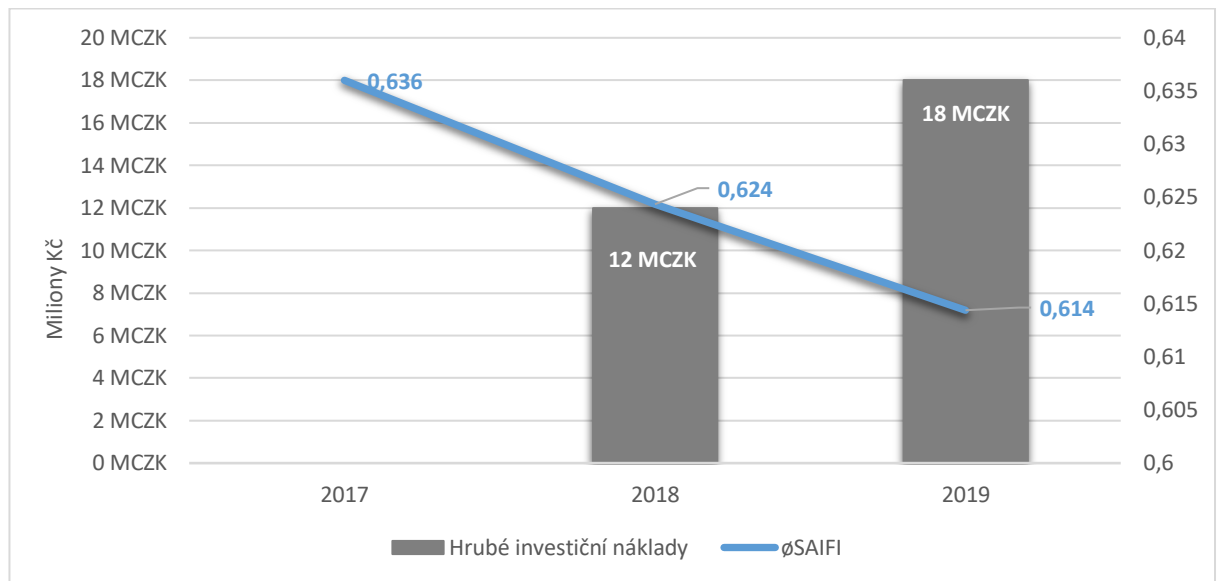
- Přínos SAIDI - 1,295 min/OM/rok
- Přínos SAIFI - 0,0216 -/OM/rok



Obr. 7.1 Hrubé investiční náklady etapa č. 1



Obr. 7.2 Přínos SAIDI v závislosti na hrubých investičních nákladech – etapa č. 1

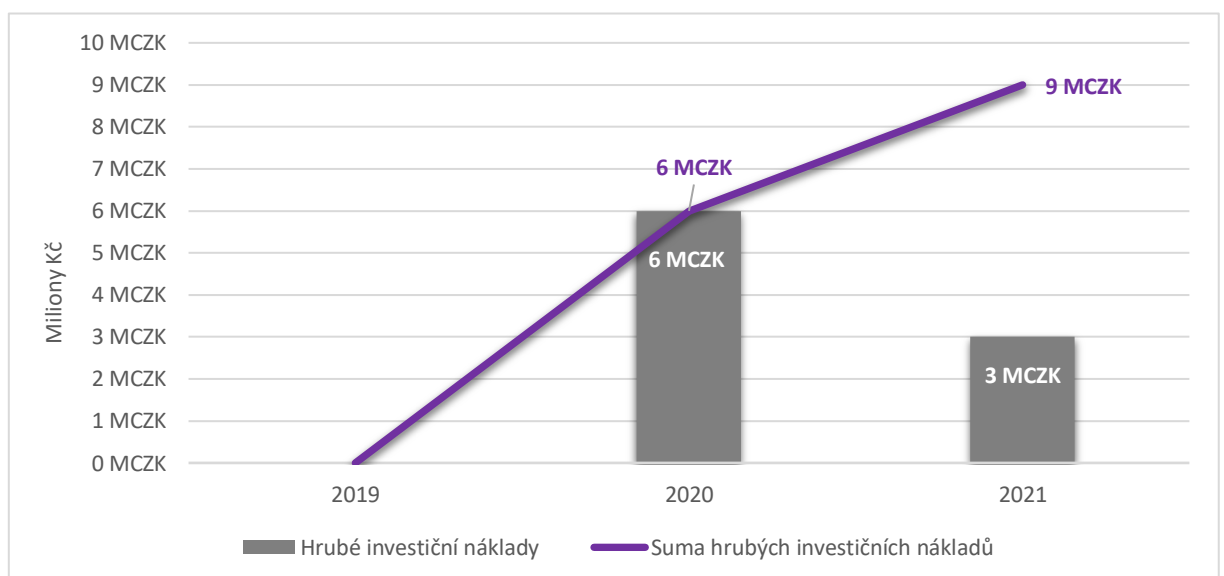


Obr. 7.3 Přínos SAIFI v závislosti na hrubých investičních nákladech – etapa č. 1

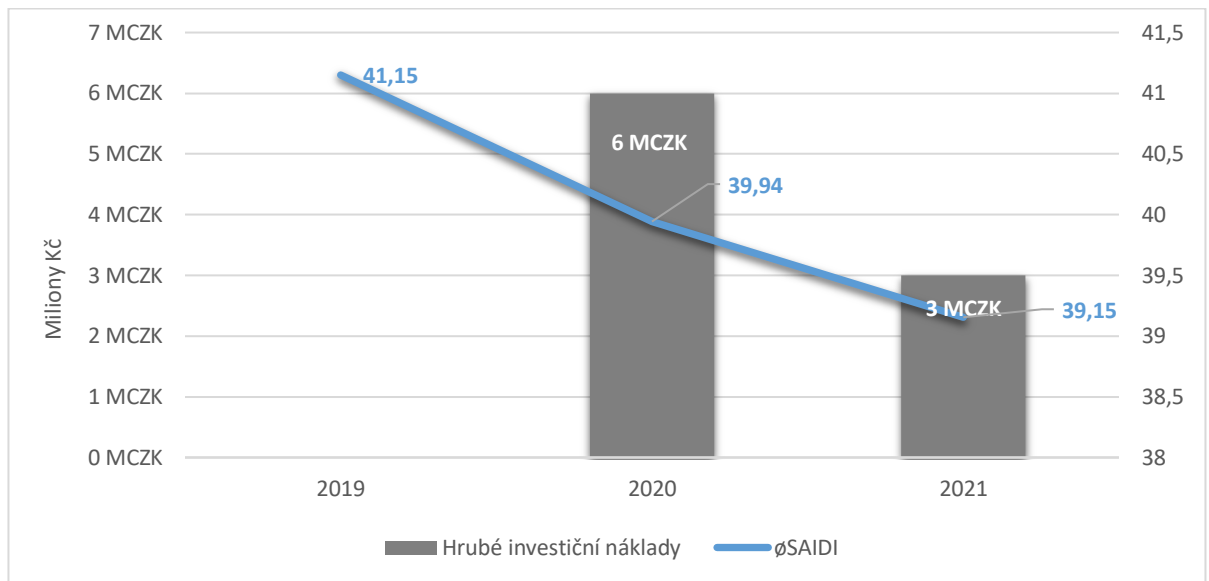
### 7.1.2 Etapa č. 2

Tato etapa spočívala v instalaci recloserů jako hraničních prvků na již osazené linky VN, tzv. 1,5 REC. Instalace REC by měla začít v roce 2020, kdy by mělo být instalováno 10 REC mezi 20 linek VN s investičními náklady 6 milionu Kč. V dalším roce by mělo být instalováno zbylých 5 REC s investičními náklady 3 miliony Kč. Celkové investiční náklady pro etapu č. 2 tedy činí 9 milionu Kč.

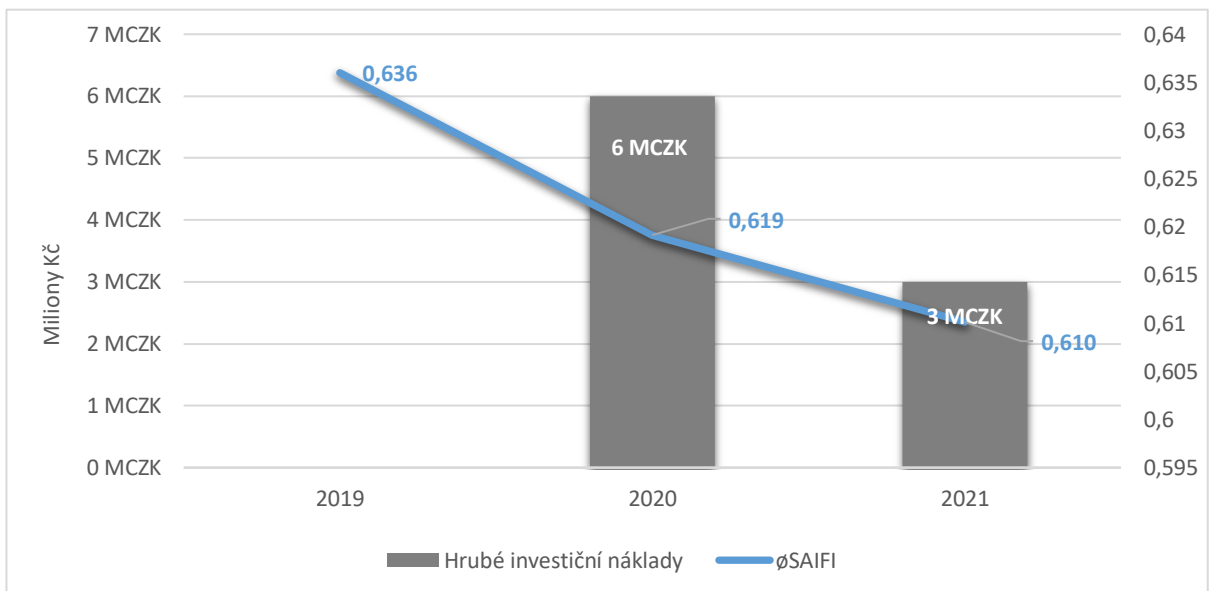
- Přínos SAIDI - 1,995 min/OM/rok
- Přínos SAIFI - 0,0259 -/OM/rok



Obr. 7.4 Hrubé investiční náklady - etapa č. 2



Obr. 7.5 Přínos SAIDI v závislosti na hrubých investičních nákladech – etapa č. 2

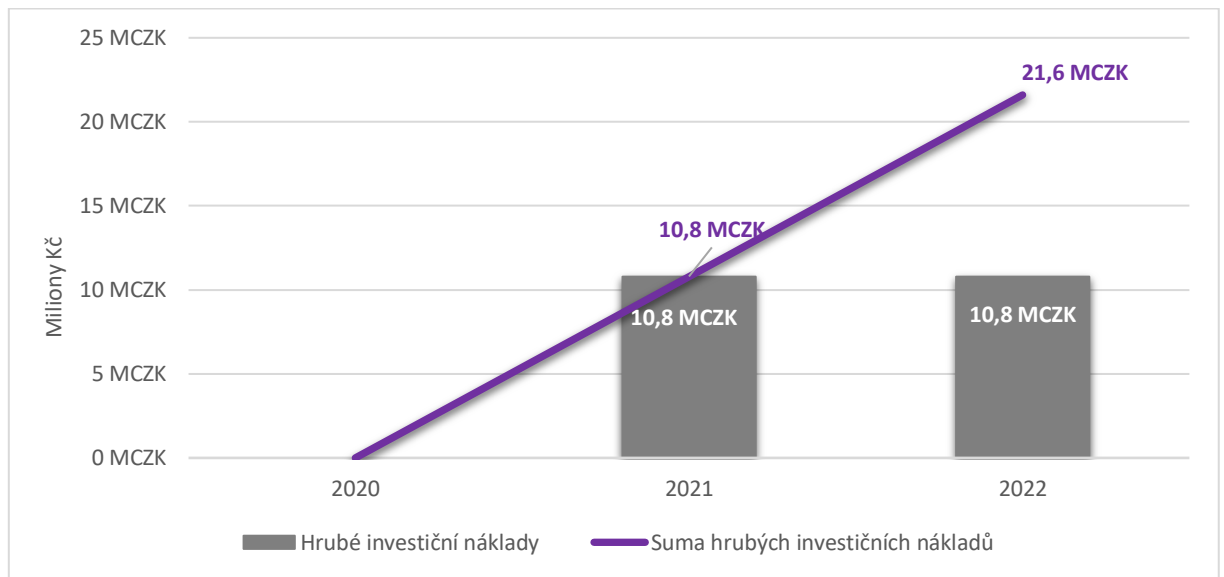


Obr. 7.6 Přínos SAIFI v závislosti na hrubých investičních nákladech – etapa č. 2

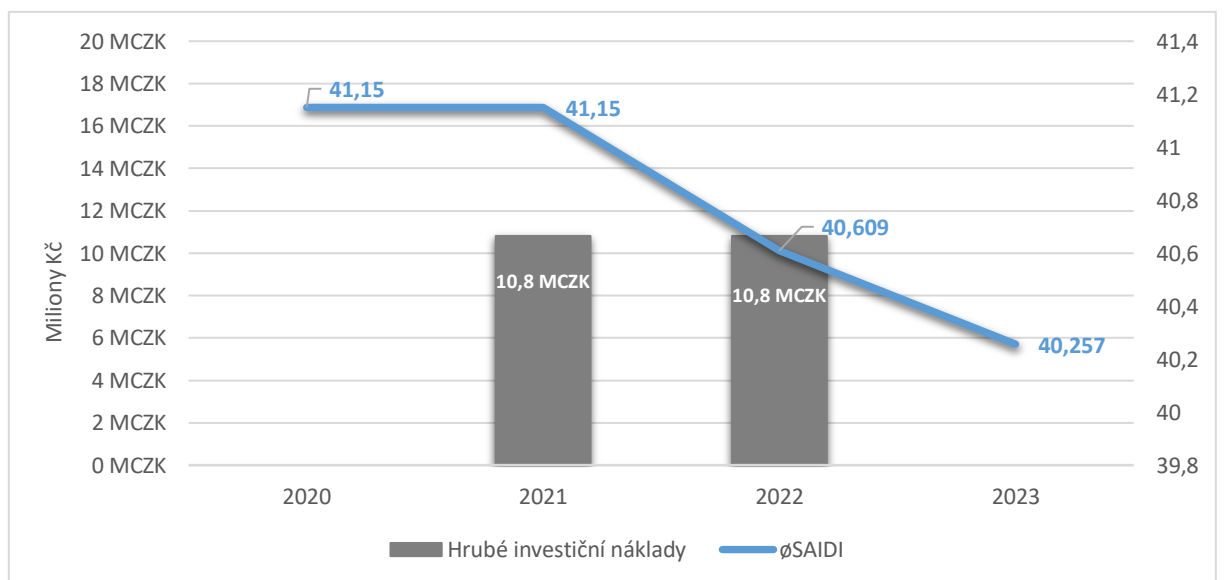
### 7.1.3 Etapa č. 3

Třetí etapa slouží k odstranění zbytkového SAIDI a SAIFI obnovou průseků mezi rozvodnou a REC. Etapa zohledňovala využití kabelizace venkovního vedení a výměnu izolátorů VN. Akce provedené v roce 2020 se projeví až v roce 2021. Investiční náklady v roce 2021 a 2022 činí 10,8 milionu. Celková suma investičních nákladů tedy činí 21,6 milionu Kč.

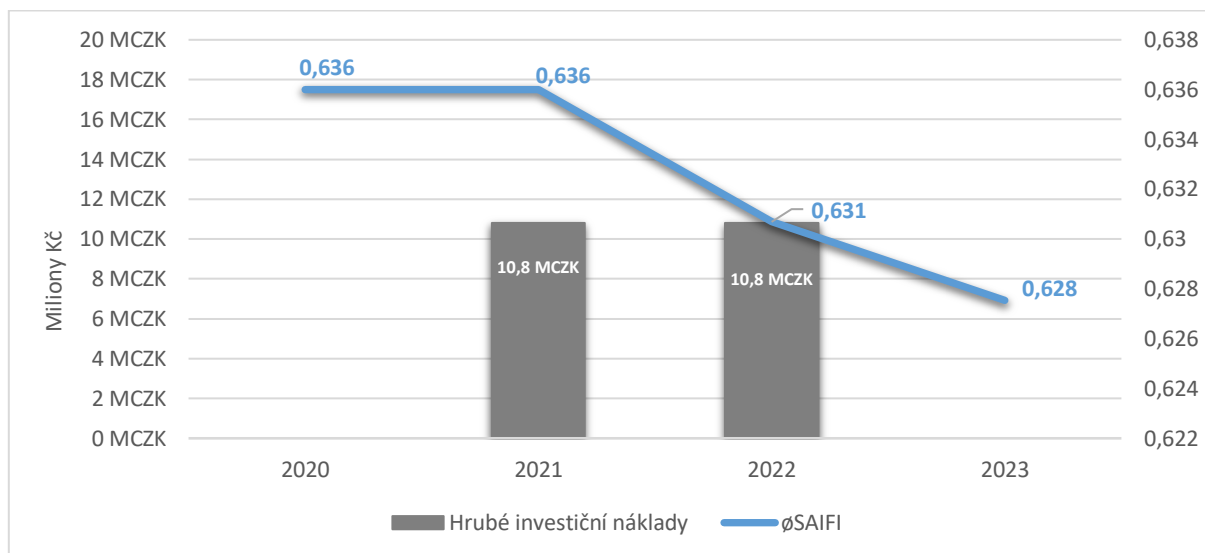
- Přínos SAIDI – 0,893 min/OM/rok
- Přínos SAIFI - 0,0085 -/OM/rok



Obr. 7.7 Hrubé investiční náklady etapa č. 3



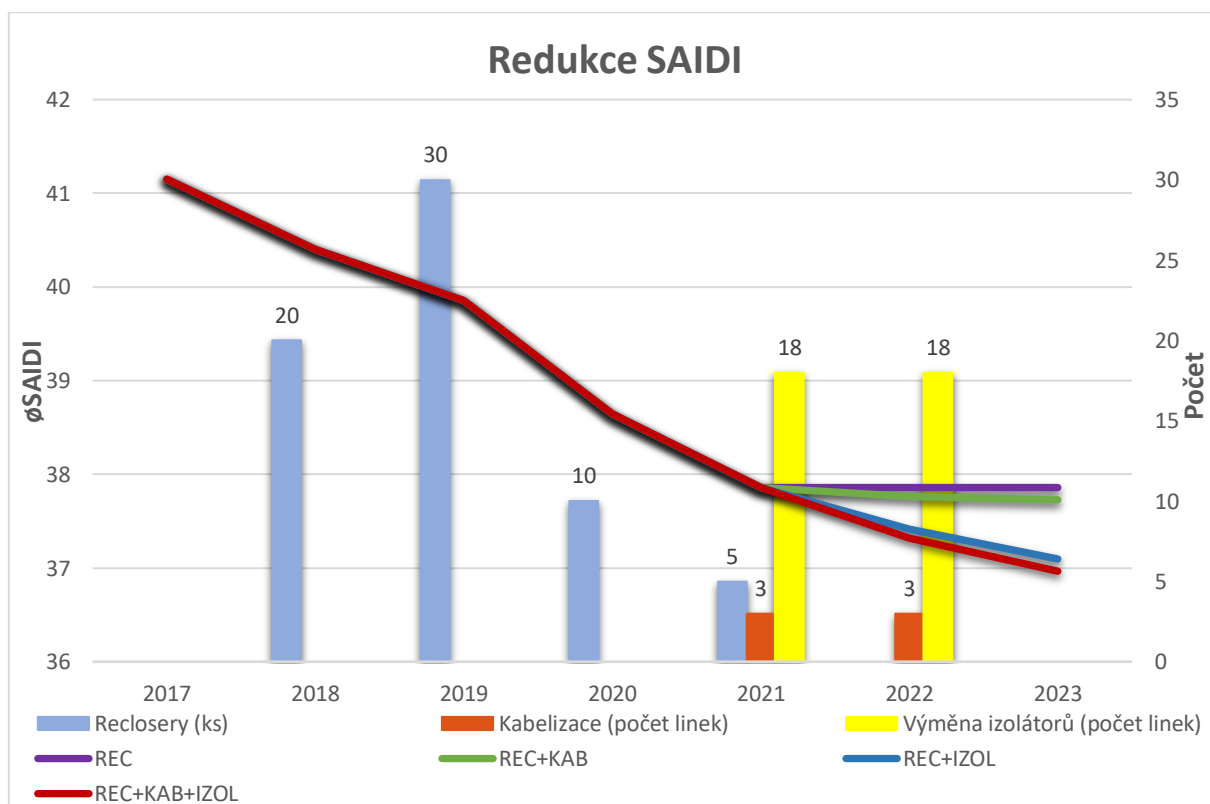
Obr. 7.8 Přínos SAIDI v závislosti na hrubých investičních nákladech – etapa č. 3



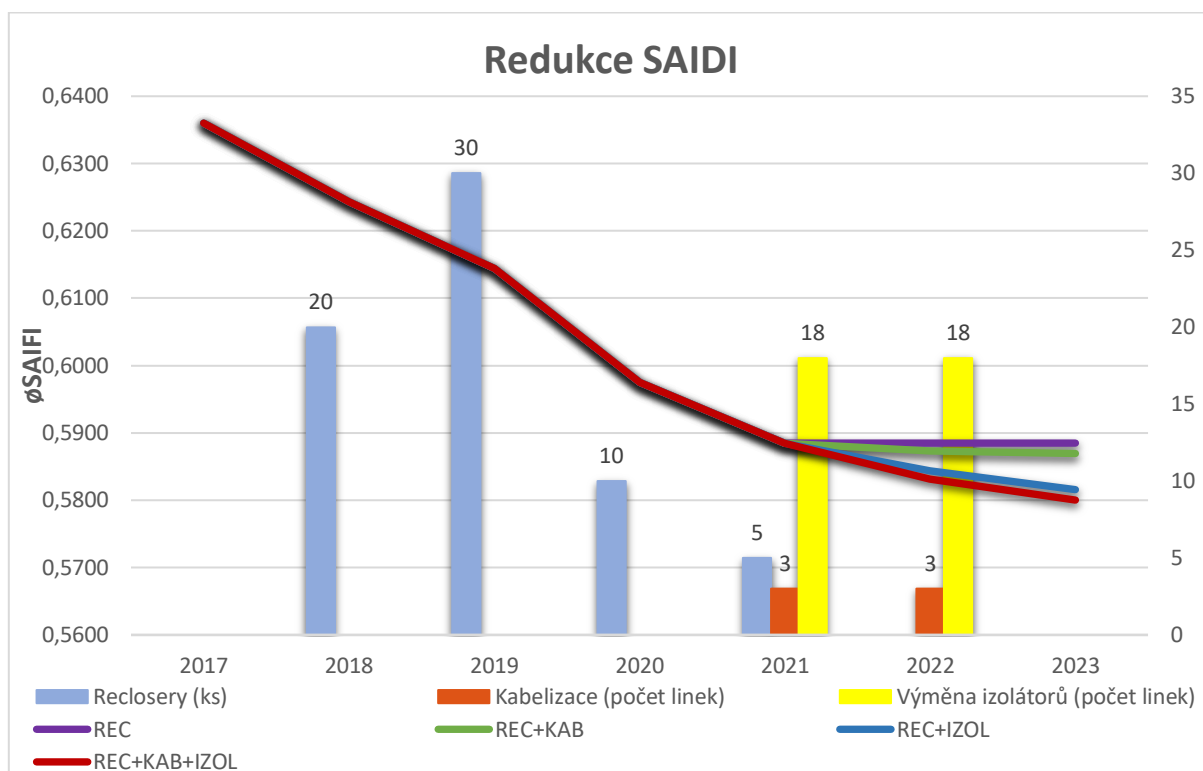
Obr. 7.9 Přínos SAIFI v závislosti na hrubých investičních nákladech – etapa č. 3

#### 7.1.4 Shrnutí

Na následujících grafech (Obr. 7.10 a Obr. 7.11) jsou znázorněny průběhy spolehlivostních ukazatelů SAIDI a SAIFI v závislosti na počtu vybraných opatření. Spojité grafy znázorňují sumární průběhy průměrných ročních hodnot spolehlivostních ukazatelů a sloupcové grafy znázorňují jednotlivé počty vybraných opatření.



Obr. 7.10 Závislost zlepšování SAIDI na počtu investičních opatření

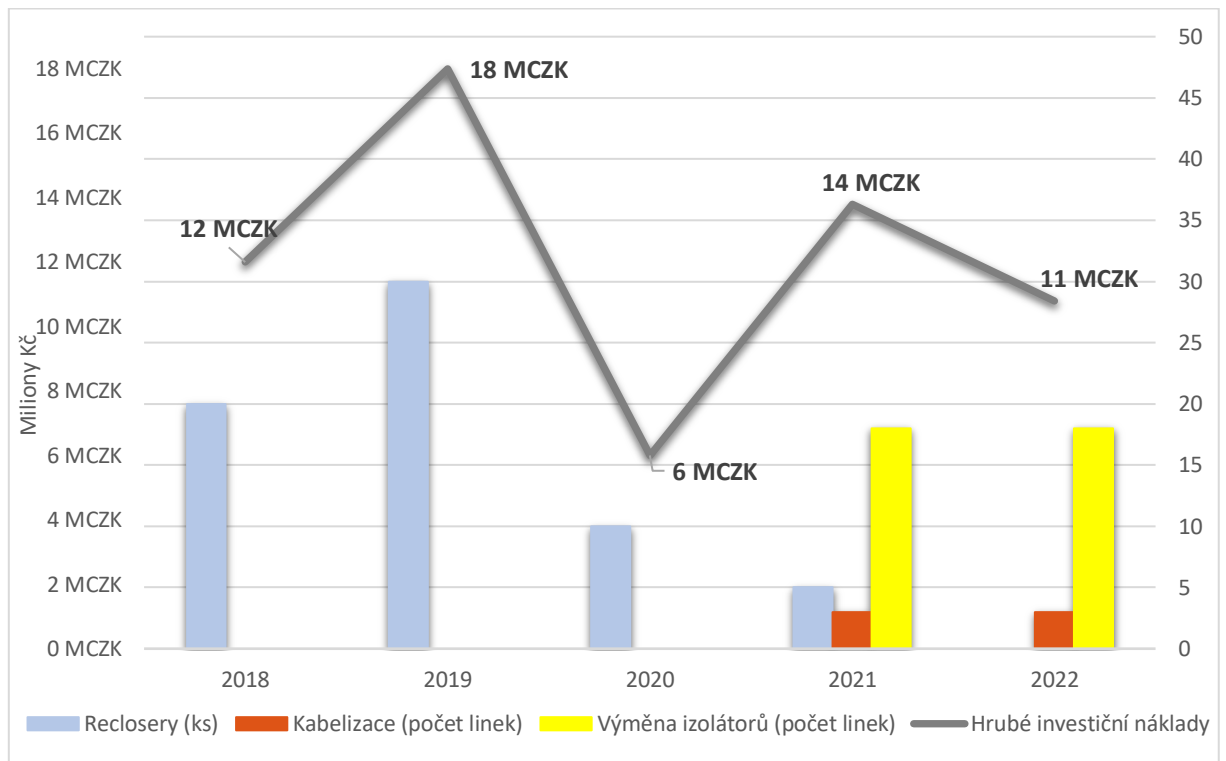


Obr. 7.11 Závislost zlepšování SAIFI na počtu investičních opatření

Z těchto grafů lze konstatovat, že největší vliv na snižování SAIDI a SAIFI mají reclosery, protože byly vybrány jako prioritní opatření pro snižování parametrů a to z důvodu nenáročnosti jejich instalace. Dále je patrné, že využití kabelizace na snižování SAIDI a SAIFI nebude mít takový vliv jako výměna izolátorů VN, protože průběh REC+IZOL je velmi podobný průběhu všech opatření, tedy REC+KAB+IZOL. Tento fakt je dán rovněž úvahou, která zahrnuje náročnou realizaci kabelizace linek VN.

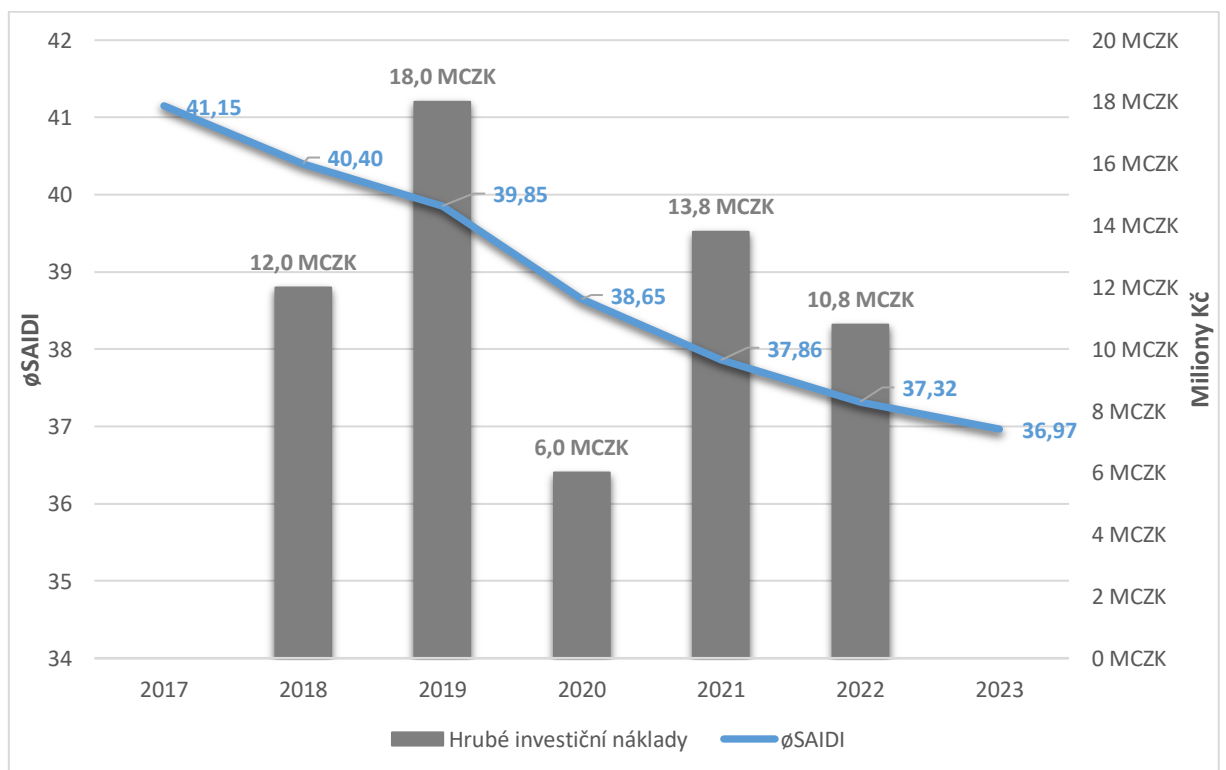
Na Obr. 7.12 je znázorněna závislost hrubých investičních nákladů na počtu vybraných opatření. Spojitý graf znázorňuje změnu investičních nákladů pro jednotlivé roky, sloupcové grafy znázorňují počet vybraných opatření za rok. Z grafu je patrné, že největší investiční náklady jsou v roce 2019 při instalaci 30 recloserů, nejnižší jsou pak v roce 2020 při instalaci 10 recloserů jako hraničních prvků mezi linkami VN. Rozložení investičních nákladů do jednotlivých let je jednak dáno navrženou strategií nasazování investic do DS. Rovněž je nutné přihlídnout k faktu, že příprava investice typu kabelizace nebo přeizolace VN je časově mnohem náročnější než jednoduchá instalace REC na podpěrný bod.



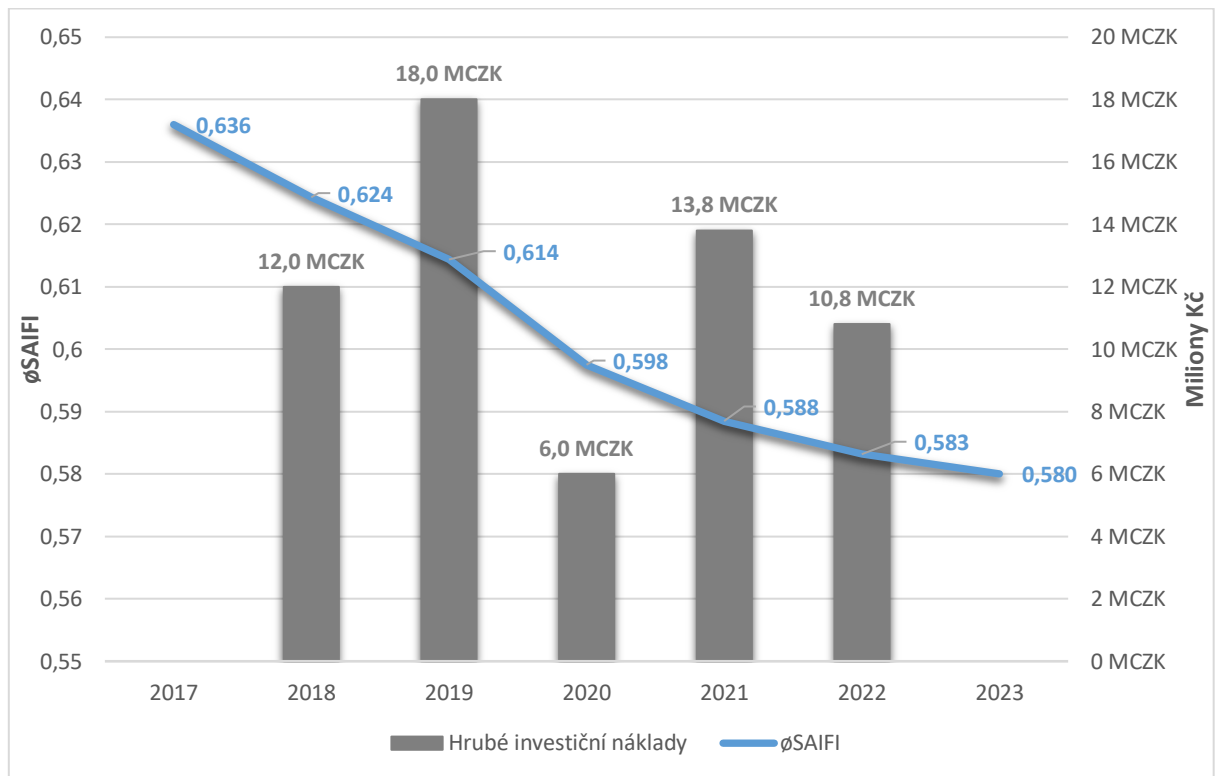


Obr. 7.12 Závislost celkových hrubých investičních nákladů na počtu investičních opatření

Na Obr. 7.13 a Obr. 7.14 je znázorněna změna ukazatelů  $\sigma$ SAIDI a  $\sigma$ SAIFI během všech etap v závislosti na hrubých investičních nákladech.

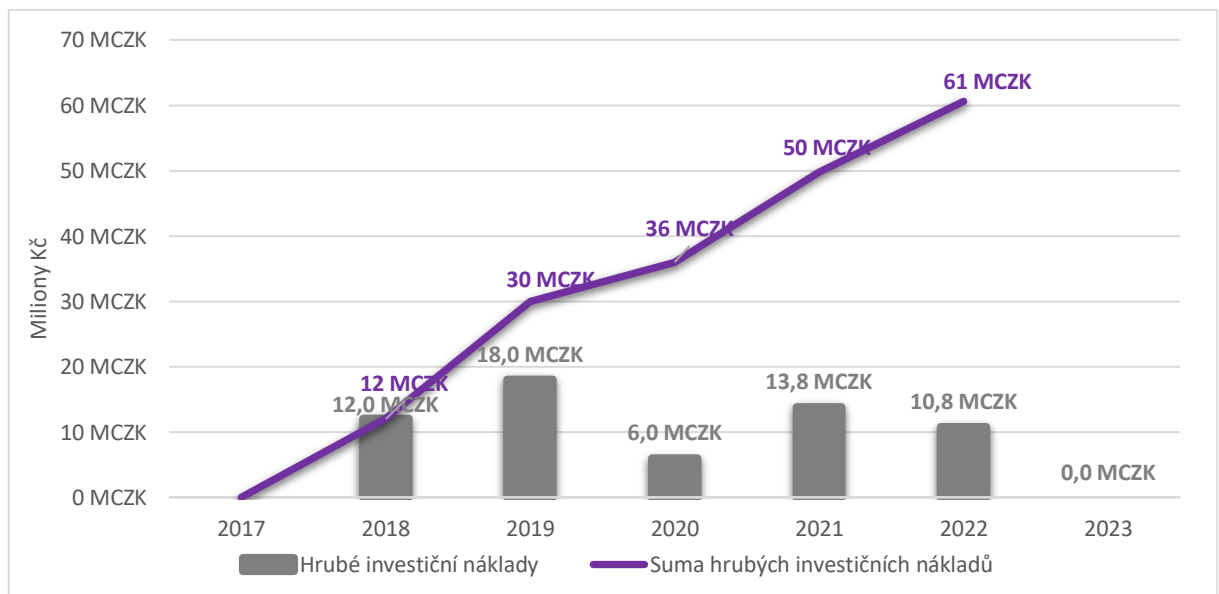


Obr. 7.13 Závislost  $\sigma$ SAIDI na hrubých investičních nákladech za všechny etapy



Obr. 7.14 Závislost øSAIFI na hrubých investičních nákladech za všechny etapy

Na Obr. 7.15 jsou pak zobrazeny sumární hodnoty investičních nákladů za jednotlivé roky. Celková suma investičních nákladů činí 61 milionu Kč.



Obr. 7.15 Suma hrubých investičních nákladů za všechny etapy

## Závěr

V současné době je otázka problematiky spolehlivosti elektrických sítí velmi důležitým tématem. Kvalita elektrické energie dodávaná zákazníkům musí splňovat určité parametry, definované Energetickým regulačním úřadem, jinak hrozí provozovatelům DS penalizace. V opačné případě mohou společnosti, samozřejmě i ty distribuční, získat určité bonusy. Cílem této práce proto bylo popsat podrobně legislativu České republiky v energetice, poruchy na hladině vysokého napětí, vybraná opatření pro snižování těchto poruch a dále vytvořit strategii pro snižování spolehlivostních ukazatelů SAIDI a SAIFI.

Teoretická část této práce byla věnována spolehlivosti elektrických sítí. Dále zde byla popsána elektrizační soustava České republiky, především pak distribuční soustava. V dalších částech byla popsána motivační křivka kvality vydaná Energetickým regulačním úřadem a s ní spojená Q – komponenta společně se spolehlivostními ukazateli SAIDI a SAIFI. Na závěr teoretické části byly analyzovány poruchy vznikající na venkovním vedení vysokého napětí a navrhuta vybraná opatření pro jejich eliminaci.

Cílem výpočtové části bylo zlepšení ukazatelů SAIDI a SAIFI na hladinách vysokého napětí, především na venkovním vedení, kde je největší potenciál pro zlepšení. Nejprve jsem analyzoval všechny poruchy v oblasti Západ od roku 2009 až do roku 2015 a přiřadil je k jednotlivým vývodům a úsekům VN. Tato část byla stěžejní pro vytvoření souboru v MS Excel s názvem „Q – Soubor“. Dále jsem navrhl strategii nasazování a ji rozdělil do tří na sebe navazujících etap. V první etapě došlo k nasazení recloserů na linky VN, ve druhé etapě byly instalovány reclosery mezi linky VN jako hraniční prvky. Vhodné linky VN pro druhou etapu jsem zvolil po analýze dispečerských schémat. Tyto dvě etapy navržené instalace recloserů do linek VN může být i základem pro budoucí pokročilou distribuční automatizaci VN. Ve třetí etapě jsem využil kabelizace a výměny izolátorů VN pro snížení hodnot spolehlivostních ukazatelů.

V první etapě, navržené do 3 let, došlo ke zlepšení SAIDI o 1,295 min/OM/rok a ke zlepšení SAIFI o 0,0216 -/OM/rok při celkové instalaci 50 recloserů. Celkové hrubé investiční náklady pro tuto etapu činily 30 milionu Kč. Ve druhé etapě došlo ke zlepšení SAIDI o 1,995 min/OM/rok a ke zlepšení SAIFI o 0,0295 -/OM/rok. Celková suma investičních nákladů činila 9 milionu Kč. Třetí etapa, rozprostřena do 2 let, zapříčinila zlepšení SAIDI o 0,893 min/OM/rok a SAIFI o 0,0085 -/OM/rok s celkovými hrubými investičními náklady 21,6 milionu Kč.

Je patrné, že nejlepších výsledků dosáhla druhá etapa, avšak je třeba uvědomit si, že druhá etapa není realizovatelná bez využití etapy první. Počet instalovaných recloserů ve druhé etapě

není možné brát jako konečný, jelikož u všech vybraných linek VN nebude možné reclosery instalovat. Tato varianta by potřebovala hlubší analýzu všech vhodných linek VN. Dále je patrné, že třetí etapa má poměrně velké hrubé investiční náklady, avšak vliv na snižování SAIDI a SAIFI je nejmenší ze všech etap. Je to dáno nízkým počtem linek VN, které bylo vhodné kabelizovat, přesněji šlo o 6 linek. Linek vhodných pro výměnu izolátorů bylo větší množství, přesněji 36 linek, avšak příspěvek na zbytkové SAIDI a SAIFI byl v tomto případě pouze 10%. Třetí etapa je tedy nejsložitější na výstavbu, protože je nutné vynaložit velké investiční náklady a příspěvek SAIDI a SAIFI je malý v porovnání s ostatními etapami.

Celkové zlepšení SAIDI za všechny etapy bylo 4,184 min/OM/rok a celkové zlepšení SAIFI bylo 0,0559 -/OM/rok. Celková suma hrubých investičních nákladů byla 61 milionu Kč při využití počtu 107 vybraných investičních opatření.

Dalším možným opatřením pro zlepšování parametrů SAIDI a SAIFI je instalace SMART VN rozvaděčů do městských kabelových sítí. Avšak tato část nešla prakticky řešit, neboť nebylo dostatek podkladových dat (databáze poruch) na základě kterých by bylo možné přesně analyzovat příspěvky pro zlepšení ukazatelů. Rovněž nebylo možné zhodnotit technicko-ekonomický přínos těchto zařízení.

Závěrem je dobré podotknout, že hlavním cílem této práce bylo navržení strategie pro snižování spolehlivostních ukazatelů SAIDI a SAIFI. Nicméně tato strategie rovněž úzce souvisí s budováním pokročilé distribuční automatizace na úrovni VN.

Vytvořením pokročilé automatizace bude, dle teoretických předpokladů, docházet ke snižování SAIDI a SAIFI. Další přidanou hodnotou těchto opatření bude připravení DS pro zavádění nových technologií. Velkým přínosem distribuční automatizace bude řízení stále přibývajících decentrálně řízených zdrojů a stále se zvětšující počet dobíjecích stanic pro aktuální trend – elektromobilitu. V neposlední řadě může mít distribuční automatizace velký přínos pro čím dál tím diskutovatelnější téma na úrovni DS, a to akumulace energie.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] MARTÍNEK, Zbyněk. *TEORIE SPOLEHLIVOSTI V ENERGETICE*. 2002. ISBN 80-7082-894-3.
- [2] TŮMA, Jiří, Stanislav RUSEK, Zbyněk MARTÍNEK, Igor CHEMIŠINEC a Radomír GOŇO. *SPOLEHLIVOST V ELEKTROENERGETICE*. Praha: CONTE spol. s.r.o., ČVUT Praha, 2007. ISBN 80-239-6483-6.
- [3] ŠEFRÁNEK, Jan. *SPOLEHLIVOST A KVALITA DODÁVEK ELEKTRINY A MOŽNOSTI JEJICH OVLIVŇOVÁNÍ*. B.m., 2014. České vysoké učení technické v Praze.
- [4] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. Vyhláška č. 140/2009 Sb. o způsobu regulace cen v energetických odvětvích a postupech pro regulaci cen Změna: 2009.
- [5] SKALA, Petr. Simulace spolehlivosti venkovních vedení při zohlednění příčin poruch. In: *The 7th International Scientific Symposium ELEKTROENERGETIKA 2013*. 2013, s. 125–128.
- [6] ENERGY, ARTOUR. *PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV*. Czech Republic.
- [7] ŠEFRÁNEK, Jan. KVALITA DODÁVEK ELEKTRINY. In: *Konference ČK CIRED 2014*. 2014, s. 8.
- [8] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. Vyhláška č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. 2005. Praha.
- [9] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. Vyhláška č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. 2010. Praha.
- [10] SKALA, Petr a Václav DĚTŘICH. Současné trendy v rozvoji distribučních sítí s ohledem na nepřetržitost distribuce. *ELECTRIC POWER ENGINEERING 2010*. 2010, 599–603.
- [11] TOMAN, Petr, Stanislav MIŠÁK, Jaroslava ORSÁGOVÁ, David TOPOLÁNEK a Jiří DRÁPELA. *Provoz distribučních soustav*. 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [12] TESAŘOVÁ, Miloslava a Milada ŠTROBLOVÁ. *Průmyslová energetika*. 200n. 1. ISBN 80-7082-703-3.
- [13] ŠTROBLOVÁ, Milada a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Elektrické sítě městské a průmyslové*. 1994. ISBN 80-7082-154-x.
- [14] GIRGA, Eduard. *Výpočet spolehlivostních ukazatelů části distribuční sítě E-ON ČR*. B.m., 2012. b.n.
- [15] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. Rozvodná zařízení [online]. 2007. Dostupné z: [http://home.zcu.cz/~tesarova/PEC/Soubory/RZ\\_2007.pdf](http://home.zcu.cz/~tesarova/PEC/Soubory/RZ_2007.pdf)
- [16] ŠEFRÁNEK, Jan. *Regulace kvality elektřiny*. 2013.
- [17] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2014. 2014, 3.
- [18] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. Zpráva Energetického regulačního úřadu o metodice regulace IV. regulačního období pro odvětví elektroenergetiky a plynárenství. 2015.
- [19] ŠEFRÁNEK, Jan. *Spolehlivost a kvalita dodávek elektřiny a možnosti jejich ovlivňování* [online]. B.m., 2014. ČVUT Praha. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/60902/Disertace\\_Sefranek\\_2014.pdf?sequence=1](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/60902/Disertace_Sefranek_2014.pdf?sequence=1)
- [20] SKALA, Petr, Václav DĚTŘICH, Oto BUCHOLCER a Jan ŠEFRÁNEK. Dílčí závislost mezi náklady a kvalitou. In: *Konference ČK CIRED*. 2014, s. 1–7.
- [21] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. Vyhláška 436/2013 Sb. o způsobu regulace

- cen a postupech pro regulaci cen v elektroenergetice a teplárenství. 2013.
- [22] TZBINFO. *Mapa distribučních soustav ČR* [online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/docu/texty/0002/000211o1.gif>
- [23] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Zásady cenové regulace pro období 2016-2018 pro odvětví elektroenergetiky, plynárenství a pro činnosti operátora trhu v elektroenergetice a plynárenství* [online]. 2015, 2015. Dostupné z: <https://www.eru.cz/documents/10540/462862/Zasady-cenove-regulace-IV-RO.pdf/e438802a-b956-4df7-8353-89ccfd72a1ae>
- [24] KOUBA, Daniel, Miroslav KOPT, Filip CHRÁŠŤANSKÝ, Veronika SLÁDKOVÁ a Filip BROŽ. OPATŘENÍ VZHLEDEM KE SPOLEHLIVOSTI DS. In: *Konference ČK CIREĐ 2014*. 2014, s. 1–18.
- [25] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Kategorie přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny* [online]. 2005. Česká republika. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/474372/Priloha\\_4\\_540.pdf/4c042741-6e9f-439f-8051-a00cf08bba93](https://www.eru.cz/documents/10540/474372/Priloha_4_540.pdf/4c042741-6e9f-439f-8051-a00cf08bba93)
- [26] HLAVNÍČKA, Jan. *Projekt Automatizace sítí VN s využitím prvků typu RECLOSER*. 2013.
- [27] KOLÁŘ, Libor, Daniel KOUBA, Č JIŘÍ, Peter MÚDRY a E O N ČESKÁ. *AUTOMATIZACE VN SÍTÍ - RECLOSER*. 2014, 1–17.
- [28] BABKA, Karel. *Nasazení prvků distribuční automatizace ve venkovních sítích VN*. B.m., 2013. ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ.
- [29] BURDOVÁ, Jitka. *Nové spínací prvky v sítích VN*. In: . Plzeň: ZČU Plzeň, 2006. ISBN 80-7043-475-9.
- [30] DRIBO, spol. s r.o. *Vypínače GVR Recloser - Hawker Siddeley Switchgear* [online]. 2017 [vid. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://www.dribo.cz/vyrobní-program/a1-vypinace-gvr-recloser-hawker-siddeley-switchgear/>
- [31] DRIBO, spol. s r.o. *Návod k montáži, obsluze a údržbě venkovních vypínačů GVR Recloser Hawker Siddeley Switchgear* [online]. 2017. Dostupné z: [http://www.dribo.cz/pdf/CZM\\_Recloser.pdf](http://www.dribo.cz/pdf/CZM_Recloser.pdf)
- [32] STASZESKY, Douglas, Dean CRAIG a Craig BEFUS. *Advanced feeder automation is here*. *IEEE power & energy magazine* [online]. 2005, (october), 34–41. ISSN 1540-7977. Dostupné z: doi:10.1109/MPAE.2005.1507027
- [33] SKALA, Petr a Václav DĚTŘICH. *Spolehlivost distribuce elektřiny v českém a evropském kontextu* [online]. 2014. Dostupné z: <http://docplayer.cz/31945748-Spolehlivost-distribuce-elektřiny-v-ceskem-a-evropskem-kontextu.html>
- [34] PLZEN.CZ. *Energetici jsou na zimní období připraveni* [online]. 2016 [vid. 2016-09-29]. Dostupné z: [http://plzen.cz/wp-content/uploads/2016/12/DSC\\_0450.jpg](http://plzen.cz/wp-content/uploads/2016/12/DSC_0450.jpg)

## **Přílohy**