

**České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická**

Diplomová práce

leden 2018

Bc. Jan Lednický

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Kvalita a spolehlivost dodávek elektrické energie

**Quality and reliability of
electricity supply**

Diplomová práce

Jan Lednický

Libice nad Cidlinou, leden 2018

Magisterský studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Studijní obor: Ekonomika a řízení energetiky

Vedoucí práce: Ing. Jan Šefrámek, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Lednický** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **382823**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Ekonomika a řízení energetiky**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Kvalita a spolehlivost dodávek elektrické energie

Název diplomové práce anglicky:

Quality and reliability of electricity supply

Pokyny pro vypracování:

- kvalita a spolehlivost dodávek
- současný stav kvality a spolehlivosti v ČR
- porovnání ukazatelů kvality ČR se zahraničím
- návrh opatření pro zlepšení kvality

Seznam doporučené literatury:

Tůma J., Rusek S., Martínek Z., Chemišinec I., Goňo R.: Spolehlivost v elektroenergetice, ČVUT Praha, ISBN 80-239-6483-6
Hradílek Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení, VŠB TU Ostrava 2008, ISBN 978-80-7225-291-6
Tlustý J.: Kvalita elektrické energie, K 13115 interní text, ČVUT, Praha, 2005
6th Benchmarking Report on Quality of Electricity Supply, CEER, 2016

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Šefránek Ph.D., ERU

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **17.02.2017**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů pro vypracování závěrečných prací, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Libici nad Cidlinou dne

.....

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat především vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Janu Šefránkovi, Ph.D. z Energetického regulačního úřadu, za odborné konzultace, cenné rady a čas, který mi věnoval při tvorbě této práce. V neposlední řadě chci také poděkovat rodině, která mi poskytovala podporu a inspiraci nejen při psaní diplomové práce, ale při celém studiu.

Anotace

Diplomová práce se věnuje problematice kvality a spolehlivosti dodávek elektrické energie. V první části práce jsou vysvětleny a definovány všechny součásti problematiky kvality a spolehlivosti dodávky elektrické energie. Jsou zde popsány ukazatele nepřetržitosti včetně jejich výpočtu. Druhá část diplomové práce je věnována srovnání stavu ukazatelů nepřetržitosti v České republice se zahraničím. Dále se práce věnuje opatřením pro zlepšení kvality dodávek elektrické energie v České republice. Je vybrána vhodná lokalita s vedením vysokého napětí, na kterém je použito několik konkrétních opatření. Pomocí výpočtu parametrů nepřetržitosti SAIFI, SAIDI a výpočtu nákladů je následně uvedeno doporučení. Cílem práce je ukázat možnosti zlepšení kvality dodávek elektrické energie, se zaměřením na instalaci nových zařízení do stávající elektrizační sítě.

Klíčová slova

kvalita dodávek elektrické energie, spolehlivost dodávek elektrické energie, nepřetržitost dodávek, ukazatele nepřetržitosti, SAIFI, SAIDI, plánované přerušení dodávky elektrické energie, neplánované přerušení dodávky elektrické energie, úsekový odpínač, vypínač

Abstract

This diploma thesis deals with quality and reliability of the electricity supply. The first part of the thesis explains and defines all things that are connected with quality and reliability of the electricity supply. There are described continuity indicators with their formulas. The second part of the thesis compares continuity indicators between Czech republic and other countries. Next part of the thesis deals with measures for improving quality of the electricity supply. I used some measures for improving quality of the electricity supply on appropriately choosed location with old power line. I make recommendation due to SAIFI, SAIDI and costs calculation. The aim of this project is to show options of measures for improving quality of the electricity supply., with focus on instalation new electrical components into old power line.

Key words

quality of the electricity supply, reliability of the electricity supply, continuity of supply, continuity indicators, SAIFI, SAIDI, planned interruption of the electricity supply, unplanned interruption of the electricity supply, disconnecting switch, switch

Obsah

1.	Úvod	9
2.	Spolehlivost.....	10
2.1.	Základní pojmy a definice.....	10
2.2.	Vztahy a ukazatele spolehlivosti.....	12
2.3.	Rozdělení využívaná v elektroenergetice	14
2.4.	Výpočet spolehlivosti.....	15
2.5.	Ekonomické aspekty spolehlivosti	16
2.6.	Oceňování přerušení dodávky.....	17
3.	Kvalita dodávek elektřiny.....	20
3.1.	Kvalita napětí	20
3.2.	Nepřetržitost dodávek	21
3.2.1.	Ukazatele nepřetržitosti	22
3.2.2.	Ukazatele kvality využívané v ČR	24
3.2.3.	Přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny	26
4.	Současný stav kvality a spolehlivosti v ČR.....	29
4.1.	Přenosová soustava.....	29
4.2.	Distribuční soustava.....	32
5.	Srovnání stavu ČR se zahraničním a možnosti zlepšení	35
5.1.	Srovnání stavu ČR se zahraničím	35
5.2.	Opatření pro zlepšení spolehlivosti a kvality dodávky elektřiny.....	39
5.2.1.	Opatření pro neplánovaná přerušení dodávky	39
5.2.1.1.	Změna struktury sítě (topologie).....	41
5.2.1.2.	Průseky v ochranném pásmu vrchního vedení.....	41
5.2.1.3.	Výměna nevyhovujícího zařízení a montáž nových zařízení	41
5.2.1.4.	Častější kontrola a údržba zařízení	46
5.2.1.5.	Snížení doby na odstranění závady	46
5.2.2.	Opatření pro plánovaná přerušení dodávky	46
5.2.2.1.	Struktura sítě.....	46
5.2.2.2.	Instalace dálkové technologie	46
5.2.2.3.	Použití náhradního napájení.....	47
5.2.2.4.	Použití PPN.....	48
5.2.2.5.	Zlepšení koordinace při manipulacích	48
6.	Návrh opatření pro zlepšení kvality	49
6.1.	Problematika investování v distribuční soustavě	49
6.1.1.	Definice problému	49

6.1.2.	Způsob řešení problému	50
6.2.	Popis stávajícího stavu	51
6.3.	Možnosti technického řešení	54
6.3.1.	Varianta č. 1.....	54
6.3.2.	Varianta č. 2.....	55
6.3.3.	Varianta č. 3.....	55
6.3.4.	Varianta č. 4.....	55
6.4.	Náklady na výstavbu vedení	57
6.4.1.	Náklady pro variantu č. 1	57
6.4.2.	Náklady pro variantu č. 2	58
6.4.3.	Náklady pro variantu č. 3	59
6.4.4.	Náklady pro variantu č. 4	60
6.5.	Výpočet ukazatelů nepřetržitosti pro všechny varianty	61
6.5.1.	Plánované přerušení dodávky.....	61
6.5.2.	Neplánované přerušení dodávky.....	63
6.5.3.	Výpočet pro variantu č. 1	65
6.5.4.	Výpočet pro variantu č. 2	68
6.5.5.	Výpočet pro variantu č. 3	71
6.5.6.	Výpočet pro variantu č. 4	72
6.6.	Shrnutí výsledků.....	74
7.	Závěr	76
8.	Zdroje	79
9.	Seznam použitých zkratk	81
10.	Seznam obrázků a tabulek	82

1. Úvod

Kvalita a spolehlivost dodávek elektrické energie je v dnešní době jedna z nejdůležitějších otázek elektroenergetiky. Tematika je to obsáhlá, neboť se na ní podílejí všichni účastníci trhu s elektřinou od výrobce až po konečného zákazníka. Z důvodu závislosti dnešního člověka na elektrické energii je potřeba definovat a dále dodržovat její kvalitu i spolehlivost. Dále je nutné jasně stanovit minimální požadavky, které musí být vždy dodrženy. V České Republice tuto oblast zajišťuje Energetický regulační úřad (ERÚ), který stanovuje požadovanou kvalitu dodávek elektřiny a souvisejících služeb. Cílem české energetiky je zajištění spolehlivé a kvalitní dodávky elektřiny pro konečné zákazníky za rozumnou cenu. Elektřina je proto regulována různými mechanismy.

S rostoucími nároky zákazníků, možnostmi distributorů a výrobců elektrické energie je tato tematika velice aktuální. Dalším faktorem vývoje kvality a spolehlivosti dodávky elektrické energie jsou nové technologie. Ty mohou mít jiný charakter odběru, než mají v současné době. Nové spotřebiče mohou mít zpětný vliv na elektrizační soustavu, což může vést ke snížení kvality a spolehlivosti dodávky elektrické energie. Použití obnovitelných zdrojů či ostrovních způsobů napájení může mít za následek velké změny v elektrizační soustavě. Tyto změny by mohly vést k nežádoucím propadům kvality a spolehlivosti dodávky elektrické energie. Nejen z tohoto důvodu je potřeba tuto část elektrotechniky nejenom bedlivě sledovat, kontrolovat, ale i analyzovat a zlepšovat naši pozici na trhu s elektřinou.

Ačkoliv je toto téma rozsáhlé, tato práce se bude věnovat převážně jen otázce kvality a spolehlivosti dodávek elektrické energie v distribuční soustavě. Cílem této práce je srovnání dosahované kvality a spolehlivosti dodávky elektrické energie v České Republice a okolních zemích. Z tohoto srovnání potom vyhodnotit stav distribuční soustavy ČR a zamyslet se nad možnostmi zlepšení ukazatelů nepřetržitosti dodávky (SAIFI a SAIDI). Hlavním cílem práce je navržení opatření na snížení výše uvedených ukazatelů ve vybrané lokalitě, se zaměřením na možnosti zlepšení stavu distribuční sítě soustavy vysokého napětí v rámci plánovaných a neplánovaných přerušení dodávek elektrické energie.

V rámci této práce jsem vybral vhodný úsek vedení vysokého napětí. Tento úsek jsem následně analyzoval a vytvořil několik možných realizovatelných způsobů úpravy tohoto vedení – aplikoval jsem možná opatření pro zlepšení ukazatelů nepřetržitosti. Tyto varianty jsem nacenil pro lepší vybrání vhodné varianty pro skutečnou realizaci. Dále jsem vytvořil reálně možné případy plánovaných a neplánovaných přerušení dodávky elektrické energie na tomto vedení. Pro všechny varianty úprav jsem použil mnou nasimulované příklady přerušení a následně pro ně vypočítal ukazatele nepřetržitosti SAIFI a SAIDI. Výsledky této analýzy jsem srovnal a pomocí tohoto srovnání a srovnání nákladů na realizaci jsem určil nejvhodnější možnost.

Závěrem této práce je doporučení instalace použitých elektrotechnických zařízení a prezentace jejich vlivu na změnu ukazatelů nepřetržitosti.

2. Spolehlivost

Spolehlivost je jedním z nejdůležitějších parametrů při návrhu a provozu elektrizační soustavy. Pro definici spolehlivosti v energetice je potřeba nahlédnout do českých státních norem. Pro spolehlivost v současnosti platí norma ČSN IEC 50(191) - Mezinárodní elektrotechnický slovník. Kapitola 191: Spolehlivost a jakost služeb, dále je řešena několika technickými normami, především pak ČSN 33 0050-603, ČSN 33 0050-604 a ČSN IEC 60050-617.

Ve zrušené ČSN 01 0102 byla spolehlivost definována jako „obecná vlastnost objektu spočívající ve schopnosti plnit požadované funkce při zachování hodnot stanovených provozních ukazatelů v daných mezích a v čase podle stanovených technických podmínek“. Kde spolehlivost je komplexní vlastnost, která může zahrnovat např. bezporuchovost, životnost, udržitelnost a skladovatelnost, buď jednotlivě nebo v kombinaci. Technickými podmínkami se rozumí souhrn specifikací technických vlastností, předepsaných pro požadovanou funkci objektu, dále způsoby jeho provozu, skladování, přepravy, údržby a opravy. A provozní ukazatele jsou ukazatele produktivity, rychlosti, spotřeby elektrické energie, paliva apod.

Obecně je spolehlivost elektroenergetické soustavy chápána jako schopnost soustavy zajistit nepřetržitou a kvalitní dodávku elektrické energie všem zákazníkům (odběratelům).

Jde tedy o spolehlivost celého procesu od výroby, přes přenos, distribuci až po dodávku k zákazníkům. Způsoby výpočtu spolehlivosti se liší podle předmětu zájmu.

V této kapitole jsou dále uvedeny základní pojmy a definice využívané ve spolehlivosti, včetně základních vztahů, ukazatelů spolehlivosti a metod pro jejich výpočet. Tato kapitola čerpá poznatky z technických norem, předpisů a odborných publikací – kniha prof. Tůmy a kolektivu autorů: *Spolehlivost v elektroenergetice* [1] a kniha prof. Hradílka: *Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení* [2].

2.1. Základní pojmy a definice

Spolehlivost – pravděpodobnost, že elektrizační soustava může plnit požadovanou funkci za daných podmínek v daném časovém intervalu. Spolehlivost je hlavní cíl při návrhu a provozu elektrizační soustavy (pozn.: jedna z možných definic spolehlivosti).

Kvalita dodávky elektřiny – společný výsledek všech aspektů při dodávce elektřiny. Kvalita dodávky elektřiny zahrnuje zabezpečení dodávky elektřiny jako předpoklad spolehlivosti elektrizační soustavy, kvality elektřiny a vztahů se zákazníky.

Kvalita elektřiny – charakteristiky elektrického proudu, napětí a kmitočtu v daném bodu elektrizační soustavy, vyhodnocené vůči souboru daných technických parametrů.

Zabezpečení dodávky elektřiny – schopnost elektrizační soustavy dodávat v předávacím místě elektrický výkon a energii uživatelům s využitím stávajících norem a smluvních podmínek.

Stabilita – schopnost elektrizační soustavy znovu nabýt nebo udržet ustálený stav, charakterizovaný synchronním chodem generátorů a trvalou přípustnou kvalitou dodávky elektřiny po jejím porušení, způsobeném například změnou výkonu nebo impedance.

Adekvátnost – schopnost elektrizační soustavy dodávat za ustálených podmínek souhrnný elektrický výkon a energii požadované zákazníky bez překročení stanovených hodnot komponent soustavy, napětí v uzlech a kmitočtu soustavy udržovanými v tolerancích, přičemž se berou v úvahu plánované odstávky i neplánované výpadky komponent.

Pohotovost – schopnost objektu být ve stavu schopném plnit požadovanou funkci v daných podmínkách, v daném časovém okamžiku nebo v daném časovém intervalu, za předpokladu, že jsou zajištěny požadované vnější prostředky.

Bezporuchovost – schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu.

Porucha – ukončení schopnosti objektu plnit požadovanou funkci (nepředvídaná událost nebo závada zařízení, která může způsobit jednu nebo více poruch tohoto zařízení nebo jiných zařízení s ním spojených).

Poruchový stav – stav objektu charakterizovaný neschopností plnit požadovanou funkci, kromě neschopnosti, během preventivní údržby nebo jiných plánovaných činností, nebo způsobený nedostatkem vnějších prostředků.

Oprava – část údržby po poruše, při níž se na objektu provádějí ruční operace.

Obnova – jev, kdy objekt po poruchovém stavu opět získá schopnost plnit požadovanou funkci.

Nedodaný výkon – velikost výkonu, který není dodán v důsledku omezení elektrizační soustavy.

Nedodaná energie – energie, která měla být dodána z elektrizační soustavy za dobu odpojení dodávky.

Ztráty z nedodané energie – dohodnuté náklady používané v ekonomických studiích k vyhodnocení společenských dopadů přerušení dodávky elektrické energie.

Cena za nedodanou kWh – ekonomický odhad nákladů veškerého druhu v důsledku přerušení dodávky elektrické energie v dané síti k nedodané energii v kWh.

Udržovatelnost – schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu nebo vrátit se do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy a prostředky.

Zajištěnost údržby – schopnost organizace poskytující údržbářské služby zajišťovat podle požadavků v daných podmínkách prostředky potřebné pro údržbu podle dané koncepce údržby.

Údržba – kombinace všech technických a administrativních činností, včetně činností dozoru, zaměřených na udržení ve stavu nebo navrácení objektu do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci.

Doba údržby – časový interval, během něhož se na objektu provádí údržbářský zásah, buď ručně, nebo automaticky, včetně technických a logistických zpoždění.

Pracnost údržby (MMH) – kumulované trvání jednotlivých dob na údržbu, vyjádřené v normohodinách, využitě veškerými pracovníky údržby pro daný typ údržbářského zásahu nebo během daného časového intervalu.

Práce pod napětím – všeobecný výraz označující různé pracovní způsoby užívané při provádění oprav, údržby, včetně spojování a rozpojování, bez přerušení provozu a odpojení napětí. [1], [2]

2.2. Vztahy a ukazatele spolehlivosti

Ukazatelem spolehlivosti je obecně míněna kvalitativní charakteristika jedné nebo několika vlastností, tvořících spolehlivost objektu. V této kapitole bude pozornost věnována především bezporuchovosti, která zahrnuje zejména následující ukazatele: pravděpodobnost poruchy, pravděpodobnost bezporuchového provozu, hustota pravděpodobnosti poruchy, intenzita poruch, střední intenzita poruch, střední doba poruchy a střední doba mezi poruchami.

Ve spolehlivosti se uvažují pouze náhodné poruchy, které vznikají bez zjevných předchozích příčin. Ostatní poruchy, které lze předvídat podle určitých závislostí, nejsou náhodné. Podle souvislosti s jinými poruchami můžeme poruchy dále dělit na nezávislé a závislé. Závislá porucha vzniká následkem poruchy jiného prvku, nezávislá nikoliv. Dále dělíme poruchy dle doby jejich trvání na trvalé a dočasné. Trvalou poruchu je možno odstranit pouze opravou nebo náhradou porouchaného prvku, dočasné poruchy mohou samovolně vymizet nebo trvají po dobu působení vnějšího vlivu.

Základním ukazatelem bezporuchovosti je pravděpodobnost bezporuchového provozu, ze které je možno odvodit další veličiny spolehlivosti, viz níže. Bezporuchovost se sleduje zpravidla v závislosti na čase, případně jiných veličinách (počtu sepnutí prvku atd.). V dalších úvahách budeme předpokládat, že daný objekt může být buď ve stavu bezporuchového provozu, nebo ve stavu poruchy, a že přechod mezi těmito stavy je okamžitý. [1], [2]

Pravděpodobnost bezporuchového provozu $R(t)$ objektu (systému) v časovém intervalu od 0 do t je pravděpodobnost, že v tomto časovém intervalu porucha nenastane.

$$R(t) = P(\xi > t) \quad (1)$$

kde ξ je náhodná veličina určující dobu do poruchy.

Pravděpodobnost poruchy objektu $Q(t)$ (systému) je analogicky pravděpodobnost, že v daném časovém intervalu porucha nastane.

$$Q(t) = P(\xi \leq t) = 1 - R(t) \quad (2)$$

Tyto dvě veličiny jsou kladná bezrozměrná čísla, která jsou nejvýše rovné 1 a předpokládáme, že $R(0) = 1, R(\infty) = 0$.

Hustota pravděpodobnosti poruchy $f(t)$ má rozměr (čas⁻¹) a je dána vztahem

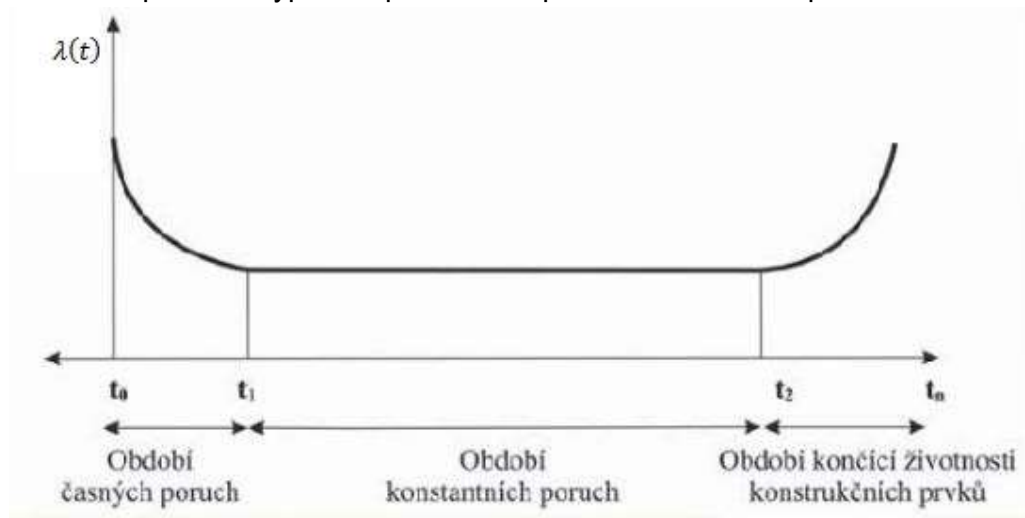
$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt} \quad (3)$$

Intenzita poruch $\lambda(t)$ je definována jako poměr hustoty poruchy $f(t)$ a pravděpodobnosti bezporuchového stavu $R(t)$. Obvykle se udává v jednotkách (h^{-1}) nebo (rok^{-1}).

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (4)$$

Časový průběh intenzity poruch $\lambda(t)$ je možné znázornit například tzv. vanovou křivkou. Průběh vanové křivky se dělí na tři základní úseky. V prvním úseku intenzita poruch výrazně klesá a odpovídá období počátečního provozu prvku (poruchy jsou způsobeny např. neodhalenými nedostatky v konstrukci, výrobě nebo montáži). V druhém úseku je průběh intenzity poruch téměř konstantní (poruchy v tomto období jsou způsobovány náhodným mechanismem). Pravidelné revize a opravy po poruchách v tomto úseku zlepšují stav daného prvku a zmenší intenzitu výpadků. Ve třetím úseku intenzita poruch opět prudce stoupá, v souvislosti s dožíváním výrobku (stárnutí mechanismu, opotřebení či koroze).

V praxi se prvky provozují pouze v první a druhé části křivky. Díky pravidelné údržbě a revizím lze pro účel výpočtu spolehlivosti považovat intenzitu poruch za konstantní.



Obr.

č. 1: Vanová křivka [9]

Intenzita poruch lze vyjádřit i jinými způsoby (dle platné normy). Buď jako okamžitá intenzita poruch, nebo střední intenzita poruch. [1], [2]

Vzájemné vztahy mezi veličinami

Veličiny $f(t)$ a $\lambda(t)$ mají rozměr (čas⁻¹), obvykle h^{-1} nebo rok⁻¹. Mezi těmito čtyřmi základními veličinami určujícími bezporuchovost objektu platí vzájemné vztahy uvedené v tab. č. 1.

Veličina	$R(t)$	$Q(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
$R(t)$	-	$1 - Q(t)$	$1 - \int_0^t f(t) dt$	$\exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right]$
$Q(t)$	$1 - R(t)$	-	$\int_0^t f(t) dt$	$1 - \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right]$
$f(t)$	$-\frac{dR(t)}{dt}$	$\frac{dQ(t)}{dt}$	-	$\lambda(t) \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right]$
$\lambda(t)$	$-\frac{\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)}$	$\frac{\frac{dQ(t)}{dt}}{1 - Q(t)}$	$\frac{f(t)}{1 - \int_0^t f(t) dt}$	-

Tab. č. 1: Vztahy mezi základními veličinami

V problematice spolehlivosti se dále využívají i další vztahy a závislosti. Tyto parametry se využívají k vyjádření spolehlivosti v závislosti dle vstupních dat a použité metody výpočtu. Jsou to například střední doba bezporuchového provozu (T_s), směrodatná odchylka poruchy, funkce okamžité pohotovosti $A(t)$, funkce okamžité nepohotovosti $U(t)$ atd. Těmito parametry se tato práce nebude zabývat. [1], [2]

2.3. Rozdělení využívaná v elektroenergetice

Časové průběhy základních ukazatelů spolehlivosti se získávají z informací o provozu jednotlivých prvků (statistická metoda). Pokud známe poruchové mechanismy a máme materiálové parametry, lze tyto průběhy odvodit z těchto podkladů (deterministická metoda).

Při statistickém sledování se zaznamenávají doby poruch jednotlivých objektů a četnosti poruch v časových intervalech. Naměřená data pro spolehlivostní charakteristiku se pak dají vyjádřit v tabulce nebo vnesením do grafu, který se pak nechá proložit křivkou a určí se tzv. neparametrický odhad. V praxi se však častěji využívá parametrický odhad, což je porovnání průběhu rozdělení poruch s některým známým rozdělením, které je odvozené z určitého matematického modelu. Potom se určí jeden nebo několik parametrů definice rozdělení a bezporuchovost se pak udává těmito parametry. Pro odhad hodnoty parametrů se nejčastěji používá metoda největší věrohodnosti či metoda čtverců.

Pomocí získaného rozdělení je pak možné vypočítat všechny hledané a potřebné veličiny, jako je střední doba bezporuchového provozu, pravděpodobnost poruchy, pravděpodobný počet poruch v časovém intervalu atd. V teorii spolehlivosti se používá pro diskrétní náhodnou proměnu nejvíce binomické a Poissonovo rozdělení. Pro spojitou náhodnou proměnnou se používají nejčastěji exponenciální, Weibullovo, normální, logaritnicko-normální a gama rozdělení. Tato tematika je podrobněji rozebrána v publikaci prof. Tůmy a kolektivu: *Spolehlivost v elektroenergetice* [1].

2.4. Výpočet spolehlivosti

Výpočet spolehlivosti je většinou proveden tak, že známe spolehlivosti jednotlivých prvků systému a pomocí nich vypočítáme celkovou spolehlivost systému. Nejdříve získáme vstupní spolehlivostní údaje a následně provedeme samotný výpočet, který se liší dle zvolené metody. Dle metody je potom nutné si dát pozor na interpretaci výsledků a výběr vhodných opatření pro zvýšení spolehlivosti daného systému.

Pro správný výpočet spolehlivosti a následné určení vhodných opatření je nezbytné získat věrohodná vstupní data a údaje. Metodiky pro získání vstupních údajů se liší dle zkoumaného objektu, dostupných údajů atd.

Způsob získávání vstupních údajů se dělí na dvě skupiny:

- spolehlivost empirická – údaje jsou získány z údajů o činnosti daného zařízení, nebo podobného zařízení, které pracuje v podobných podmínkách
- spolehlivost apriorní – vstupní údaje jsou určeny dopředu, ze znalostí možných stavů objektu se určí pravděpodobnost bezporuchového chodu

Pro samotný výpočet spolehlivosti existuje několik metod. Vhodnost použití jednotlivých metod závisí na druhu a rozsahu daného systému, struktuře vstupních dat, požadovaných výsledcích, požadované přesnosti výsledků a v neposlední řadě i rychlosti výpočtů.

Mezi základní používané metody pro výpočet spolehlivosti patří:

- metoda síťového modelu (spolehlivostních schémat)
- metoda rozkladů
- metoda minimálních řezů a drah
- metoda incidenční matice
- metoda stromu událostí (poruch)
- metoda Markových řetězců
- simulační metoda Monte-Carlo

Tyto metody jsou podrobně popsány v odborné literatuře, jako například v již zmíněných publikacích [1] a [2].

2.5. Ekonomické aspekty spolehlivosti

Problematika kvality a spolehlivosti v elektroenergetice je velice rozsáhlá, neboť se na ni podílejí všichni nezávislí účastníci trhu, jak výrobci, provozovatel přenosové soustavy, provozovatelé distribučních soustav, obchodníci s elektřinou, tak i koneční zákazníci. Dále se tato oblast týká dalších institucí, především Ministerstva průmyslu a obchodu (MPO), Operátora trhu (OTE, a.s.) a Energetického regulačního úřadu (ERÚ). Avšak přes velké důrazy na kvalitu a spolehlivost jsou tu také ekonomické aspekty. Cílem celého procesu by mělo být poskytnout spolehlivou a kvalitní dodávku elektřiny za přiměřenou cenu pro konečné zákazníky

Na základě energetického zákona (458/2000 Sb.), který v ČR určuje podmínky podnikání a výkon státní správy v energetických odvětvích, je držitel licence (tj. výrobce, provozovatel přenosové soustavy, provozovatel distribuční soustavy atd.) povinen vykonávat licencovanou činnost tak, aby byla zajištěna spolehlivá a trvale bezpečná dodávka energie. Dále je držitel licence povinen dodržovat stanovené parametry kvality dodávek a služeb a v případě jejich nedodržení poskytovat náhradu (pokud nejsou dodrženy předepsané parametry kvality, pak může být poskytnuta odběrateli elektřiny sleva z ceny za distribuci elektřiny). Provozovatel přenosové soustavy, na základě tohoto předpisu, mimo jiné zajišťuje bezpečný, spolehlivý a efektivní provoz, obnovu a rozvoj přenosové soustavy a propojení přenosové soustavy s jinými soustavami. Za tím účelem zabezpečuje podpůrné služby a dlouhodobou schopnost přenosové soustavy uspokojovat přiměřenou poptávku po přenosu elektřiny. Provozovatel distribuční soustavy následně zajišťuje spolehlivé provozování, obnovu a rozvoj distribuční soustavy na území vymezeném licenci.

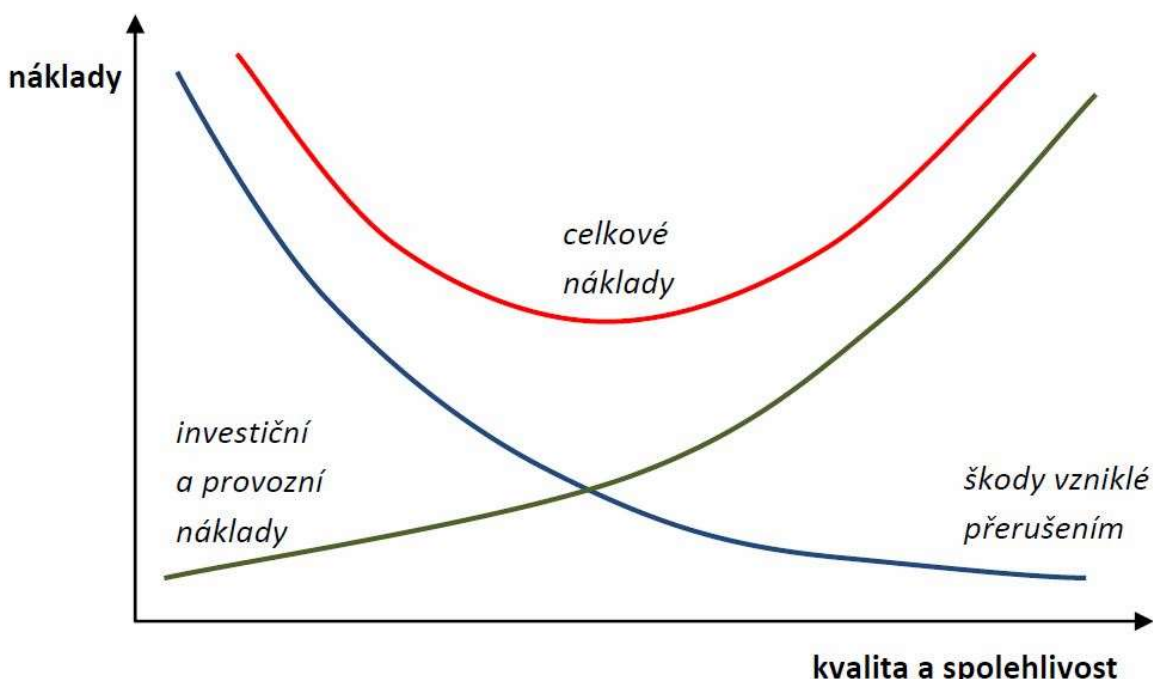
Tato práce se věnuje převážně distribuční soustavě. Odběratelé připojení k dané distribuční soustavě nemají možnost odebrat elektřinu z jiné distribuční soustavy a jediné, co si mohou vybrat, je konkrétní obchodník s elektřinou, který ovšem není zodpovědný za kvalitu a spolehlivost dodávky samotné elektřiny.

Z pohledu požadavku na kvalitu a spolehlivost můžeme odběratele rozdělit do několika skupin:

- zákazníci, kterým nevádí nižší kvalita a spolehlivost dodávek elektřiny, ale jejich hlavním kritériem je co možná nejnížší cena za danou službu
- zákazníci, kterým vyhovuje standardní (předepsaná) kvalita a spolehlivost dodávek elektřiny za současnou cenu
- zákazníci, kteří požadují vyšší kvalitu a spolehlivost dodávek elektřiny a zároveň jsou ochotni zaplatit i vyšší cenu

V tomto případě je výše uvedené rozdělení dáno typem zákazníka a účelem využívání elektrické energie. Každý typ zákazníka má různé požadavky na kvalitu a spolehlivost dodávané elektřiny. Dále je také důležitým faktorem zkušenost zákazníka s kvalitou a spolehlivostí ve svém odběrném místě.

Obecně lze říci, že s klesající spolehlivostí a kvalitou dodávek elektřiny rostou škody jednotlivých odběratelů. Zajištění vyšší kvality však přináší nemalé náklady na straně provozovatele dané distribuční soustavy, které v konečném důsledku opět zaplatí zákazníci. Tyto náklady můžeme rozdělit na investiční a provozní. Optimální úroveň kvality a spolehlivosti je dána minimem celkových nákladů. Na následujícím obrázku je znázorněna závislost mezi náklady provozovatelů distribučních soustav, škodami zákazníků a kvalitou a spolehlivostí. Oblastí ekonomických aspektů se zabývá habilitační práce Z. Medvece: *Spolehlivost elektroenergetické soustavy v souvislosti s oceněním nedodané elektrické energie* [5].



Obr. č. 2: Závislost kvality a spolehlivosti na nákladech [9]

2.6. Oceňování přerušení dodávky elektřiny

Oceňování přerušení dodávky elektřiny či oceňování nedodané energie je velice složité. Výsledky jsou závislé na vstupních datech, použité metodě a interpretaci výsledků. Tato oblast není příliš často v odborné literatuře řešena, v rámci této práce jsem čerpal z poznatků rozsáhlé zprávy CEER „*Guidelines of Good Practice on Estimation of Costs due to Electricity Interruptions and Voltage Disturbances*“, která vyšla v roce 2010. [8]

Studie oceňování jsou důležitým nástrojem při odhadu optimální úrovně nepřetržitosti distribuce, přičemž tato úroveň se liší podle typu regionů – město/venkov a typu zákazníků – domácnost/maloodběratel/velkoodběratel. Dále má na tuto úroveň v průběhu času vliv změna vybavení zákazníků, jejich požadavky a investiční náklady.

Oceňování přerušení musí odrážet nejen skutečné náklady u zákazníků, ale i jejich ochotu zaplatit za vyšší kvalitu a ochotu akceptovat kompenzaci v případě nižší kvality.

Zpráva CEER se oceňování přerušení věnuje výhradně prostřednictvím průzkumů u zákazníků a rozděluje proces získání ocenění do následujících kroků: [8]

- definice cílů
- specifikace skupin zákazníků
- výběr metody odhadu
- výběr normalizačních faktorů a očištění dat
- kontrola dostupnosti dat
- výběr metody provedení průzkumu
- návrh a otestování dotazníků a scénářů
- volba vzorku (počet respondentů)
- provedení průzkumu
- zpracování průzkumu a výsledky [8]

Definice cílů

Pro správné zvolení cíle a použití výsledků je nutné si uvědomit, zda je nutné pokrýt všechny typy zákazníků nebo jen určité skupiny, a které druhy přerušení (čas nebo četnost) jsou důležité. Dále se uvažují finanční možnosti, které mohou limitovat realizaci průzkumu. [8]

Skupiny zákazníků

Je doporučeno, aby se specifikace skupin zákazníků kryla se statistickou klasifikací ekonomických činností v Evropském společenství. Skupiny jsou např.: domácnosti, komerční služby, veřejné služby, průmysl (mimo velkých zákazníků), velcí zákazníci (tj. energeticky nároční), infrastruktura. Pro některé země může být vhodné vyčlenit i některé zvláštní zákazníky (např. zemědělství). [8]

Metody odhadu

Pro různé typy zákazníků je doporučeno několik metod zjišťování odhadu nákladů na přerušení. Mezi tyto metody patří přímé ocenění „Direct Worth“, podmíněné oceňování, preferenční analýza, metoda přípravné akce a metoda preventivních nákladů. Pro každý typ zákazníka jsou vhodné různé metody. Například pro domácnosti se hodí metody přímého oceňování, podmíněného oceňování a metoda přípravné akce. Tyto metody jsou podrobněji rozepsány ve výše uvedené zprávě CEER, kde se také nachází vhodné metody pro různý typ zákazníka. [8]

Normalizační faktory

Je doporučováno, aby při zpracování dat z průzkumů byly prostřednictvím normalizačních faktorů zohledněny velikosti odběrů jednotlivých zákazníků pomocí např. roční spotřeby, průměrného zatížení, maximálního zatížení nebo přerušeného výkonu. Jde tedy o normalizaci ocenění uvedených jednotlivými zákazníky na vyjádření např. v Kč/kWh nebo Kč/kW. (Velikosti odběrů zákazníků jsou i v rámci jedné kategorie různé.)

Volba normalizačních faktorů je závislá na specifikách dané země a dostupných datech. Při zpracování dotazníků je obvykle třeba se vypořádat s neúplnými údaji nebo evidentně nesmyslnými hodnotami. To vede k pravidlům, podle kterých dojde k úplnému vyřazení dotazníku nebo k využití pouze některých dat. [8]

Dostupná data

Při tvorbě dotazníků je potřeba redukovat počet otázek –při zachování nutné informační hodnoty. Snižuje se tak čas potřebný na vyplnění dotazníků, čímž se zvyšuje ochota zákazníků se takovému dotazníku věnovat. Větší počet otázek, jejich přílišné členění, podrobnosti nebo příliš technické formulace (pro zákazníka nedostupné nebo nepochopitelné) by mohly vést k nevyplnění dotazníků či k poskytnutí nepodložených nebo nesmyslných údajů. Přílišná složitost má za následek znehodnocení úsilí a čas věnovaný jeho přípravě a realizaci. [8]

Metody průzkumu

Průzkum může být proveden několika způsoby, nejčastěji se používá dotazování pomocí pošty, telefonu, přes internet nebo přímo osobní dotazování. Pro různý typ zákazníka se opět hodí jiná metoda průzkumu. [8]

Návrh dotazníku

Dotazník by měl mít dvě části – otázky charakterizující odběr zákazníka a otázky týkající se odhadu ocenění pro různé scénáře. Je vhodné nejdříve provést testovací průzkum na malém počtu respondentů (přednostně osobní formou) a následně na statisticky významném vzorku. [8]

3. Kvalita dodávek elektřiny

Elektrická energie je v liberalizovaném prostředí zboží, které musí mít jasně definovanou kvalitu. Kvalita elektřiny lze rozdělit do třech základních oblastí, pomocí kterých lze specifikovat požadovanou úroveň služeb poskytovanou jednotlivým odběratelům.

Technické vlastnosti (kvalita napětí)

Kvalita napětí je soubor možných odchylek napěťových charakteristik od předepsaných hodnot. Jedná se o ryze technické aspekty elektřiny, jako jsou např. odchylky napájecího napětí, napěťové poklesy, harmonická napětí, přepětí, flickr atd. [6], [7]

Dostupnost elektřiny (nepřetržitost)

Nepřetržitost je charakterizována počtem a dobou trvání přerušení přenosu či distribuce elektřiny. Tato oblast přímo souvisí s provozem přenosových či distribučních soustav a je charakterizována ukazateli nepřetržitosti. [6], [7]

Rychlost a přesnost, s kterou jsou požadavky zákazníka řešeny (obchodní kvalita)

Tato práce tuto část nebude reflektovat.

3.1. Kvalita napětí

Odběratel elektrické energie požaduje dodávku elektrické energie v požadovaném množství a kvalitě. Množství je charakterizováno dodávkou elektrické práce, což představuje proudové zatížení elektrizační soustavy v závislosti na místě připojení odběratele. Kvalita elektrické energie znamená dodržení parametrů dodávky odběrového množství v příslušné hodnotě ze systému, který provádí dodávku. Parametry elektrické energie – systémové veličiny tedy jsou:

- frekvence
- napětí

Elektrická energie vyrobená v elektrárnách v předepsané standardní kvalitě se prostřednictvím elektrizační soustavy (ES), tj. přenosových (PS) a distribučních sítí (DS), dodává až ke konečnému odběrateli. Během této cesty působí na elektrickou energii mnoho vnějších faktorů, které mohou mít vliv na konečnou kvalitu elektrické energie. Mezi takové faktory lze zařadit například:

- atmosférické vlivy (např. účinek blesku)
- vlivy způsobené používáním některých elektrických spotřebičů (např. elektronické regulátory výkonu a otáček, napájecí zdroje elektronických přístrojů apod.)
- vlivy způsobené nutnými provozními manipulacemi v síti
- působení ochranných a automatizačních prostředků sloužících k omezení poruchových stavů v sítích
- časté spínání velkých spotřebičů

Nejdůležitějším dokumentem v oblasti kvality napětí je evropská norma EN 50 160, která popisuje veškeré defekty kvality napětí a pro většinu z nich stanovuje i požadované či orientační hodnoty. Postupy a metody pro měření kvality jsou následně stanoveny evropskou normou EN 61000-4-30. Cílem je zajistit eliminaci rušení (směrnice EMC) a minimalizovat možné škody. Z tohoto důvodu je důležité stanovit maximální možné úrovně rušení a zároveň stanovit odpovědnost jednotlivých účastníků trhu na této problematice. Proto mají i v této oblasti nezbytnou úlohu regulační orgány a instituce stanovující daná pravidla a příslušné normy.

Kvalita elektrické energie je udávána provozními hodnotami (charakteristikami) systémových veličin, které jsou garantovány provozovatelem sítě během normálního stavu elektrizační soustavy. Jednotlivé kvalitativní ukazatele specifikují:

- kmitočet sítě
- velikost napájecího napětí
- odchylky napájecího napětí
- rychlé změny napětí
- krátkodobé poklesy napájecího napětí
- krátkodobá přerušení napájecího napětí
- dlouhodobá přerušení napájecího napětí
- dočasná přepětí o síťovém kmitočtu mezi živými vodiči a zemí
- přechodná přepětí mezi živými vodiči a zemí
- nesymetrie napájecího napětí
- harmonická napětí
- mezi-harmonická napětí úrovně napětí signálů v napájecím napětí

Norma následně definuje kvalitu dodávky elektrické energie jako vyhodnocení odchylek technických parametrů dodávané elektrické energie od hodnot určených (dohodnutých nebo obecných). Podrobněji se problematikou kvality napětí zabývají publikace J. Tlustého: *Kvalita elektrické energie* [6] a *Energetická rušení v distribučních a průmyslových sítích* [7].

3.2. Nepřetržitost dodávek

Nepřetržitost dodávek elektřiny je jedním z nejdůležitějších požadavků zákazníka (odběratele). Tento požadavek je však pro provozovatele soustavy ekonomicky i technicky náročný. Nepřetržitost dodávek (někdy označována i jako plynulost dodávek) je oblastí kvality elektřiny, která se zabývá omezením či přerušením dodávek elektřiny. Tato problematika se týká situací, kdy nastane u zákazníka omezení nebo úplné přerušování dodávky elektřiny.

3.2.1. Ukazatele nepřetržitosti

Nepřetržitost dodávek je charakterizována ukazateli nepřetržitosti. Pomocí těchto ukazatelů můžeme hodnotit úroveň kvality dodané elektřiny. Pro provozovatele soustav jsou ukazatele nepřetržitosti zdrojem cenných informací při obnově či rozvoji sítí, ale zároveň slouží pro porovnání dosažení vlastních cílů či srovnání s ostatními společnostmi (konkurencí). Zákazníci jsou pomocí ukazatelů informováni o úrovni kvality v dané oblasti, což je například stále častěji využíváno investory při rozhodování o umístění závodu (odběru).

Ukazatele nepřetržitosti dodávek elektřiny jsou obecně definovány technickými předpisy, jako je například *IEEE Std 1366™-2003: Guide for Electricity Power Distribution Reliability Indices* [12], respektive *IEEE Std 1366™-2012* [13]. Dalším nezbytným materiálem v této oblasti je technická zpráva sdružení *CENELEC TR 50 555: Interruption indexes* [14], která definuje základní pojmy a ukazatele. Z těchto základních dokumentů čerpají ostatní závazné předpisy, jako jsou vyhlášky, normy či pravidla provozování přenosových a distribučních soustav.

Zde je potřeba říci, že každá země používá k vyhodnocení spolehlivosti jiné ukazatele případně jiné kombinace ukazatelů. Což je dáno historickým vývojem, zkušeností a předmětu zájmu v této oblasti. Ačkoliv se výše uvedené dokumenty snaží o sjednocení problematiky, existuje stále řada rozdílů ve výpočtu jednotlivých ukazatelů. Nejednotnost v této oblasti tak značně ztěžuje porovnávání dosahované úrovně ukazatelů v jednotlivých zemích. Další vliv na hodnoty těchto ukazatelů může mít způsob sběru dat.

Práce se dále věnuje samotným ukazatelům nepřetržitosti. [12], [13], [14]

SAIFI (System average interruption frequency index)

Následující ukazatele se využívají pro hodnocení dlouhodobých přerušování. Ukazatel SAIFI udává, jak často je průměrný zákazník postižen přerušením v průběhu předem stanoveného časového období.

$$SAIFI = \frac{\sum \text{celkový počet zákazníků postižených přerušením}}{\text{celkový počet připojených zákazníků}} = \frac{\sum N_i}{N_T} \quad (5)$$

Kde N_i je počet zákazníků postižených dlouhodobým přerušením způsobeným danou událostí.

N_T je celkový počet připojených zákazníků.

SAIDI (System average interruption duration index)

Ukazatel udává celkovou dobu trvání přerušování pro průměrného zákazníka v průběhu předem určené doby. Obvykle se udává v minutách za daný kalendářní rok.

$$SAIDI = \frac{\sum \text{doba trvání dlouhodobého přerušování u zákazníka}}{\text{celkový počet připojených zákazníků}} = \frac{\sum r_i N_i}{N_T} \quad (6)$$

Kde r_i je doba trvání dlouhodobého přerušování.

CAIDI (Customer average interruption duration index)

Ukazatel představuje průměrnou dobu potřebnou k obnovení dodávky.

$$CAIDI = \frac{\sum \text{doba trvání přerušení u zákazníka}}{\sum \text{celkový počet přerušení u zákazníků}} = \frac{\sum r_i N_i}{\sum N_i} = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (7)$$

CTAIDI (Customer total average interruption duration index)

Ukazatel představuje celkovou průměrnou dobu ve sledovaném období, kdy zákazníci, kteří skutečně byli postiženi dlouhodobým přerušením, byli bez dodávky. Tento index je variantou ukazatele CAIDI, s tou výjimkou, že zákazníci s více přerušeními ve sledovaném období se počítají pouze jednou (do jmenovatele).

$$CTAIDI = \frac{\sum \text{doba trvání dlouhodobého přerušení u zákazníka}}{\text{celkový počet zákazníků postižených dlouhodo ým přerušením}} = \frac{\sum r_i N_i}{CN} \quad (8)$$

CAIFI (Customer average interruption frequency index)

Ukazatel udává průměrnou četnost trvalých dlouhodobých přerušení pro ty zákazníky, u kterých dochází k přerušení. Každý zákazník se počítá (do jmenovatele) pouze jednou bez ohledu na počet přerušení v daném časovém intervalu.

$$CAIFI = \frac{\sum \text{celkový počet zákazníků postižených dlouhodo ým přerušením}}{\text{celkový počet zákazníků postižených dlouhodo ým přerušením}} = \frac{\sum N_i}{CN} \quad (9)$$

ASAI (Average service availability index)

Ukazatel uvádí průměrnou dostupnost služeb (často v procentech), které zákazník získal během hodnoceného období.

$$ASAI = \frac{\text{dostupnost zákaznických služeb}}{\text{požadavek na zákaznické služby}} = \frac{N_T \times (\text{počet hodin za rok}) - \sum r_i N_i}{N_T \times (\text{počet hodin za rok})} \quad (10)$$

CEMI_n (Customers experiencing multiple interruptions)

Ukazatel udává poměr zákazníků, kteří zaznamenali více než n trvalých přerušení v daném období na celkovém počtu zákazníků.

$$CEMI_n = \frac{\sum \text{celkový počet zákazníků s více než } n \text{ přerušením}}{\text{celkový počet připojených zákazníků}} = \frac{\sum CN_{(k>n)}}{N_T} \quad (11)$$

ASIFI (Average system interruption frequency index)

Výpočet ukazatele je oproti předchozím zákaznickým ukazatelům založen na hodnocení zatížení (odběru). ASIFI se používá v oblastech, kde je relativně málo zákazníků, ale mají velké odběry (převážně průmyslové subjekty).

$$ASIFI = \frac{\sum \text{celkový odběr odpojený během přerušení (kVA)}}{\text{celkový odběr v dané oblasti (kVA)}} = \frac{\sum L_i}{L_T} \quad (12)$$

L_i – odběr (zatížení) odpojený přerušením způsobený danou událostí

L_T – celkový odběr (zatížení) v dané oblasti v kVA

ASIDI (Average system interruption duration index)

Obdoba ukazatele ASIFI založeného na zatížení (odběru) nikoliv na postižených zákaznících jako ukazatel SAIDI.

$$ASIDI = \frac{\sum \text{odběr odpojený běhe trvání přerušeni (kVA)}}{\text{celkový odběr v dané oblasti (kVA)}} = \frac{\sum r_i L_i}{L_T} \quad (13)$$

MAIFI (Momentary average interruption frequency index)

Následující ukazatel je využíván pro hodnocení krátkodobých přerušeni. Ukazatel MAIFI uvádí průměrnou četnost krátkodobých přerušeni. Další variace tohoto ukazatele vyjímá z výpočtu OZ (opětovné zapnutí).

$$MAIFI = \frac{\sum \text{celkový počet zákazníkù postižených krátkodobým přerušeni}}{\text{celkový počet připojených zákazníkù}} = \frac{\sum IM_i N_{mi}}{N_T} \quad (14)$$

IM_i – počet krátkodobých přerušeni

N_{mi} – počet zákazníkù postižených krátkodobým přerušeni způsobených danou událostí

CEMSMI_n (Customers experiencing multiple sustained interruption and momentary interruption events)

Ukazatel uvádí poměr jednotlivých zákazníkù, u kterých dochází k více než n dlouhodobým a krátkodobým přerušeni na celkovém počtu připojených zákazníkù. Ukazatel slouží k identifikaci „problémových“ zákazníkù, kteří nejsou odhaleni systémovými ukazateli uvedenými výše.

$$CEMSMI_n = \frac{\sum \text{celkový počet zákazníkù s více jak } n \text{ přerušeni}}{\text{celkový počet připojených zákazníkù}} = \frac{\sum CNT_{(k>n)}}{N_T} \quad (15)$$

3.2.2. Ukazatele kvality využívané v ČR

V České republice jsou ukazatele nepřetržitosti dány vyhláškou o kvalitě č. 540/2005 Sb. V další části je uveden výpočet jednotlivých ukazatelù pro oblast přenosu a distribuce. Událostí se pro účely výpočtù rozumí stav v přenosové nebo distribuční soustavě, který vedl k přerušeni přenosu nebo distribuce elektřiny dané kategorie na napěťové hladině.

Ukazatele se vypočítávají pouze z dlouhodobých přerušeni přenosu nebo distribuce elektřiny, tj. přerušeni s dobou trvání nad 3 minuty. Začátkem přerušeni přenosu nebo distribuce elektřiny pro výpočet ukazatelù je okamžik, kdy se provozovatel přenosové soustavy nebo provozovatel distribuční soustavy dozvěděl o vzniku přerušeni nebo kdy vznik přerušeni mohl a měl zjistit. Tato část čerpá z výše zmíněné vyhlášky 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, ve znění vyhlášky č. 41/2010 Sb. [16].

Ukazatel nepřetržitosti přenosu elektřiny

Průměrná doba trvání jednoho přerušení přenosu elektřiny v roce

$$t_{ph} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (16)$$

i – pořadové číslo přerušení přenosu elektřiny v hodnoceném roce

n – roční počet přerušení přenosu elektřiny

t_i – doba trvání i -tého přerušení přenosu elektřiny

Nedodaná elektrická energie v roce

$$W_{ned} = \sum_{i=1}^n t_i P_{ned,i} \quad (17)$$

$P_{ned,i}$ – výkon dopravovaný účastníkovi trhu s elektřinou do předávacího místa z přenosové soustavy, ve které došlo k i -tému přerušení přenosu elektřiny, těsně před tímto přerušením

Ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny

Hladinové ukazatele

Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině h v hodnoceném období

$$SAIFI_h = \frac{\sum_j n_{jh}}{N_{sh}} \quad (18)$$

h – napěťová hladina (NN, VN, VVN)

j – pořadové číslo události v hodnoceném období

n_{jh} – celkový počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h , jimž bylo způsobeno přerušení distribuce elektřiny dané kategorie v důsledku j -té události

N_{sh} – celkový počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h ke konci předchozího kalendářního roku

Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině h v hodnoceném období

$$SAIDI_h = \frac{\sum_j t_{sj}}{N_{sh}} \quad (19)$$

t_{sj} – je součet všech dob trvání přerušení distribuce elektřiny v důsledku j -té události u jednotlivých zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h , jimž byla přerušena distribuce elektřiny

$$t_{sj} \sum_i t_{ji} n_{jhi} \quad (20)$$

i – pořadové číslo manipulačního kroku v rámci j -té události

N_{jhi} – je počet zákazníků přímo napájených z napěťové hladiny h , jimž bylo způsobeno přerušení distribuce elektřiny dané kategorie v i -tém manipulačním kroku j -té události

Průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků na napěťové hladině h v hodnoceném období

$$CAIDI_h = \frac{SAIDI_h}{SAIFI_h} \quad (21)$$

Systémové ukazatele

Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období

$$SAIFI_h = \frac{\sum_h \sum_j n_{jh}}{N_s} \quad (22)$$

N_s – celkový počet zákazníků v soustavě (na hladinách NN, VN a VVN) ke konci kalendářního roku

Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků soustavě v hodnoceném období

$$SAIDI_s = \frac{\sum_h \sum_j t_{sj}}{N_s} \quad (23)$$

Průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v soustavě v hodnoceném období

$$CAIDI_s = \frac{SAIDI_s}{SAIFI_s} \quad (24)$$

3.2.3. Přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny

Přerušení dodávek elektřiny je obecně definováno technickými předpisy jako je EN 50 160, CENELEC TR 50 555 aj. Obvykle je za přerušení považováno poklesnutí napětí pod určitou úroveň trvajícím po danou dobu. Přerušení lze z pohledu délky trvání rozdělit na dlouhodobá a krátkodobá. Definice dlouhodobých a krátkodobých přerušení není ve všech zemích jednotná. Nejčastěji je považováno za dlouhodobé přerušení takové, které je delší jak tři minuty. Za krátkodobé je považováno přerušení kratší jak tři minuty. V některé literatuře se objevuje i třetí kategorie přerušení, a to „transientní“,

jejich hranice se pohybuje okolo 20 ms, ale v praxi se příliš často tato kategorie nevyužívá.

Dále můžeme přerušení dělit podle příčiny jeho vzniku. Z tohoto pohledu lze přerušení rozdělit na dvě hlavní oblasti – plánovaná a neplánovaná. Plánovaná přerušení musí být dotčeným zákazníkům oznámena danou společností určitou dobu v předstihu. V ČR je lhůta pro oznámení plánovaných přerušení dána energetickým zákonem a pro přerušení distribuce se jedná o oznámení minimálně 15 dnů předem. Neplánovaná přerušení jsou všechna taková přerušení, která nejsou plánovaná.

Zároveň jsou přerušení zkoumána z pohledu jejich vzniku. Zde se jedná především o hodnocení jednotlivých napěťových úrovní či konkrétních prvků soustavy. Tato členění se dělí podle potřeby zájmů společností či jiných institucí. [9]

Kategorie přerušení využívané v ČR

Mezi základní pojmy při určování spolehlivosti v PS a DS patří přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny, dlouhodobé přerušení, plánované přerušení a ukončení přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny. Význam těchto pojmů je mimo jiné definován vyhláškou č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, ve znění vyhlášky č. 41/2010 Sb. [16]. Pro tyto účely se rozumí:

Přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny – stav v odběrném nebo předávacím místě účastníka trhu s elektřinou, při kterém není přenosová nebo distribuční soustava schopna dopravovat do tohoto místa elektřinu; za přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny není považován stav, jehož příčinou je elektrické zařízení zákazníka nebo elektrická přípojka, která není ve vlastnictví provozovatele distribuční soustavy a není provozovatelem distribuční soustavy provozována podle § 45 odst. 6 energetického zákona, nebo společné elektrické zařízení v nemovitosti,

Dlouhodobé přerušení – přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny s dobou trvání delší než 3 minuty,

Plánované přerušení – přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny při provádění plánovaných prací na zařízení přenosové nebo distribuční soustavy nebo v jejich ochranném pásmu podle § 24 odst. 3 písm. c) bodu 6 a odst. 5 a § 25 odst. 4 písm. c) bodu 5 a odst. 6 energetického zákona,

Ukončení přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny – okamžik obnovení schopnosti přenosové nebo distribuční soustavy dopravovat do odběrného nebo předávacího místa účastníka trhu s elektřinou elektřinu v množství a kvalitě podle technických norem a uzavřených smluv; ukončením přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny se rozumí i stav náhradního napájení odběrného nebo předávacího místa včetně případného omezení množství dodávané elektřiny, které je sjednáno ve smlouvě o distribuci elektřiny nebo ve smlouvě o sdružených službách dodávky elektřiny.

Podle příčiny se přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny dělí na následující:

1. neplánované – přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny, které není plánovaným přerušením. Neplánované přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny se dále dělí na:

1.1. poruchové – přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny při vzniku a odstraňování poruchy na zařízení provozovatele přenosové soustavy podle § 24 odst. 3 písm. d) bodu 7 energetického zákona nebo provozovatele distribuční soustavy podle § 25 odst. 4 písm. c) bodu 6 energetického zákona a přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny způsobené chybným nebo bezdůvodným vypnutím zařízení přenosové nebo distribuční soustavy jejím provozovatelem. Poruchové přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny se dále dělí na:

1.1.1. způsobené poruchou mající původ v zařízení přenosové nebo distribuční soustavy provozovatele soustavy nebo jejím provozu,

1.1.1.1. za obvyklých povětrnostních podmínek – přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny způsobené poruchou, které není přerušením přenosu nebo distribuce elektřiny způsobeným poruchou za nepříznivých povětrnostních podmínek,

1.1.1.2. za nepříznivých povětrnostních podmínek – přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny způsobené vlivem nepříznivých povětrnostních podmínek, jestliže provozovatel přenosové nebo distribuční soustavy takovou skutečnost do 10 pracovních dnů ode dne, ve kterém k přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny došlo, oznámí a prokáže Úřadu.

1.1.2. způsobené v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby,

1.2. vynucené – přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny z důvodů podle § 24 odst. 3 písm. c) bodu 1 nebo § 25 odst. 4 písm. c) bodu 1 energetického zákona,

1.3. mimořádné – přerušení přenosu nebo distribuce při stavech nouze nebo předcházení stavu nouze podle § 24 odst. 3 písm. c) bodu 2 nebo § 25 odst. 4 písm. c) bodu 2 energetického zákona,

1.4. v důsledku události mimo přenosovou nebo distribuční soustavu provozovatele soustavy a u výrobce,

2. plánované – přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny podle § 2 písm. c) vyhlášky. [16]

4. Současný stav kvality a spolehlivosti v ČR

V této části práce se zaměřím na současný stav kvality a spolehlivosti dodávky elektrické energie v České Republice. Hodnocením dosahované úrovně kvality se v ČR zabývá ERÚ. Níže uvedená data jsem získal z *Roční zprávy o provozu ES ČR pro rok 2016* [10] a *Zpráve o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2016* [11].

Znalost současné úrovně kvality v ČR je základním předpokladem pro srovnání této úrovně s ostatními státy EU a navržení možností pro zlepšení kvality.

Tato část je rozdělena na data pro přenosovou soustavu a distribuční soustavu. V další kapitole budou tyto ukazatele porovnány se zahraničními hodnotami ukazatelů.

4.1. Přenosová soustava

Přenosovou soustavou se ve smyslu energetického zákona rozumí vzájemně propojený soubor vedení a zařízení 400 kV, 220 kV a vybraných vedení a zařízení 110 kV sloužící pro zajištění přenosu elektřiny pro celé území České republiky a propojení s elektrizačními soustavami sousedních států, včetně systémů měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky.

Úroveň kvality v přenosové soustavě je určena ukazateli nepřetržitosti přenosu podle § 21 *vyhlášky o kvalitě* [16]. Pro provozovatele přenosové soustavy jsou vyhláškou definovány následující ukazatele:

- průměrná doba trvání jednoho přerušení přenosu elektřiny v kalendářním roce (min)
- nedodaná elektrická energie v kalendářním roce (MWh)

Profil společnosti ČEPS, a.s.	
Množství elektřiny přenesené přenosovou soustavou na výstupu [GWh]	62 914
Délka vedení 400 kV [km]	3 724
Délka vedení 220 kV [km]	1 909
Počet transformátorů 400/110 kV [-]	48
Počet transformátorů 220/110 kV [-]	21

Tab. č. 2: Profil společnosti ČEPS [11]

Ukazatele nepřetržitosti přenosu v roce 2016	
Počet přerušení přenosu elektřiny v roce [-]	3
Celková doba trvání přerušení přenosu elektřiny v roce [min]	37
Průměrná doba trvání jednoho přerušení přenosu elektřiny v roce [min]	12,3
Nedodaná elektrická energie v roce [MWh]	45

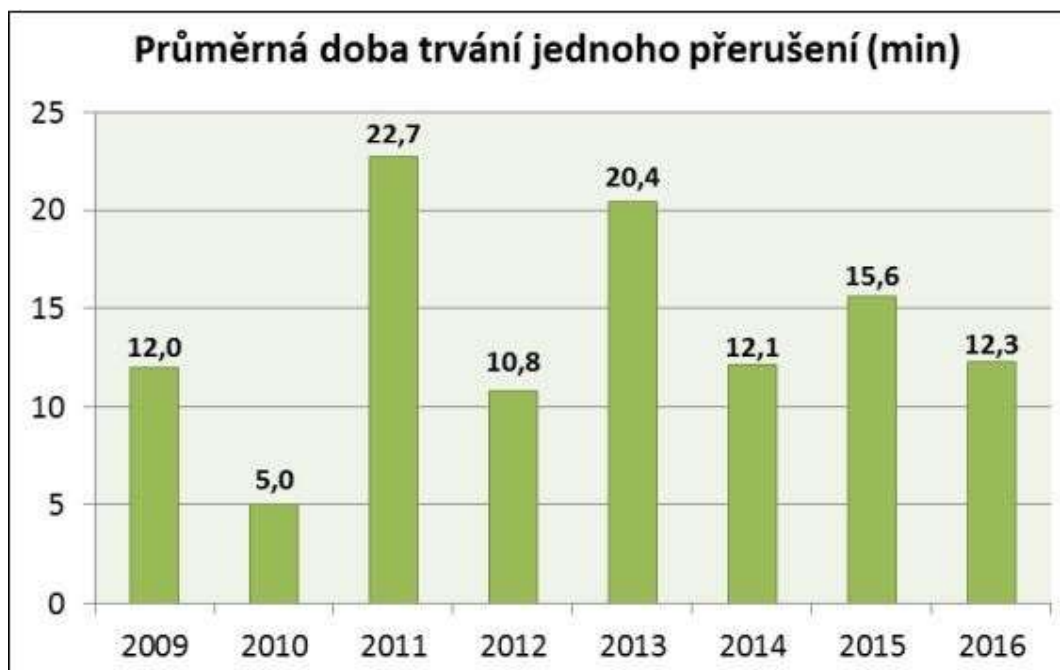
Tab. č. 3: Ukazatele nepřetržitosti PS za rok 2016 [11]



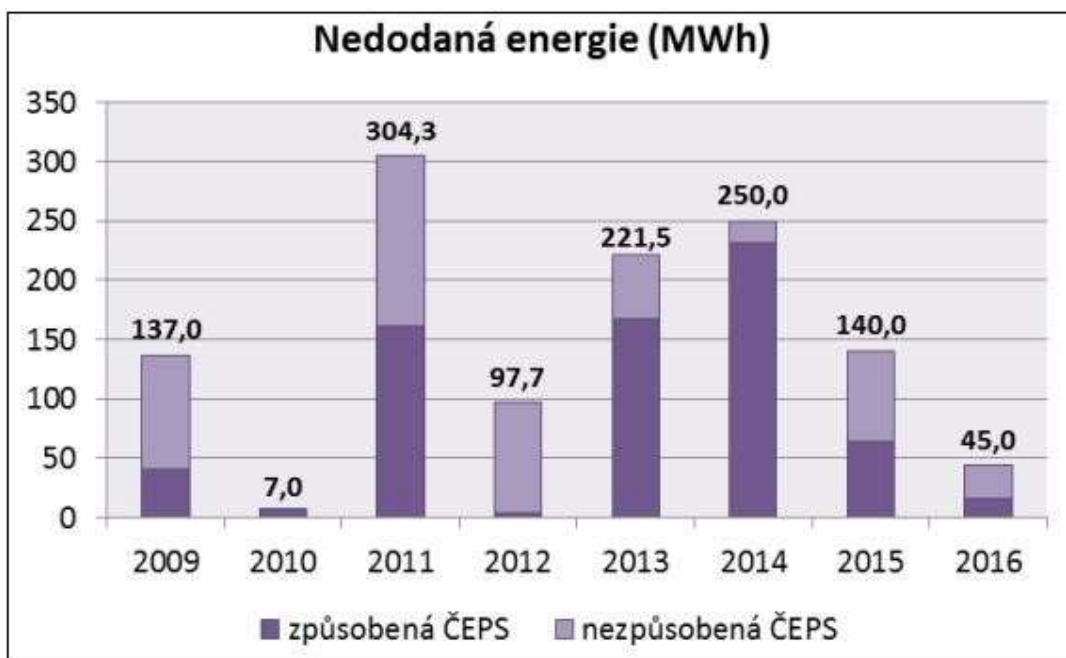
Obr. č. 3: Počet přerušení přenosu [11]



Obr. č. 4: Doba trvání přerušeni přenosu [11]



Obr. č. 5: Průměrná doba trvání jednoho přerušeni v PS [11]



Obr. č. 6: Nedodaná energie z pohledu PS [11]

Z těchto grafů lze vyčíst, že ačkoliv v roce 2012 byla nejnižší průměrná doba trvání za sledované období nejnižší, v dalších dvou letech se nepodařilo udržet tuto hodnotu na tak nízké úrovni a paradoxně byla za sledované období až dvojnásobná oproti roku 2012. V roce 2015 tato hodnota opět vzrostla na 15,6; ale v roce 2016 znovu klesla. Co se týče nedodané energie, tak roky 2013 a 2014 sice vykazují vysokou hodnotu nedodané energie – 250 MWh, ale jedná se o zlepšení oproti roku 2011, kdy byla hodnota „rekordní“ – 304,3 MWh. V dalších letech nedodaná elektrická energie postupně klesá, v roce 2016 hodnota nedodané energie dosáhla 45 MWh. Hodnoty ukazatelů nepřetržitosti výrazně kolísají v jednotlivých letech, což je způsobeno především počtem přerušení a z tohoto důvodu je velice obtížné predikovat další vývoj. V posledních letech se však tyto ukazatele začínají zlepšovat.

4.2. Distribuční soustava

Úroveň kvality v distribučních soustavách je určena ukazateli nepřetržitosti distribuce elektřiny podle § 21 vyhlášky o kvalitě [16]. Vyhláškou jsou definovány následující ukazatele nepřetržitosti:

- *průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období (SAIFI)*
- *průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období (SAIDI),*
- *průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období (CAIDI)*

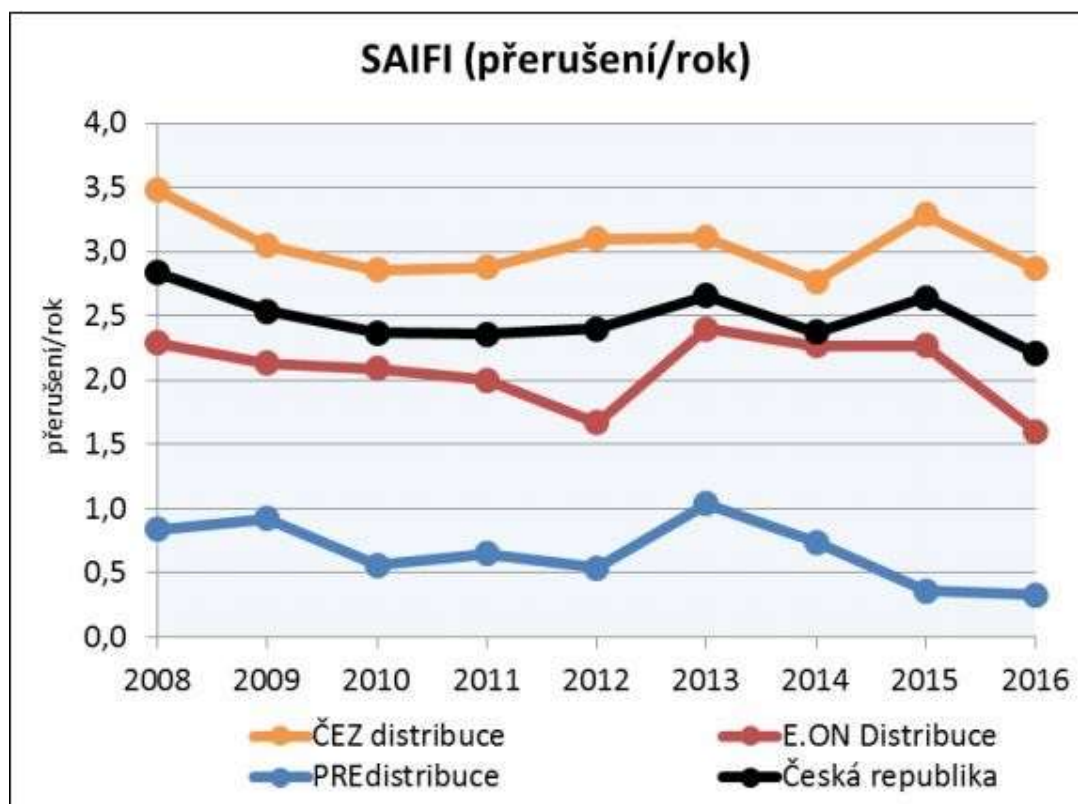
Je třeba říci, že vzhledem k velkým rozdílům v sítích jednotlivých provozovatelů distribučních soustav (charakter jednotlivých sítí, způsob zapojení sítí, hustota odběru a počet zákazníků) není možné mezi sebou ukazatele nepřetržitosti jednoduše porovnávat.

Ukazatele se skládají jak z přerušení dodávek plánovaných, tak i neplánovaných. To je důležitý fakt z pohledu zlepšení kvality dodávek. Je důležité zohlednit situace, které provozovatel soustavy může nebo nemůže ovlivnit.

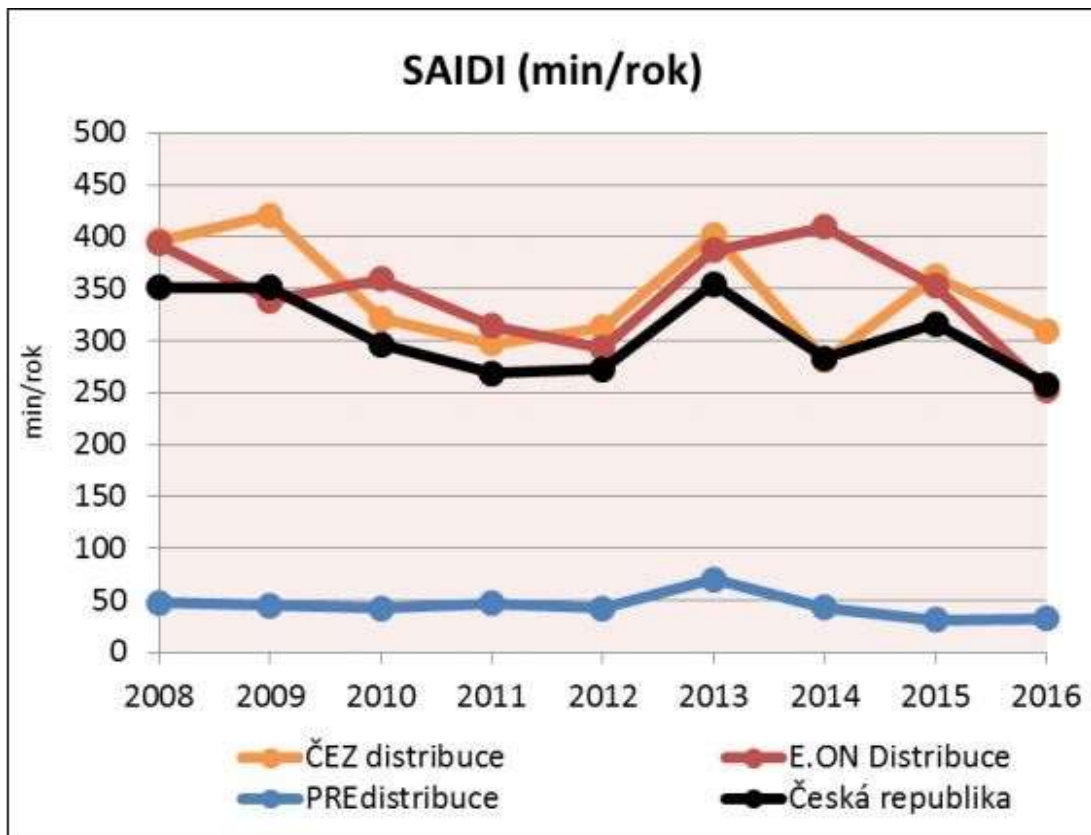
V plánování přerušení vidím největší potenciál snížení ukazatelů nepřetržitosti. Jedním z řešení by mohla být lepší koordinace přerušení. Spojování jednoho přerušení pro provádění více činností na vypnutém zařízení např. oprava, revize, rekonstrukce či údržba. Tímto problémem se tato práce bude zabývat v pozdějších kapitolách.

Ukazatel*	ČEZ Distribuce	E.ON Distribuce	PREdistribuce	Česká republika
SAIFI [přerušení/rok]	2,87	1,60	0,33	2,21
SAIDI [min/rok]	309,64	252,14	32,52	258,29
CAIDI [min]	107,86	157,56	99,34	116,96

Tab. č. 4: Ukazatele nepřetržitosti DS za rok 2016 [11]



Obr. č. 7: Vývoj ukazatele SAIFI v DS [11]



Obr. č. 8: Vývoj ukazatele SAIDI v DS [11]

Z výše uvedených grafů lze vidět, že průběhy ukazatelů SAIFI a SAIDI v období roků 2008 až 2016 se daří držet na podobných úrovních. Bylo by dobré, kdyby se provozovatelé distribučních soustav pokoušeli tyto ukazatele do budoucna snížit.

5. Srovnání stavu ČR se zahraničím a možnosti zlepšení

V této části práce se zaměřuji na srovnání kvality dodávek elektřiny jednotlivých států EU a ČR, dále uvádím opatření vedoucí ke zlepšení ukazatelů nepřetržitosti, což by mělo za následek zlepšení postavení ČR v žebříčku kvality dodávek elektřiny.

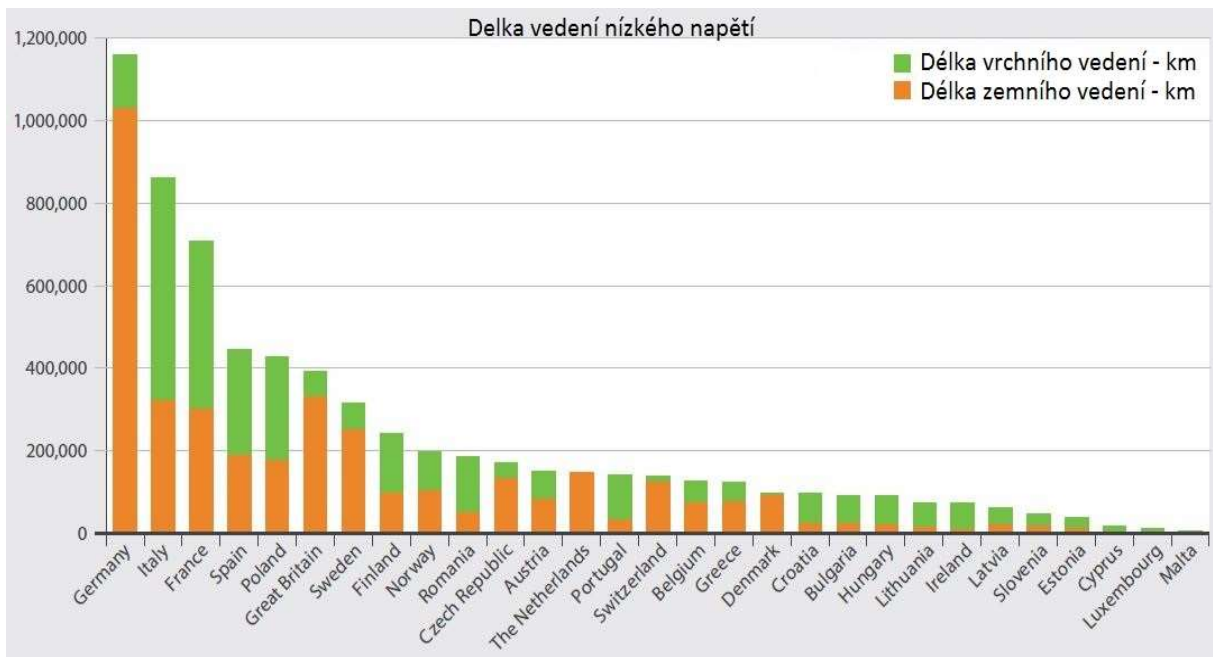
5.1. Srovnání stavu ČR se zahraničím

Srovnání kvality dodávek elektřiny v jednotlivých státech EU je dost náročné a zavádějící. Každá země má jiné geografické a přírodní podmínky, což může vážně ovlivnit výskyt neplánovaných přerušení, dalšími rozdíly jsou např. jiný charakter, způsob provozu a stav sítě (podíl kabelových vedení, stáří sítě atd.). Dále je také nutno vzít v úvahu hustotu a charakter odběrů. Je důležité říci, že každá země má různé přístupy i historické zkušenosti se sledováním dosahované kvality. Rozdíly jsou například v určení dlouhodobého a krátkodobého přerušení, rozlišení mezi plánovaným a neplánovaným přerušením atd.

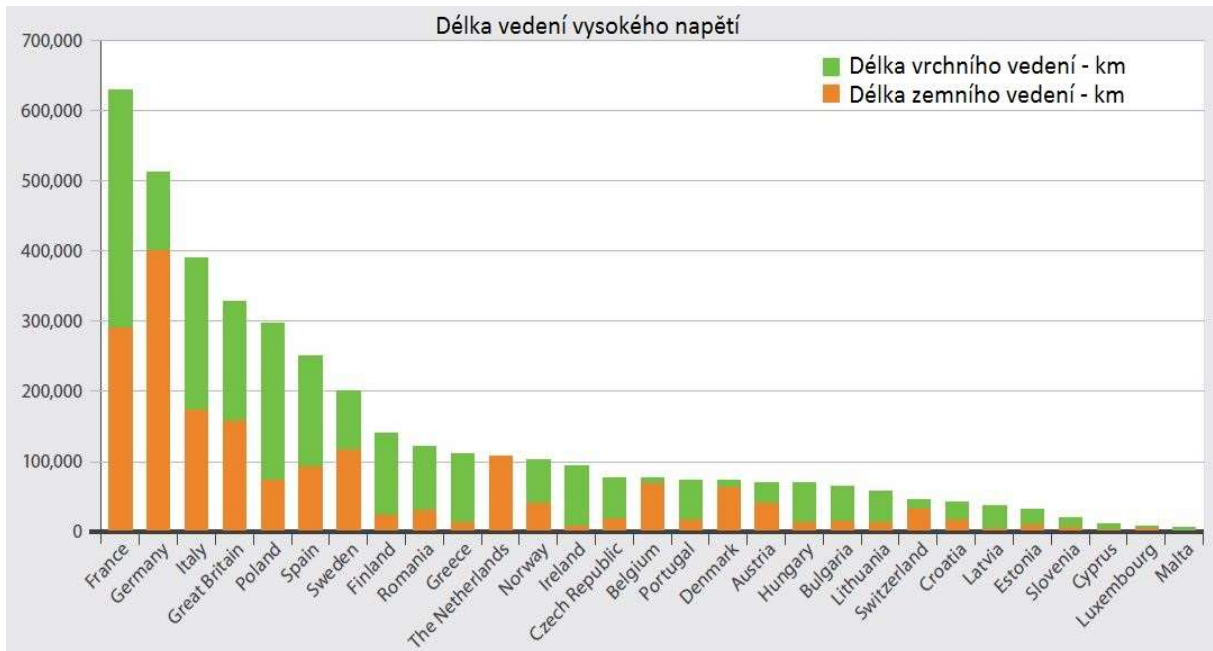
Tato část práce je zaměřena na srovnání nepřetržitosti dodávek elektřiny. Srovnání je provedené na základě ukazatelů nepřetržitosti. V ČR se používají ukazatele SAIFI a SAIDI vztažené na počty zákazníků postižených dlouhodobým přerušením dodávky elektřiny. Tyto ukazatele jsou nejrozšířenější, avšak v některých zemích se používají ukazatele hodnotící množství nedodané elektřiny v důsledku přerušení či jiné varianty hodnocení. Dále je nutno uvést, že samotný výpočet ukazatelů SAIFI a SAIDI není jednotný, takže porovnání těchto údajů může vést k mylným závěrům. Některé země do výpočtu ukazatelů nezapočítávají výjimečné stavy (např. silný vítr, zimní bouře, záplavy či zemětřesení atd.), což může vést k velkému snížení těchto ukazatelů.

Ačkoliv je velmi těžké porovnávat dosahované ukazatele bez znalostí o dané soustavě, lze tyto soustavy alespoň rozlišit z pohledu podílu kabelového vedení. Což je důležitým faktorem ovlivňujícím nepřetržitost dodávek elektřiny.

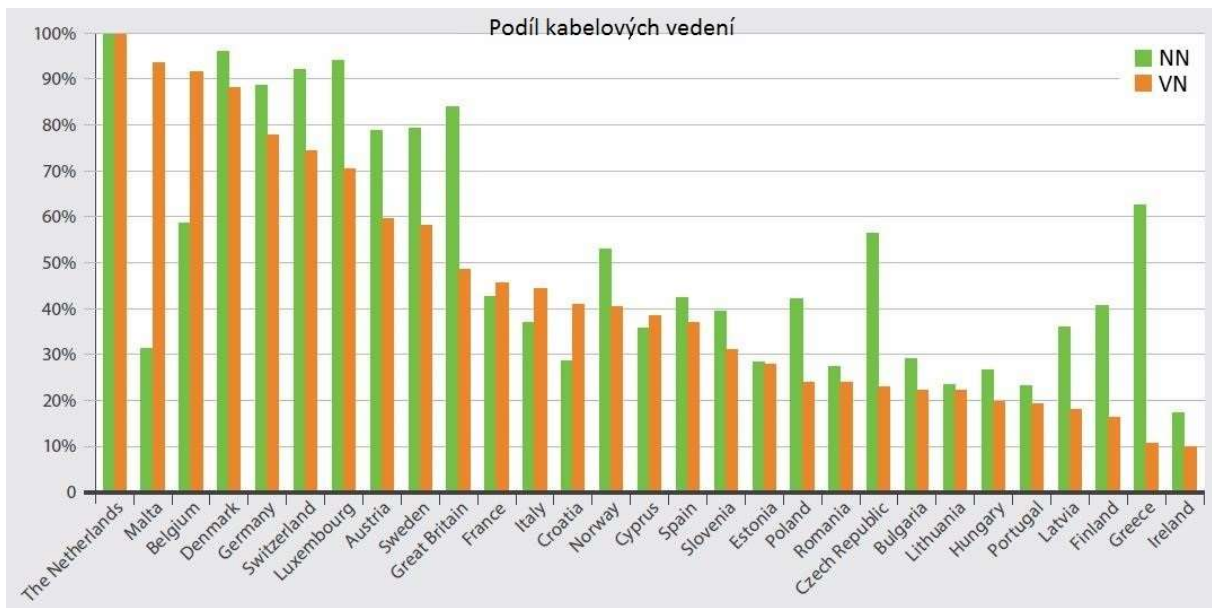
Z níže uvedených grafů je patrné, že Česká republika zaostává oproti západní Evropě. Soustava nízkého napětí dosahuje relativně dobré úrovně, téměř 58 % sítě je provedená zemním kabelovým vedením, avšak soustava vysokého napětí značně pokulhává – podíl kabelového vedení je 24 %. Situace v soustavě nízkého napětí by se měla ještě zlepšit, neboť při rekonstrukcích ČEZ prosazuje pouze zemní kabelová vedení nebo vrchní kabelová vedení provedené izolovanými vodiči AYKYz nebo AES (vrchní izolované vedení je sice vedené jako vrchní vedení, ale mělo by zlepšit ukazatele nepřetržitosti). U vysokého napětí není očekáván velký nárůst, protože většina rekonstrukcí je prováděna vrchními holými vodiči AIFe, instalace izolovaných závěsných vodičů a zemního kabelového vedení je finančně náročná. V současnosti používá ČEZ kabelová vedení většinou v městské zástavbě nebo při přeložkách.



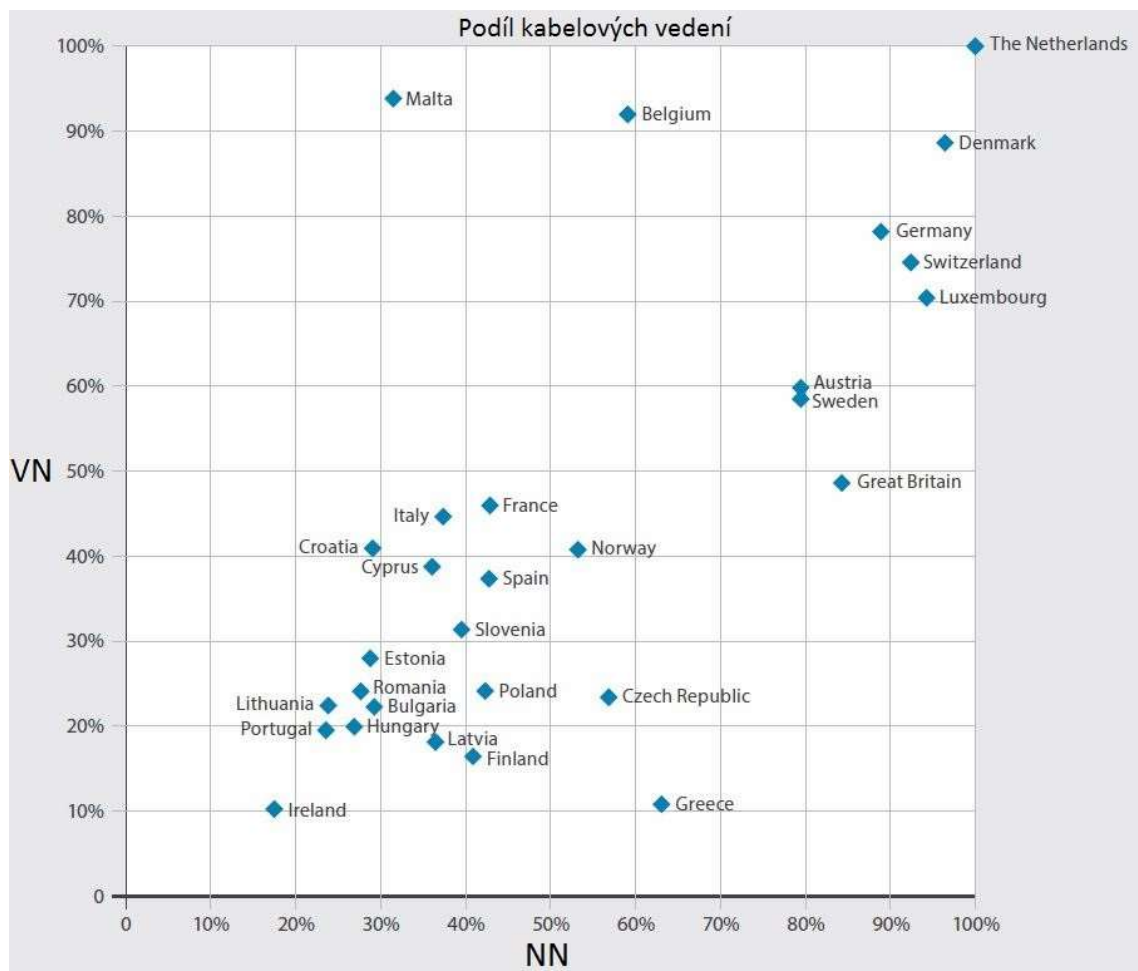
Obr. č. 9: Srovnání délky vedení NN v rámci EU [15]



Obr. č. 10: Srovnání délky vedení VN v rámci EU [15]

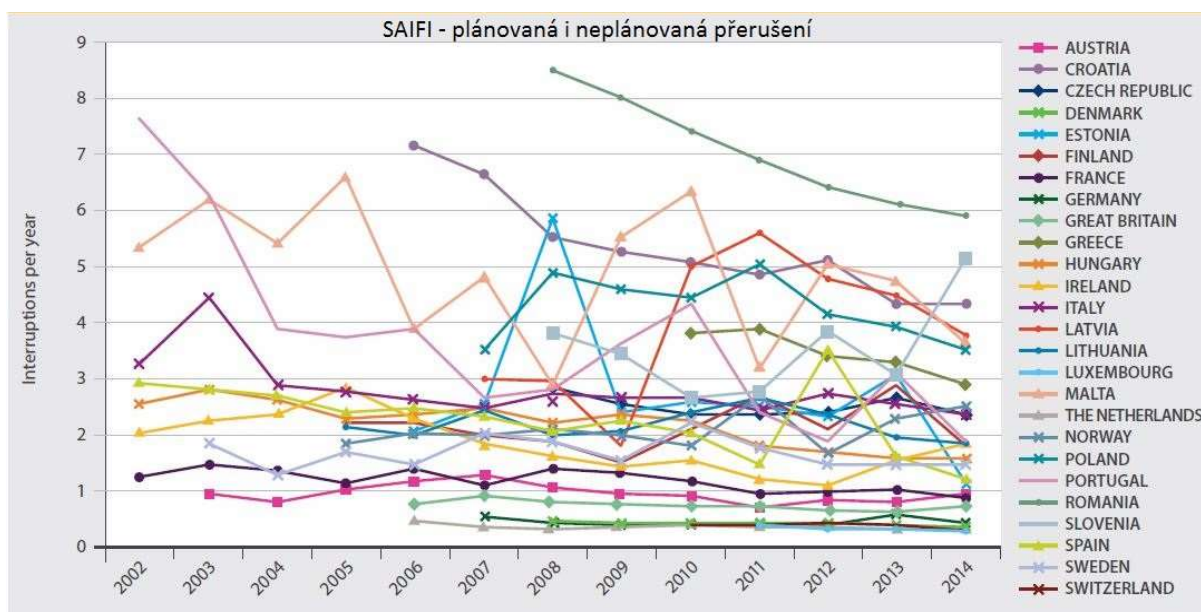


Obr. č. 11: Srovnání podílu kabelového vedení v rámci EU [15]

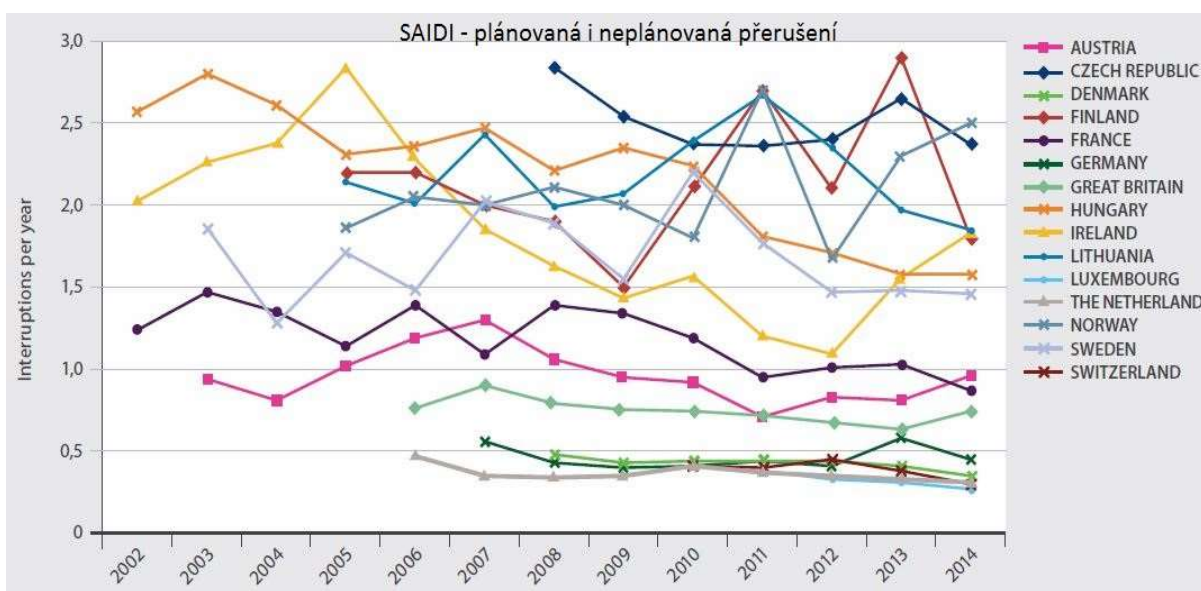


Obr. č. 12: Srovnání podílu kabelového vedení v rámci EU [15]

V další části práce jsou uvedeny grafy průběhů ukazatelů nepřetržitosti SAIFI a SAIDI v čase. Tyto údaje jsou pro plánované i neplánované přerušení. Z těchto grafů lze usoudit, že ve sledovaném období se ukazatele nepřetržitosti pro ČR lehce zlepšují. U ukazatele SAIDI byl v roce 2013 prudký nárůst, který byl pravděpodobně způsoben výjimečným stavem, neboť průběh grafu neplánovaných přerušení bez výjimečných stavů má klesající tendenci.



Obr. č. 13: Srovnání SAIFI v rámci EU [15]



Obr. č. 14: Srovnání SAIDI v rámci EU [15]

5.2. Opatření pro zlepšení spolehlivosti a kvality dodávky elektřiny

Tato práce se zaměřuje na opatření vedoucí ke zlepšení ukazatelů nepřetržitosti SAIFI, SAIDI (snížení doby trvání a počtu přerušení dodávky elektřiny). Níže uvedená opatření je potřeba analyzovat a aplikovat v závislosti mezi kvalitou a náklady. Tyto závislosti jsou rozdílné pro různé provozovatele distribuční soustavy, z důvodu různých provozních parametrů sítě.

Tuto část lze rozdělit do dvou základních oblastí. První oblast tvoří opatření, která mají vliv na snížení počtu a trvání neplánovaných přerušení. Druhou část tvoří opatření mající vliv na snížení počtu a doby trvání plánovaných přerušení.

5.2.1. Opatření pro neplánovaná přerušení dodávky

V této části se zaměřím spíše na hladinu vysokého napětí, neboť neplánovaná přerušení dodávky elektřiny na této hladině postihují mnohem větší počet odběratelů. Pravděpodobnost výskytu neplánovaného přerušení dodávky elektřiny je závislé na mnoha faktorech, např. struktuře sítě, jejím stáří, geografickém umístěním a podílem kabelových vedení.

Níže přikládám statistiku poruch na VN v oblasti Benešovska.

Typ poruchy	VN	kVN	DTS	trafo	celkově
Počet	225	23	112	14	374
%	60,2 %	6,1 %	29,9 %	3,7 %	100,0 %

Tab. č. 5: Zastoupení poruch v roce 2016 na Benešovsku

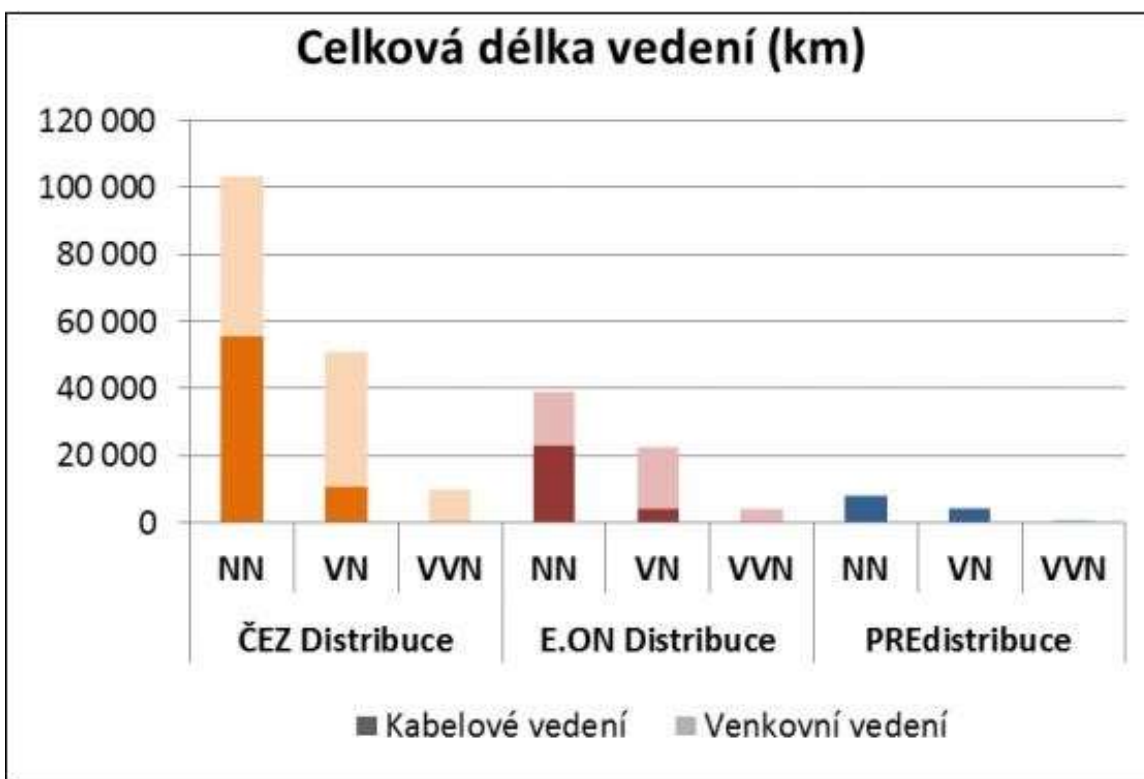
VN – porucha na vrchním vedení

kVN – porucha na kabelovém vedení (včetně svislých odpínačů u svodů do země)

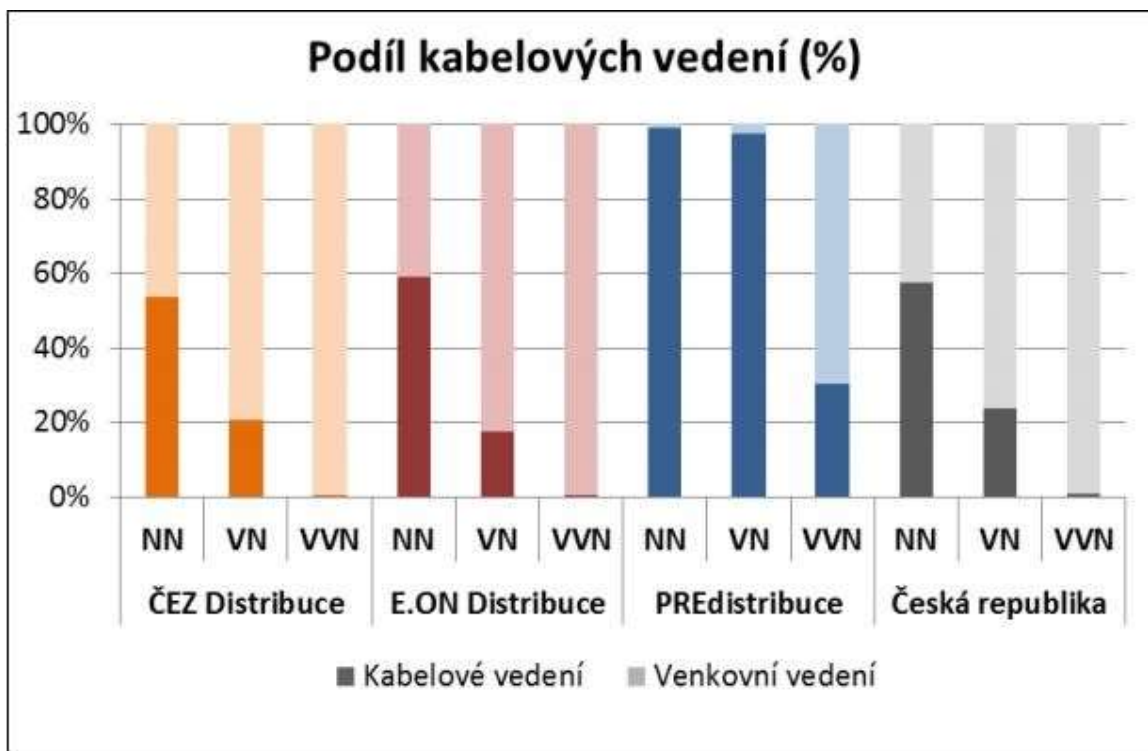
DTS – porucha na trafostanici (mimo transformátoru)

Trafo – přímo porucha transformátoru

Z výše uvedené statistiky ČEZ Distribuce je viditelné, že většina přerušení je na vrchním vedení. V kategoriích kVN, DTS i trafo je velká část poruch způsobena pády cizích předmětů (např. strom, větev atd.) na zařízení či poškozené izolátory. Z čehož lze usoudit, že nejpodstatnějším faktorem je podíl kabelových vedení. Z obrázků č. 15 a 16 je patrné že ještě velká část distribuční soustavy v ČR je řešena vrchním vedením.



Obr. č. 15: Celková délka vedení v rámci ČR [11]

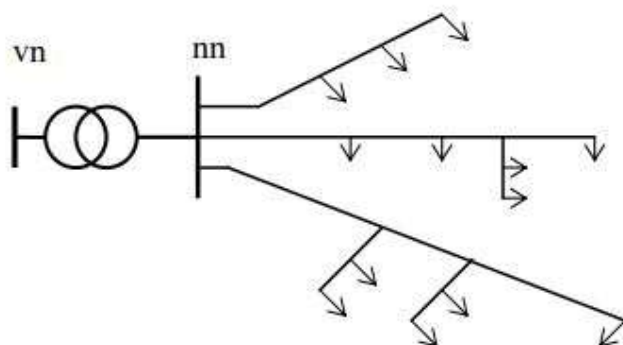


Obr. č. 16: Podíl kabelových vedení v ČR [11]

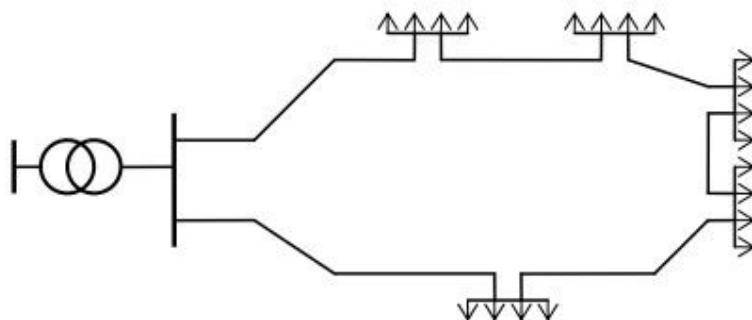
Pro dosažení větší spolehlivosti a kvality v oblasti neplánovaných přerušení dodávky lze uvažovat:

5.2.1.1. Změna struktury sítě (topologie)

Přechod z paprskové sítě na okružní. V ideálním případě je síť vybudovaná jako okružní a provozuje se jako paprsková. V případě přerušení dodávky elektrické energie se postižená místa přepojí z druhé strany okružní sítě. Tímto způsobem lze snížit dobu přerušení pomocí přepojení, kdy místa postižená přerušením budou napájena z jiné části sítě.



Obr. č. 17: Schéma paprskové sítě [19]



Obr. č. 18: Schéma okružní sítě [19]

5.2.1.2. Průseky v ochranném pásmu vrchního vedení

Pomocí průseků je možné radikálně snížit pravděpodobnost a četnost přerušení na vrchní vedeních. Problémem je, že průsek kolem vedení by měl zajišťovat majitel pozemku na kterém je zařízení umístěno.

5.2.1.3. Výměna nevyhovujícího zařízení a montáž nových zařízení

Výměna starých transformátorů, vrchních vodičů, izolátorů, zemních kabelů a úsekových odpínačů má za následek snížení výskytu přerušení dodávky.

Výměna kabelového vedení s T spojkami, za smyčkové kabelové vedení (T spojky mají vysokou poruchovost).

Instalace indikace průchodu zkratového proudu, pro rychlejší zjištění místa poruchy, která způsobuje přerušení.

Instalace dálkově ovládaných úsekových odpínačů a vypínačů (RECLOSER). Dálkově ovládané úsekové odpínače, pomocí kterých lze lépe najít místo přerušení nebo vymezit menší úsek pro práce na vedení, které je postižené přerušením.

RECLOSERY snižují počet odběratelů postižených přerušením (nespustí se ochrana na rozvodně, ale vypne se vypínač umístěný např. v půlce vedení VN, tudíž bude počet zasažených odběratelů snížen o polovinu).

V tomto bodě lze dále uvést výměnu vrchního holého vedení za kabelové vrchní vedení nebo kabelové zemní vedení.

U technologie RECLOSER je potřeba brát v úvahu správné umístění. Instalace dálkové technologie je finančně velice náročná, takže by tyto investice měly proběhnout v souladu s požadavky „provozáků“ a ne na základě pracovníků rozvoje sítě. Jinak tyto investice mohou přijít vniveč, což se v současné době děje poměrně často.

V této kapitole a dalších kapitolách často zmiňuji zařízení úsekový odpínač, dálkově ovládaný úsekový odpínač a vypínač. V této části tato zařízení popíšu.

Úsekový odpínač (US)

Úsekový odpínač (úsekový vypínač nebo úsečník) je zařízení, které spojuje a rozpojuje elektrický obvod mechanicky s viditelnou rozpojovací drahou, dokáže vypnout malý nebo jmenovitý proud. Toto zařízení může obsahovat zhášecí komoru pro možný oblouk úsekový odpínač se zhášecí komorou je na obr. č. 19. Úsekový odpínač je standardně vybaven manuální ovládním – s táhlem odpínače manipuluje člověk. [20], [22]



Obr. č. 19: Manuálně ovládaný úsekový odpínač [20]

Dálkově ovládaný úsekový odpínač (DOUS)

Jediným rozdílem mezi úsekovým odpínačem a dálkově ovládaným úsekovým odpínačem je způsob manipulace se zařízením. Dálkově ovládaný úsekový odpínač je ovládán pomocí řídicí skříně a zabudovaného automatického pohonu – obr. č. 20. Toto zařízení je ovládáno přímo dispečerem, pomocí technologie rádiových vln. [20], [22]



Obr. č. 20: Dálkově ovládaný úsekový odpínač [20]

Dálkově ovládaný vypínač (DOV)

Vypínač je rychlé výkonové zařízení se svým pohonem a je schopný vypnout zkratové proudy. Oblouk může být zhasen různými způsoby např. olejem nebo plynem SF6. V dnešní době se nejčastěji používá jako dálkově ovládaný vypínač technologie Recloser od firmy DRIBO, viz obr. č. 21. V praxi je toto zařízení schopné díky vhodné montáži ochránit velkou část vedení před neplánovaným přerušením dodávky elektrické energie. [20], [22]



Obr. č. 21: Dálkově ovládaný vypínač RECLOSER [20]

5.2.1.4. Častější kontrola a údržba zařízení

Častější kontrola zařízení distribuční soustavy a následná údržba či oprava vadného zařízení by zabránila dalším případným přerušením dodávky elektřiny.

5.2.1.5. Snížení doby na odstranění závady

Kromě technických opatření lze také použít opatření regulační – změnu vyhlášky. Dle vyhlášky č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, ve znění vyhlášky č. 41/2010 Sb. [16], v níž jsou dány standardy ukončení přerušení distribuce elektřiny, je ukončení přerušení distribuce elektřiny, mimo přerušení plánovaného, v odběrném nebo předávacím místě provozovatele lokální distribuční soustavy nebo zákazníka, a to ve lhůtě do:

a) 18 hodin v síti distribuční soustavy s napětovou úrovní do 1 kV a 12 hodin v síti distribuční soustavy s napětovou úrovní do 1 kV na území hlavního města Prahy,

b) 12 hodin v sítích distribuční soustavy s napětovou úrovní nad 1 kV a 8 hodin v síti distribuční soustavy s napětovou úrovní nad 1 kV na území hlavního města Prahy.

Zpřísněním těchto limitů by se dosáhlo lepší kvality dodávky elektřiny, avšak tento bod naráží na situaci, nedostatku montážních firem držících nepřetržitě pohotovosti na zásah při přerušení dodávky elektřiny.

5.2.1. Opatření pro plánovaná přerušení dodávky

Plánovaná přerušení dodávek elektřiny jsou plánována z několika důvodů, např. připojení nových zákazníků, připojení nových zařízení, přeložky sítě, rekonstrukce sítě, opravy, provádění úkonů podle řádu preventivní údržby, požadavky na vypnutí od samotného zákazníka na jeho žádost atd. Další důvodem plánovaných přerušení může být práce na zařízení přenosové soustavy, což může mít za následek přerušení dodávky na straně distribuční soustavy. Pro dosažení větší spolehlivosti a kvality v oblasti plánovaných přerušení dodávky lze uvažovat:

5.2.2.1. Struktura sítě

Přechod z paprskové sítě na okružní. V okružní síti lze odběratele napájet z jiného zdroje, čímž se dá snížit počet odběratelů zasažených přerušením.

Např. v případě plánovaného přerušení na hladině VN by část NN mohla být napájena z jiné trafostanice (transformátor není napájen, vedení VN je zkratováno např. pomocí zkratovací soupravy, hlavní jistič v rozváděči NN je shozený a vývody z TS jsou napájeny jinou TS).

5.2.2.2. Instalace dálkové technologie

Dálkově ovládané úsekové odpínače značně snižují časovou náročnost manipulací při vypínání či opětovném uvádění do provozu elektrického zařízení. V případě větších

manipulací, kdy si provozovatel distribuční soustavy určuje na manipulaci až 4 hodiny, tato technologie rapidně snižuje dobu přerušení.

U této technologie je potřeba brát v úvahu správné umístění. Instalace dálkové technologie je finančně velice náročná, takže by tyto investice měly proběhnout v souladu s požadavky „provozáků“ a ne na základě pracovníků rozvoje sítě.

5.2.2.3. Použití náhradního napájení

Tato metoda se u nás v současnosti moc nevyužívá. Požití náhradního napájení je velice finančně náročné, a proto provozovatel distribuční soustavy tuto možnost používá jen v nutných případech, kdy odběratel nutně potřebuje dodávku elektřiny i přes naplánované přerušení. Ve většině případů se jedná o odběratele, u kterých finanční náklady na pořízení (či zapůjčení) zdroje nepřevyšují případné ztráty v důsledku přerušení dodávek elektřiny.

V rámci rekonstrukcí či prací ŘPÚ se tato metoda takřka vůbec nevyužívá. Jedinou výjimkou je používání převozných trafostanic (např. ČEZ v oblasti Střed tyto trafostanice nemá k dispozici vůbec), které obsahují trafo, VN a NN rozváděč. I v tomto případě je pro připojení a následné odpojení vyžadováno plánované přerušení, takže se tato varianta používá jen při dlouhodobějším odpojení odběratele.

Například použití diesel agregátu pro zajištění dodávky elektrické energie na místo vzdálené 30 km transformátorem 630 kVA na 10 hodin stojí přes 71 tisíc Kč. Tato cena je silně ovlivněna cenou paliva diesel agregátu. Doprava paliva je počítána 4x za jeden den.

	T1	T2	
	630 kVA	200 kVA	
pronájem	9592	4792	Kč/den
kabely	1500	1500	Kč/den
doprava agregátu	49	49	Kč/km
doprava obsluhy + paliva	20	20	Kč/km
jeřáb	6900	6900	Kč/manipulace
cena PHM	25	25	Kč/litr
spotřeba	156	48	litr/hodina
vzdálenost	30	30	km
doba provozu	10	10	hodin
cena	71 632 Kč	39 832 Kč	Kč
doba provozu	5	5	den
cena	545 000 Kč	197 000 Kč	Kč

Tab. č. 6: Ocenění provozu diesel agregátu

Tyto údaje vycházejí z nabídky firmy B-ENERGY z roku 2016.

V příloze „náklady agregát“ lze snadno vypočítat náklady pro použití dvou typů diesel agregátů na různý počet dní/hodin s různou vzdáleností umístění diesel agregátu.

5.2.2.4. Použití PPN

Práce pod napětím (PPN) lze využít jak na hladině NN, tak i na hladinách vyšších. Provozovatelé soustav disponují PPN četami, které jsou pro tento způsob práce vybaveny a proškoleny. Hlavním důvodem využívání a výhodou PPN je nepřetržitá dodávka elektřiny, čímž by se daly rapidně snížit ukazatele nepřetržitosti SAIDI a SAIFI. U nás není tato metoda plně využívána, což je z velké části zapříčiněno nedostatkem pracovníků PPN. Např. na střední Čechy připadá pouze jedna četa PPN – Benešov. V oblasti středních Čech se plánuje zavedení nové čety PPN, a to v Kolíně.

Ne všechny práce na VN zařízení lze udělat metodou PPN, což může být způsobeno nepřístupností (k PPN na vrchním vedení VN je potřeba izolovaná plošina, která se nedostane všude) nebo technickou neproveditelností prací.

Pomocí PPN se provádějí: výměny izolátorů, připojení a odpojení (pomocí přeponek) vodičů, montáže ptákosedů nebo ochrany ptactva, údržba či výměna úsekových odpínačů (podkošové odpínače).

5.2.2.5. Zlepšení koordinace při manipulacích

Zlepšením koordinace při manipulacích je myšleno provádění více prací na vypnutém elektrickém zařízení. Například pokud je zařízení vypnuto z důvodu rekonstrukce, lze na zařízení dotčeném tímto vypnutím provádět další práce – jiná rekonstrukce, oprava či práce ŘPÚ.

V tomto případě stojí za úvahu předělání při zlepšení systému vypínání pro firmy provádějící práce na elektrickém zařízení poskytovatele distribuční soustavy. V současnosti je zhotovitel stavby limitován třemi vypnutí na jednu evidovanou stavbu. Pokud je zařízení vypnuto na delší dobu než 12 hodin, nesmí být zařízení znovu vypnuto dalších 7 dní. Při realizaci stavby s větší potřebou vypnutí je nutné požádat o výjimku, která nemusí být udělena.

Zlepšení koordinace při manipulacích je opatření s největším potenciálem pro zlepšení, avšak naráží na problémy se synchronizováním prací ve stejném časovém úseku. V tomto případě je těžké určit, jak moc je reálné ukazatele nepřetržitosti zlepšit, neboť zkoordinování většího vypnutí pro více jak dvě firmy provádějící práce na zařízení a do toho ještě naplánovat ŘPÚ je velice složité. Tato situace dále naráží na nedostatek pracovníků na straně provozovatele distribuční soustavy.

6. Návrh opatření pro zlepšení kvality

V rámci navržených opatření pro zlepšení kvality dodávky elektrické energie jsem si vybral linku VN 4107 KONDRAC2 pod Voticemi v úseku od Fe č. 258 až 274. Tuto linku firma AZ Elektrostav, a. s., ve které pracuji, v roce 2016 rekonstruovala, takže jsem s ní podrobně seznámen.

6.1. Problematika investování v distribuční soustavě

6.1.1. Definice problému

Stav distribuční sítě VN není ideální, velká část vedení je stará nebo poddimenzovaná. Pro mnoho odběrných míst chybí náhradní napájení v případě neplánovaného přerušení dodávky elektrické energie. Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách, tuto problematiku by řešila změna topologie sítě – z liniové na okružní. Dále by tuto problematiku částečně vyřešila kabelizace sítě, navíc v tomto případě se kabelové vedení ve většině případů zasmyčkuje v trafostanici (ideálně blokové), kde je možné vypnout a zazkratovat vedení mezi trafostanicemi. Toto řešení je ale silně limitované finanční stránkou. Kabelové vedení je mnohem dražší na instalaci i na případnou opravu. Tento způsob se dále nehodí jako páteřní vedení, neboť by se místo každé odbočky s úsekovým odpínačem musela stavět spínací stanice. Kabelové provedení sítě VN je vhodné do městské zástavby, kde se počítá s větším počtem vzájemně okružně propojených trafostanic, takže lze plně využít možnost napájení z obou stran.

O tom, které vedení a jak bude upraveno, rozhodují pracovníci rozvoje z ČEZ Distribuce, a.s. Rozhodnutí je provedeno dle požadavků na připojení, rozvojových záměrů a, požadavků „provozáku“. Technik rozvoj rozhodne o technickém způsobu provedení investice a zpracuje zadávací návrh – přesně určí, kde se umístí nové zařízení, jak se upraví stávající atd. (použití vrchního nebo kabelového vedení, umístění úsekových odpínačů, umístění dálkově ovládaných úsekových odpínačů a vypínačů).

Dle tohoto zadávacího návrhu pak projektant vymyslí a navrhne vhodné technické řešení – vypracuje projektovou dokumentaci. Projektant může řešení dle neočekávaných okolností změnit, ale tyto kroky musí být schváleny technikem rozvoje ČEZ Distribuce, a.s. Dále musí být celá projektová dokumentace schválena několika složkami ČEZ Distribuce, a.s.

Po schválení je projektová dokumentace vpuštěna do samotné realizace stavby.

Z tohoto vyplývá, že jediný, kdo má právo zasahovat do změn v distribuční síti je rozvoj ČEZ Distribuce, a.s. Technici rozvoje by měli koordinovat změny v distribuční síti a vhodně jí upravovat dle požadavků provozovatele a zákazníků. Často se ale stává, že nově instalovaná zařízení jsou v blízké budoucnosti vyměněna nebo zcela zrušena, například v níže uvedené stavbě linky VN 4107 se část nově instalovaných vodičů bude v dalším roce demontovat a dávat do kabelu, z důvodu výstavby nové stavební lokality. Je tedy potřeba zlepšit způsob plánování rozvoje, který by měl

za následek zlepšení efektivity investování, způsob provozování distribuční soustavy a změnu kvality dodávky elektrické energie.

Dle mého názoru způsob investování, který je prováděn dle požadavků techniků rozvoje, má mnohé rezervy. Neboť na jejich pokyn by se dala postupně zokruhovat a kabelizovat síť VN (tam kde je to technicky možné a finančně dostupné), což by pomohlo k nemalému snížení ukazatelů nepřetržitosti.

6.1.2. Způsob řešení problému

Pro tuto problematiku jsem si vybral skutečné vedení VN, linku VN 4107 KONDRAC_2 vedoucí pod Voticemi. Důvody výběru rozvedu v další kapitole.

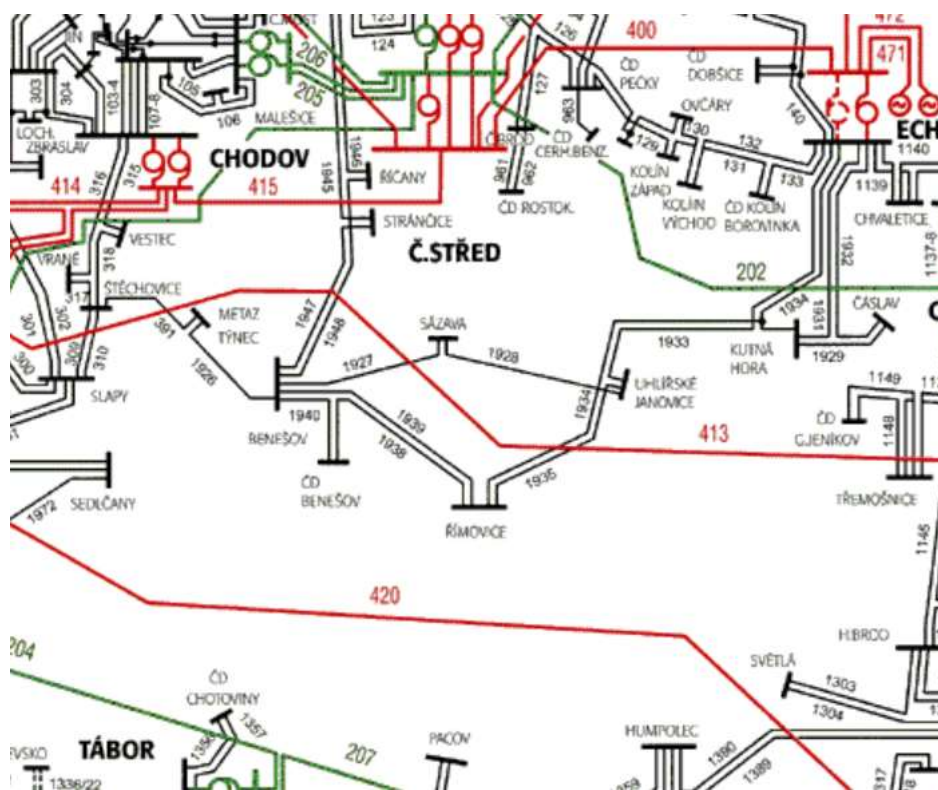
Problematiku řešení problému jsem rozdělil do několika bodů:

- 6.2. Popis stávajícího stavu
- 6.3. Možnosti technického řešení
- 6.4. Náklady na výstavbu vedení
- 6.5. Výpočet ukazatelů SAIDI a SAIFI pro všechny varianty
- 6.6. Shrnutí výsledků

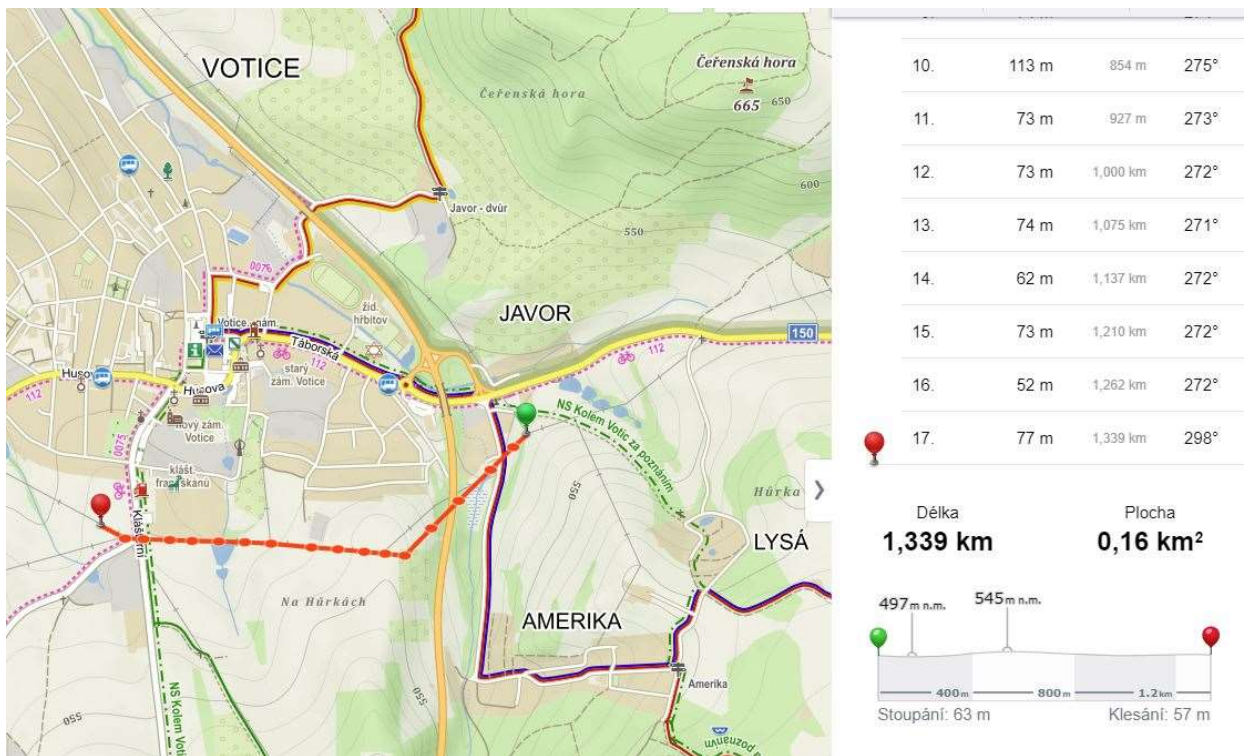
6.2. Popis stávajícího stavu

Linka VN 4107 KONDRAC_2 v úseku od Fe č. 258 až 274 se nachází přímo pod Voticemi na jihu Středočeského kraje. Lze napájet z více rozveden – z TR Benešov, TR Římovice a TR Sedlčany. Což je vhodné z důvodu případu zokruhování.

Linka je již poměrně stará, stav šesti příhradových stožárů v tomto úseku byl velice špatný. Linka byla na hranici své životnosti, navíc bylo potřeba posílit vedení, nevyhovující vodiče AIFe 70 měly být vyměněny za AIFe 110. Dle zadávacího návrhu byla vypracována projektová dokumentace na rekonstrukci a dle stavebního zákona č. 183/2006 Sb. není nutné územní rozhodnutí nebo územní souhlas. Stavba tedy proběhla ve stávající trase – metoda „bod za bod“. Délka trasy vedení je cca 1340 m.



Obr. č. 22: Schéma VVN ČR – detail jih středních Čech [17]



Obr. č. 23: Vybraná část VN 4107 [18]

<https://mapy.cz/s/2gR8A>

Ve vybraném úseku se nachází sedm příhradových stožárů, deset betonových sloupů, dvě odbočky vedoucí ke čtyřem trafostanicím, jedna trafostanice přímo v lince a dva úsekové odpínače. Viz. obr. č. 24. Červeně je vyznačena vyměřovaná část vedení. Modře je pak zobrazeno nevyměřované vedení.

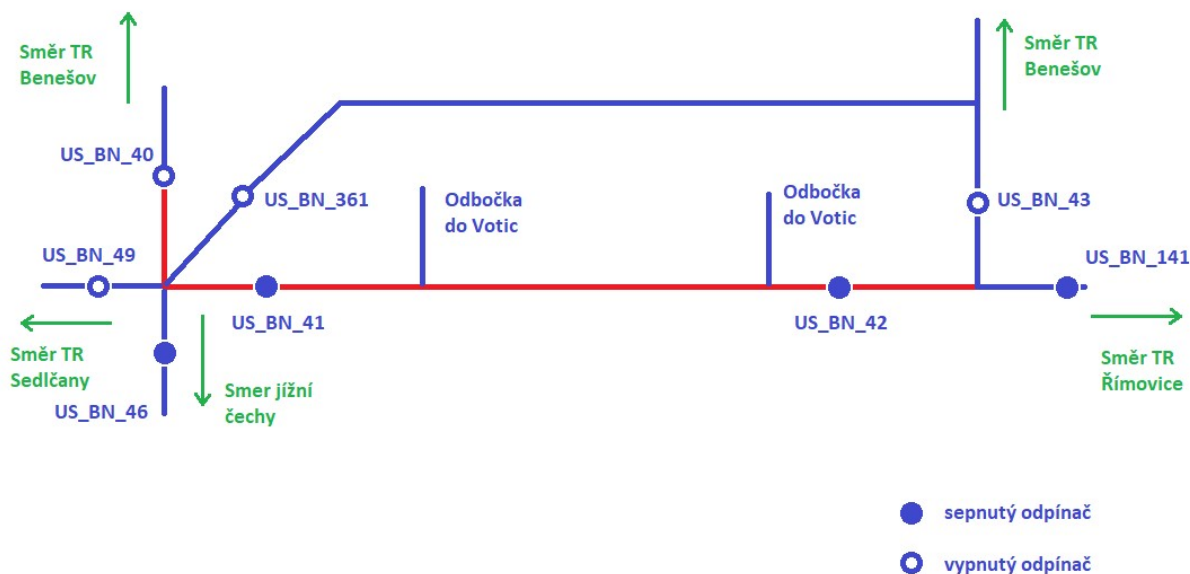
Odbočky na Jb č. 262 a Fe č. 268 jsou slepé, tudíž jediný způsob napájení je přes tento úsek vedení. Trafostanice TS BN_7185 je umístěna přímo v lince, tudíž je napájena také pouze touto linkou.

Za normální provozní situace je linka napájena z TR Římovice – přes US_BN_141 viz. obr. č. 25. Tato situace bude výchozí pro simulování neplánované přerušování dodávky elektrické energie.

Při napájení z TR Benešov je použit napájecí bod US_BN_43, nebo může být použit US_BN_40. US_BN_361 je svodový, kde vedení přechází na kabelové vedení a vede přes Votice zpět na linku u US_BN_43. V případě nouze může být použit jako napájecí vedení z TR Benešov.

Při napájení z TR Sedlčany je napájecí bod US_BN_49.

V případě plánovaného i neplánovaného přerušování dodávky elektrické energie lze použít více možností zapojení.



Obr. č. 25: Provozní stav linky VN 4107

6.3. Možnosti technického řešení

V této části uvedu čtyři možnosti rekonstrukce – mezi těmito možnostmi by měl technik rozvoje rozhodovat.

- 6.3.1 Vrchní vedení bez přidání nového zařízení
- 6.3.2 Vrchní vedení s vhodným přidáním úsekového odpínače
- 6.3.3 Vrchní vedení s vhodným přidáním dálkově ovládaného úsekové
odpínače
- 6.3.4 Vrchní vedení s vhodným přidáním dálkově ovládaného vypínače
(RECLOSER)

Geografická situace nepřipouští řešení kabelovým vedením z důvodu geografické členitosti. V místě křížení silnice I/č. 3 není proveditelný protlak – komunikace je situována ve svahu. Navíc v této lokalitě je skalnatá zemina, tudíž by protlak byl velmi finančně náročný.

6.3.1. Varianta č. 1 - Vrchní vedení bez přidání nového zařízení

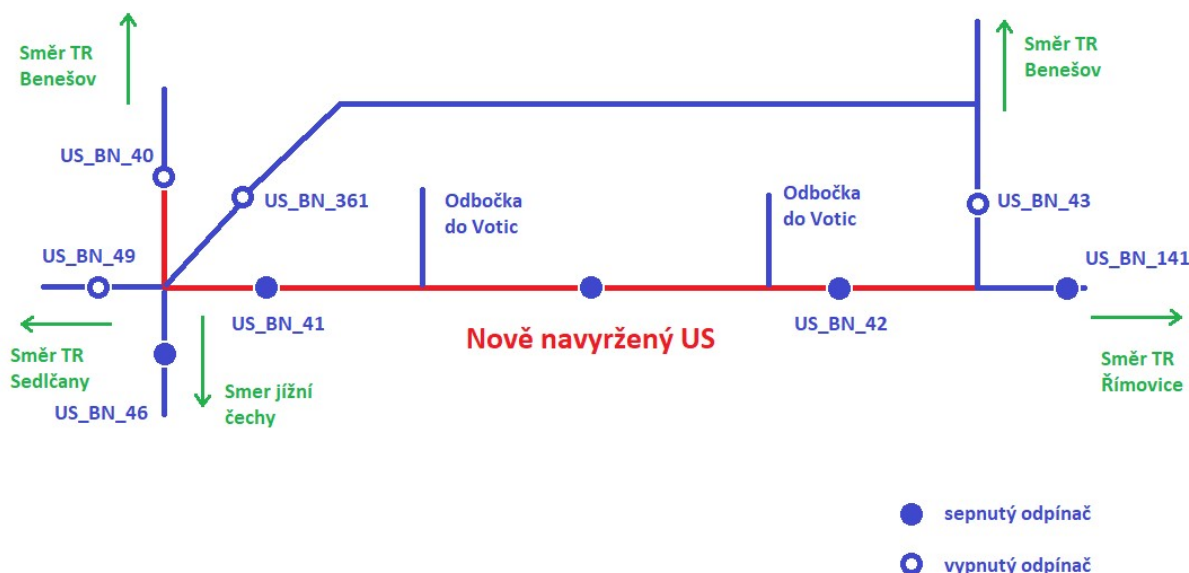
Zpracovaný projekt dle požadavku technika rozvoje ČEZ Distribuce, a.s. neobsahuje žádné změny ve vedení. Staré podpěrné body se vymění za nové. Dále proběhne výměna jednoho úsekového odpínače US_BN_42. US_BN_41 zůstane zachován stávající (zde již je nainstalován nový odpínač DRIBO Fla 15/60 – není potřeba ho měnit). Staré vodiče AIFe 70 mm² budou vyměněny za nové AIFe 110 mm².

6.3.2. Varianta č. 2 - Vrchní vedení s přidáním úsekového odpínače

Do výše zmíněné linky jsem navrhl jeden úsekový odpínač, který by měl zlepšit ukazatele nepřetržitosti SAIFI a SAIDI. Jako nejlepší umístění pro nový úsekový odpínač se jeví místo mezi dvěma odbočkami viz. obr. č. 26.

Tento US by měl značně pomoci při čtenějším výskytu neplánovaných přerušení dodávek elektrické energie. V případě poruchy přímo na úseku této linky by měl zamezit výpadku obou slepých odboček, díky tomuto odpínači by měla zůstat alespoň jedna odbočka pod napětím. V tomto případě je však důležité, kde porucha přímo nastane.

V případě plánované odstávky by mohl pomoci pouze v případě, že by se musel vymezip pouze úsek rekonstruované linky např. pro ŘPÚ nebo rekonstrukci odboček.



Obr. č. 26: Návrh nového ručního US

6.3.3. Varianta č. 3 - Vrchní vedení s přidáním dálkově ovládaného úsekového odpínače

Do výše zmíněné linky jsem navrhl jeden dálkově ovládaný úsekový odpínač, který by měl zlepšit ukazatele nepřetržitosti SAIFI a SAIDI.

V tomto případě jsem umístil nový úsekový odpínač stejně jako v minulém případě viz. obr. č. 26, ale tento odpínač bude poháněn technologií dálkového ovládní.

Oproti předchozí variantě by měl dálkově ovládaný úsekový odpínač snížit manipulační dobu a vytížení pracovníků ČDS jak v případě plánovaných, tak i neplánovaných přerušení dodávek elektrické energie.

6.3.4. Varianta č. 4 - Vrchní vedení s přidáním dálkově ovládaného vypínače (RECLOSER)

Do výše zmíněné linky jsem navrhl dálkově ovládaný vypínač (RECLOSER). Tento vypínač by měl značně snížit počet odpojených odběrných míst v případě neplánovaného přerušení dodávky elektrické energie. Největší pravděpodobnost výskytu poruchy je mezi body 260 až 263, neboť v tomto úseku linka prochází lesním porostem. Dle v kapitole č. 5.2.1 uvedené statistiky je velkou příčinou pád cizího tělesa do vodičů linky, tudíž jsem vypínač navrhl mezi body 259 a 260 viz. obr. č. 27. V případě

výskytu poruchy za tímto bodem (na vodičích od podpěrného bodu č. 260 a výše) by nesešla ochrana na TR Římovice, ale sešla by RECLOSER a předchozí část vedení (od podpěrného bodu č. 259 směr TR Římovice) by zůstala pod napětím.

Toto umístění je vhodné pouze v případě napájení linky z TR Římovice a v případě že se na ostatním vedení VN (mimo oblast mnou vybrané lince) nenachází jiný vypínač.



Obr. č. 27: Návrh RECLOSERu

6.4 Náklady na výstavbu vedení

V této kapitole se budu věnovat cenovým nákladům jednotlivých variant. Ocenění je provedeno dle obvyklých cen na trhu. Samotný výpočet nákladů je ve čtyřech souborech programu excel, které jsou přílohou této práce.

Největší cenový rozdíl v tomto případě dělá materiál a práce na instalaci nových zařízení. Všechny vytvořené rozpočty neobsahují drobný materiál typu vázací pásky bandimex, svorky na uzemnění, matky, podložky a šrouby (mimo šrouby použité na podpěrné izolátory VPA).

6.4.1 Vrchní vedení bez přidání nového zařízení

Popis	cena [tisíce Kč]
Projektové a průzkumné práce	280,1
Cena PD	232,5
Geodetické práce při zpracování PD	37,5
Správní poplatky včetně ost. nákladů	0,8
Zajištění BOZP v rámci PD	9,3
Provozní soubory a stavební objekty	1972,7
Materiály dodávané (trafa a stroje)	36,4
Materiály dodávané (bez traf a strojů)	989,5
Materiály dodávané zhotovitelem	180,2
Práce	766,7
Ostatní náklady	449,0
Vytyčení podzemních sítí	40,0
Doprava výkonového materiálu, odvoz zeminy	69,8
Revize	20,3
Zábory	63,3
Skládkovné	39,9
Ekonomické újmy na plodinách	50,0
Koordináční činnost zhotovitele	41,4
Archeologický dohled	8,3
Dopravní značení	45,0
Další náklady zhotovitele	71,0
Jiné investice	240,0
Inženýring	99,8
Manipulace, vypínání a činnost ČDS	53,0
Koordinátor BOZP	24,7
Geodetické vytyčení před zahájením stavby	29,5
Geodetické zaměření skutečného stavu	33,0
Celkové náklady stavby	2941,8

Tab. č. 7: Cenové náklady varianty rekonstrukce beze změny

6.4.2 Vrchní vedení s přidáním úsekového odpínače

Popis	cena [tisíce Kč]
Projektové a průzkumné práce	290,0
Cena PD	242,4
Geodetické práce při zpracování PD	37,5
Správní poplatky včetně ost. nákladů	0,8
Zajištění BOZP v rámci PD	9,3
Provozní soubory a stavební objekty	2015,9
Materiály dodávané (trafa a stroje)	72,7
Materiály dodávané (bez traf a strojů)	987,6
Materiály dodávané zhotovitelem	180,2
Práce	775,5
Ostatní náklady	451,1
Vytyčení podzemních sítí	40,0
Doprava výkonového materiálu, odvoz zeminy	69,8
Revize	22,4
Zábory	63,3
Skládkovné	39,9
Ekonomické újmy na plodinách	50,0
Koordináční činnost zhotovitele	41,4
Archeologický dohled	8,3
Dopravní značení	45,0
Další náklady zhotovitele	71,0
Jiné investice	240,0
Inženýring	99,8
Manipulace, vypínání a činnost ČDS	53,0
Koordinátor BOZP	24,7
Geodetické vytyčení před zahájením stavby	29,5
Geodetické zaměření skutečného stavu	33,0
Celkové náklady stavby	2997,0

Tab. č. 8: Cenové náklady varianty s přidáním jednoho úsekového odpínače

6.4.3 Vrchní vedení s přidáním dálkově ovládaného úsekového odpínače

Popis	cena [tisíce Kč]
Projektové a průzkumné práce	307,4
Cena PD	259,8
Geodetické práce při zpracování PD	37,5
Správní poplatky včetně ost. nákladů	0,8
Zajištění BOZP v rámci PD	9,3
Provozní soubory a stavební objekty	2398,0
Materiály dodávané (trafa a stroje)	454,4
Materiály dodávané (bez traf a strojů)	987,9
Materiály dodávané zhotovitelem	180,2
Práce	775,6
Ostatní náklady	453,2
Vytyčení podzemních sítí	40,0
Doprava výkonového materiálu, odvoz zeminy	69,8
Revize	24,5
Zábory	63,3
Skládkovné	39,9
Ekonomické újmy na plodinách	50,0
Koordináční činnost zhotovitele	41,4
Archeologický dohled	8,3
Dopravní značení	45,0
Další náklady zhotovitele	71,0
Jiné investice	240,0
Inženýring	99,8
Manipulace, vypínání a činnost ČDS	53,0
Koordinátor BOZP	24,7
Geodetické vytyčení před zahájením stavby	29,5
Geodetické zaměření skutečného stavu	33,0
Celkové náklady stavby	3398,6

Tab. č. 9: Cenné náklady varianty s přidáním dálkově ovládaného úsekového odpínače

6.4.4. Vrchní vedení s přidáním dálkově ovládaného vypínače (RECLOSER)

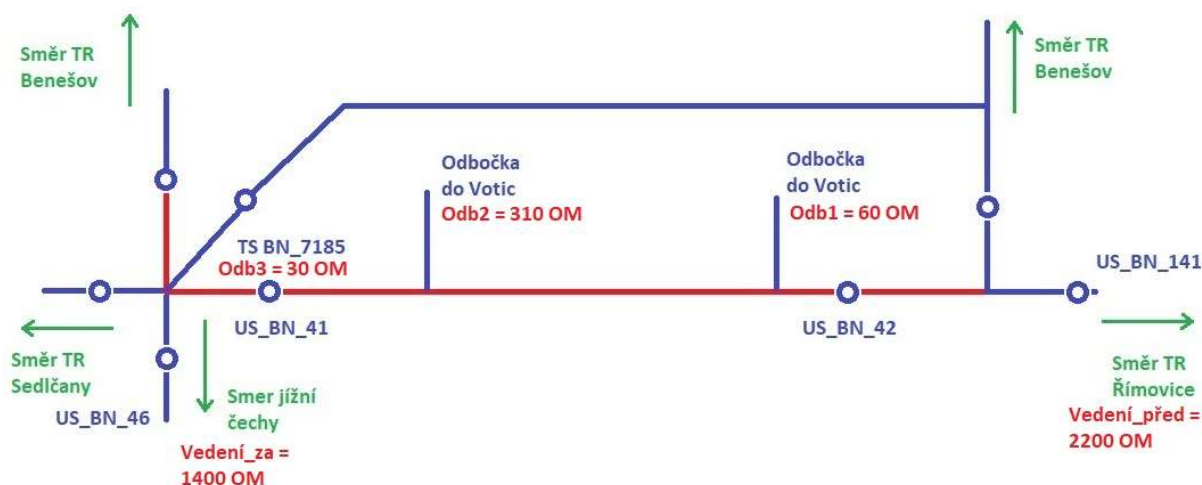
Popis	cena [tisíce Kč]
Projektové a průzkumné práce	310,0
Cena PD	262,4
Geodetické práce při zpracování PD	37,5
Správní poplatky včetně ost. nákladů	0,8
Zajištění BOZP v rámci PD	9,3
Provozní soubory a stavební objekty	2453,2
Materiály dodávané (trafa a stroje)	488,8
Materiály dodávané (bez traf a strojů)	1002,9
Materiály dodávané zhotovitelem	183,9
Práce	777,6
Ostatní náklady	456,2
Vytyčení podzemních sítí	40,0
Doprava výkonového materiálu, odvoz zeminy	69,8
Revize	27,5
Zábory	63,3
Skládkovné	39,9
Ekonomické újmy na plodinách	50,0
Koordinační činnost zhotovitele	41,4
Archeologický dohled	8,3
Dopravní značení	45,0
Další náklady zhotovitele	71,0
Jiné investice	240,0
Inženýring	99,8
Manipulace, vypínání a činnost ČDS	53,0
Koordinátor BOZP	24,7
Geodetické vytyčení před zahájením stavby	29,5
Geodetické zaměření skutečného stavu	33,0
Celkové náklady stavby	3459,4

Tab. č. 10: Cenové náklady varianty s dálkově ovládaného vypínače

6.5. Výpočet ukazatelů nepřetržitosti pro všechny varianty

V této kapitole se budu věnovat případným změnám kvality dodávek elektrické energie. Na sledovaném úseku linky může nastat několik variant jak v případě plánovaného i neplánovaného přerušení dodávky elektrické energie. Pro sledování změn kvality jsem proto vybral níže uvedené pravděpodobné události.

Pro zjednodušení výpočtu jsem si definoval počet odběrných míst na každé odbočce a úseku viz. obr. č. 28.



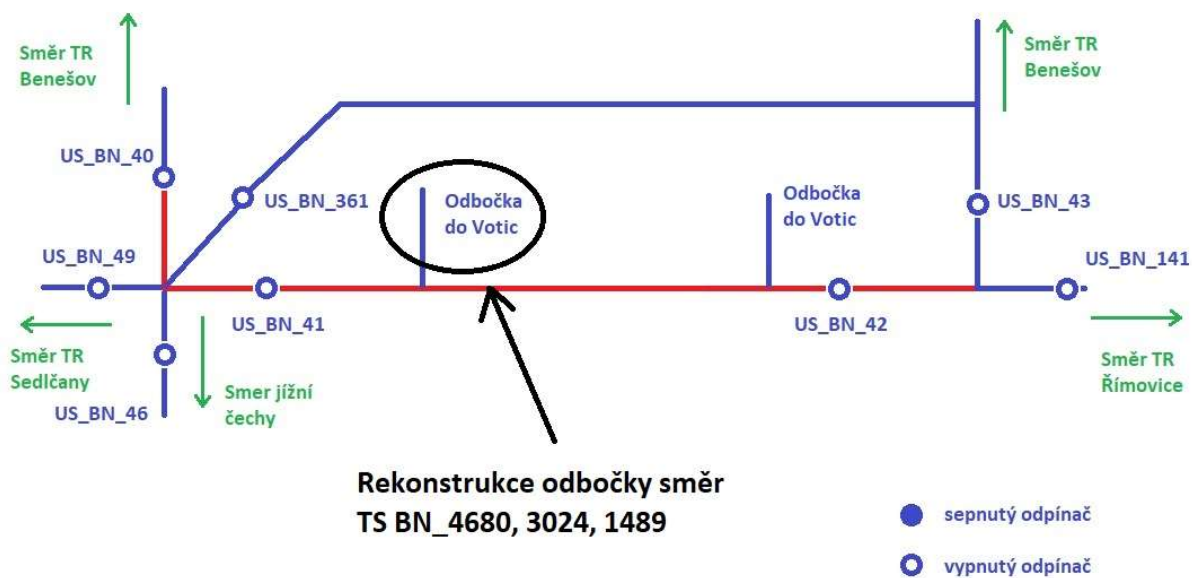
Obr. č. 28: Počet odběrných míst na odbočkách vedení VN

Pro všechny varianty vypočítám ukazatele přetržitosti SAIDI a SAIFI pomocí vzorců č. 22 a 23, které pak srovnám s prvním případem, kde proběhla pouze rekonstrukce linky VN. Pomocí těchto dat zjistím relativní zlepšení či zhoršení pro daný ukazatel a variantu. Výpočet jsem provedl pomocí *Pravidla provozování distribučních soustav příloha č. 2 Metodika určování nepřetržitosti distribuce elektřiny a spolehlivosti prvků distribučních sítí* [21].

6.5.1. Plánované přerušení dodávky

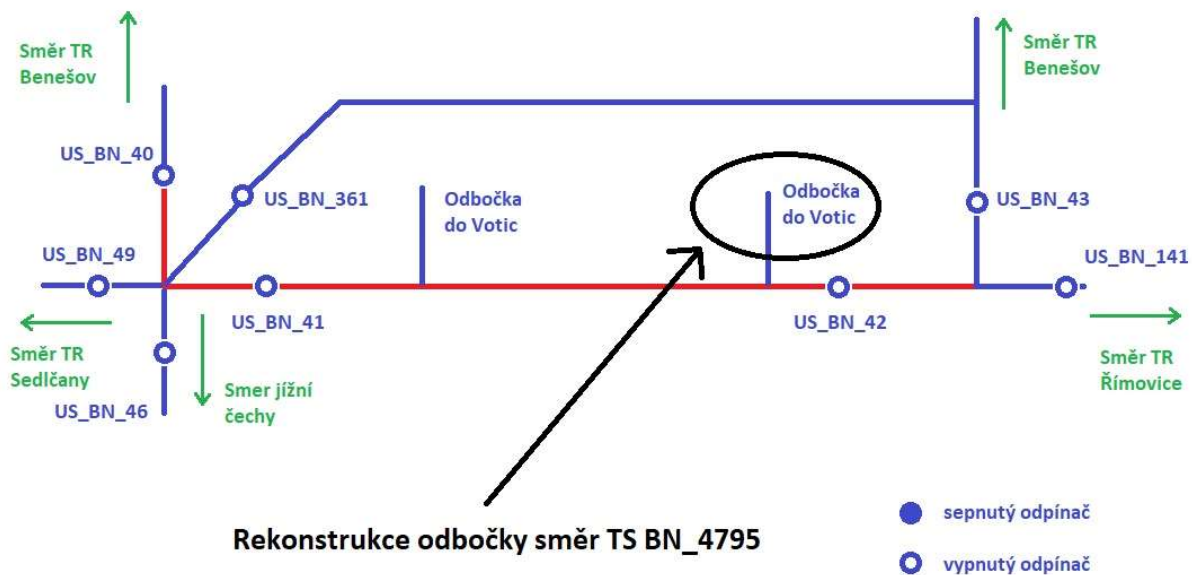
V tomto případě předpokládám že na rekonstrukci odboček budou stačit dvě vypnutí po osmi hodinách (včetně manipulace). Celkový počet odběrných míst v tomto případě bude 5 trafostanic na lince VN, tj. $30+310+60 = 400$. Směr jižní Čechy bude napájen z TR Benešov.

6.5.1.1. Příklad č. 1 - Rekonstrukce odbočky směr TS BN_4680, 3024, 1489 (obr. č. 29)



Obr. č. 29: Příklad č. 1

6.5.1.2. Příklad č. 2 - Rekonstrukce odbočky směr TS BN_4795 (obr. č. 30)



Obr. č. 30: Příklad č. 2

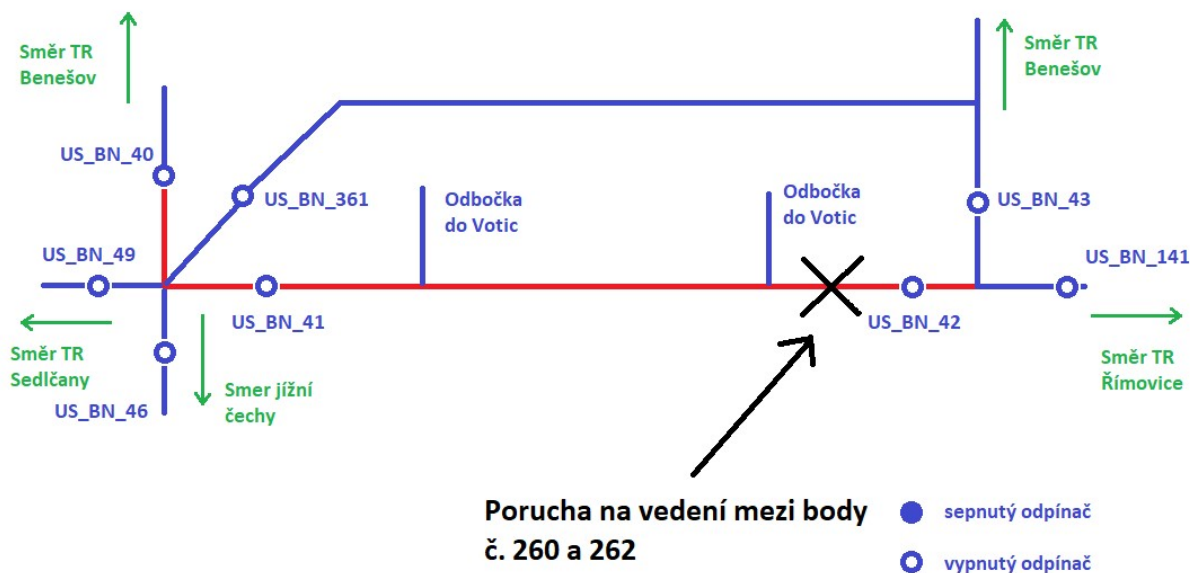
6.5.2. Neplánované přerušení dodávky

V tomto případě nastala porucha na lince VN – sepne ochrana v rozvodně (TR Římovice). Pracovníci ČDS musí poruchu najít, dále musí linku přepojit a následně se musí vymezipracoviště na opravu.

V obou případech neplánovaného přerušení jsem pro zjednodušení použil následující parametry. Doba hledání vzniklé poruchy je dvě hodiny. Čas potřebný na odstranění poruchy jsem stanovil na dvanáct hodin. Čas na přepojení linky VN (změna napájení z jiné TR) jsem zanedbal.

Pro výpočet v tomto případě předpokládám, že v úseku před mnou studovanou linku (TR Římovice – US_BN_42) se nachází 2200 odběrných míst, na lince se nachází pět trafostanic s 400 odběrnými místy a ve směru jižní Čechy se dále nachází dalších 1400 odběrných míst. Celkový počet odběrných míst v tomto případě bude $(2200+400+1400) = 4000$.

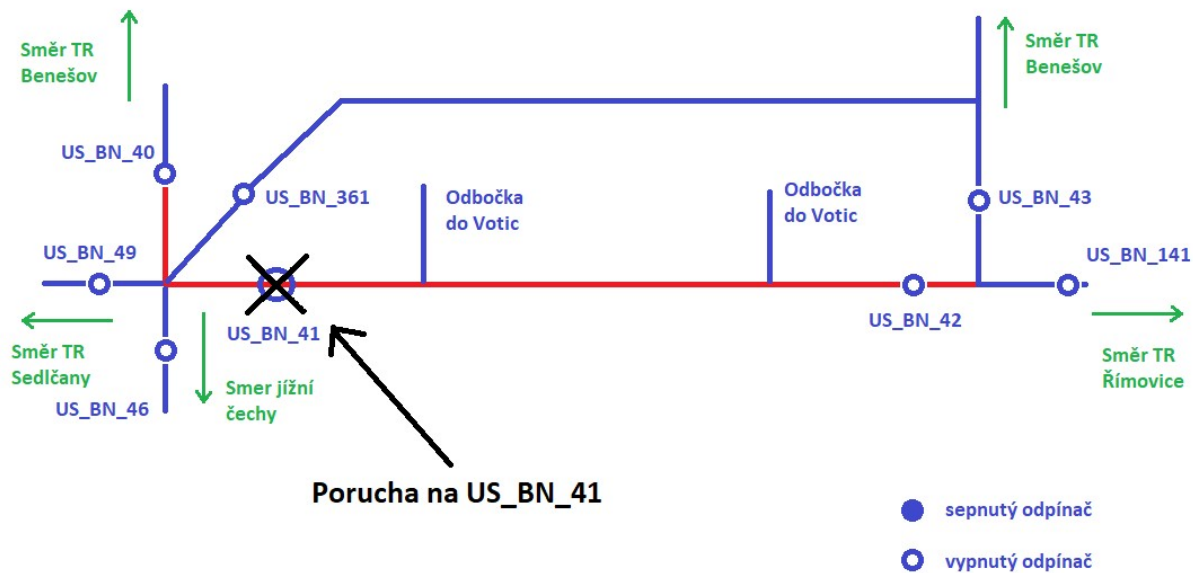
6.5.2.1. Případ č. 3 - Pád větve (cizího předmětu) na vodiče mezi bodem č. 260 až 262 (obr. č. 31)



Obr. č. 31: Případ č. 3

6.5.2.2. Případ č. 4 - Porucha na úsekovém odpínači č. US_BN_41 (obr. č. 32)

V tomto případě bude manipulace delší, neboť je nutné z důvodu vymezení úseku na bodě č. 273 rozebrat přeponky pomocí PPN. Po opravě je nutné přeponky opětovně připojit. Proto jsem zvýšil čas manipulace na tři hodiny a čas opravy na třináct hodin.

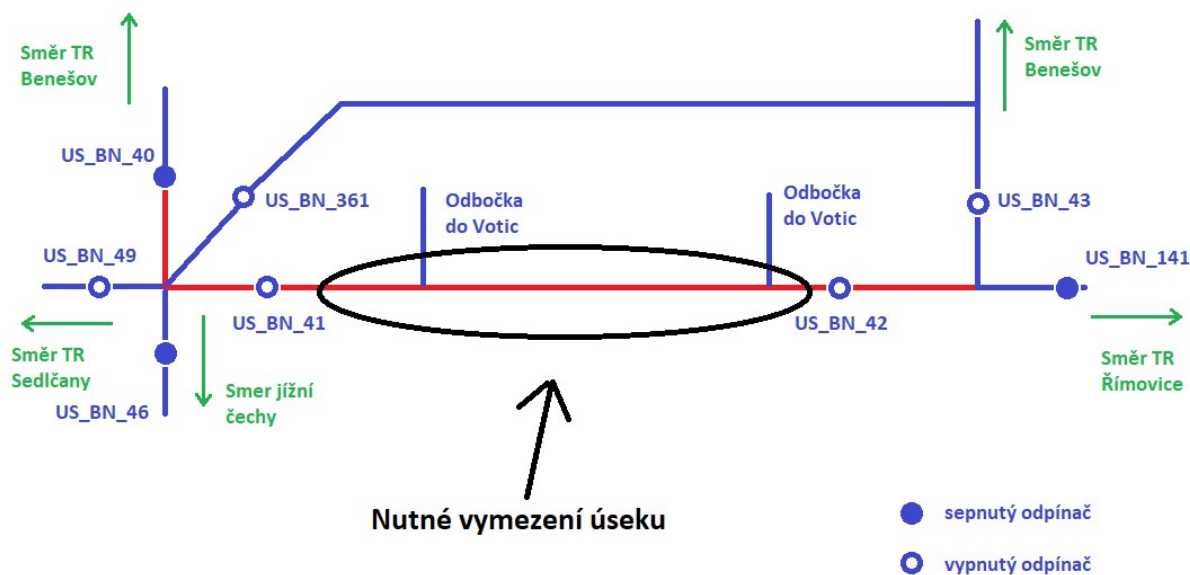


Obr. č. 32: Případ č. 4

6.5.3. Výpočet pro variantu č. 1 – vrchní vedení bez přidání nového zařízení

6.5.3.1. Příklad č. 1

Při rekonstrukci odbočky směr TS BN_4680, 3024, 1489 je nutné vymezit úsek (obr. č. 33) mezi US_BN_42 a US_BN_41, tudíž po celou dobu přerušení budou vypnuté odbočka č. 1 a odbočka č. 2.



Obr. č. 33: Vymezení úseku nutné pro rekonstrukci pro jednoduchou linku

$$SAIDI = \frac{8 * (310 + 60) + 8 * (310 + 60)}{400} = 888 \text{ min}$$

$$SAIFI = \frac{(310 + 60) + (310 + 60)}{400} = 1,85$$

6.5.3.2. Příklad č. 2

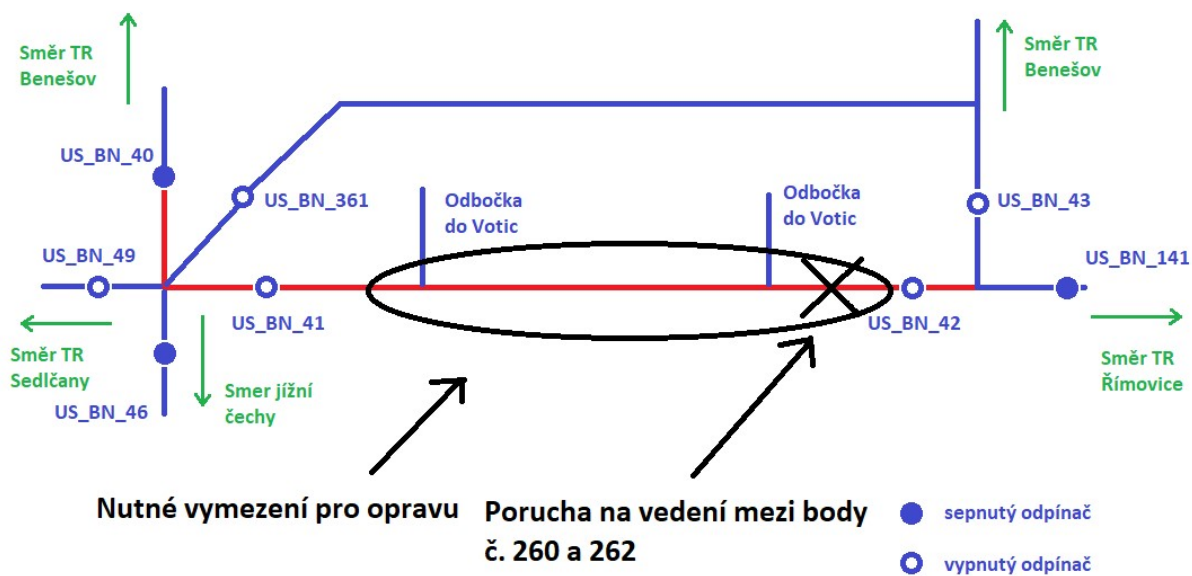
Při rekonstrukci odbočky směr TS BN_4795 je nutné vymezit úsek (obr. č. 33) mezi US_BN_42 a US_BN_41, tudíž po celou dobu přerušení budou vypnuté odbočka č. 1 a odbočka č. 2, stejně jako v předchozím případě.

$$SAIDI = \frac{8 * (310 + 60) + 8 * (310 + 60)}{400} = 888 \text{ min}$$

$$SAIFI = \frac{(310 + 60) + (310 + 60)}{400} = 1,85$$

6.5.3.3. Příklad č. 3

Po přepojení linky a vymezení úseku pro opravu zůstanou bez napětí odbočky č. 1 a 2, dle obr. č. 34.



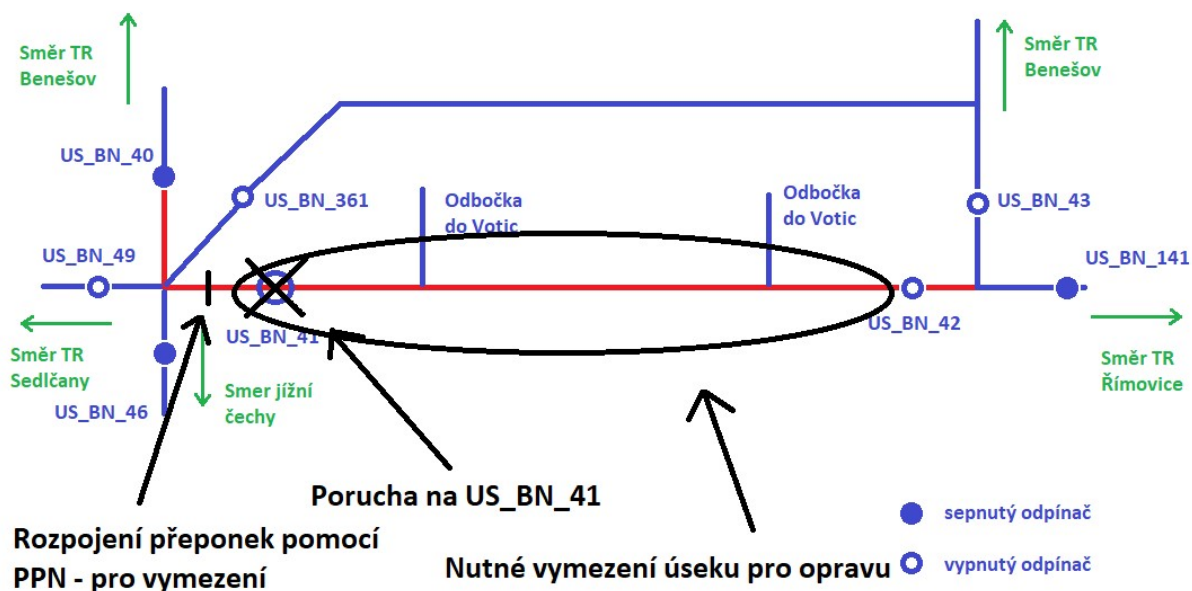
Obr. č. 34: Schéma po nalezení poruchy a provizorním přepojení pro jednoduchou linku – případ č. 3

$$SAIDI = \frac{2 * (2200 + 60 + 310 + 30 + 1400) + 12 * (60 + 310)}{4000} = 186,6 \text{ min}$$

$$SAIFI = \frac{2200 + 60 + 310 + 30 + 1400}{4000} = 1$$

6.5.3.4. Příklad č. 4

Po přepojení linky a vymezení úseku pro opravu zůstane bez napětí odbočka č. 1, a 3, dle obr. č. 35.



Obr. č. 35: Schéma po nalezení poruchy a provizorním přepojení pro jednoduchou linku – případ č. 4

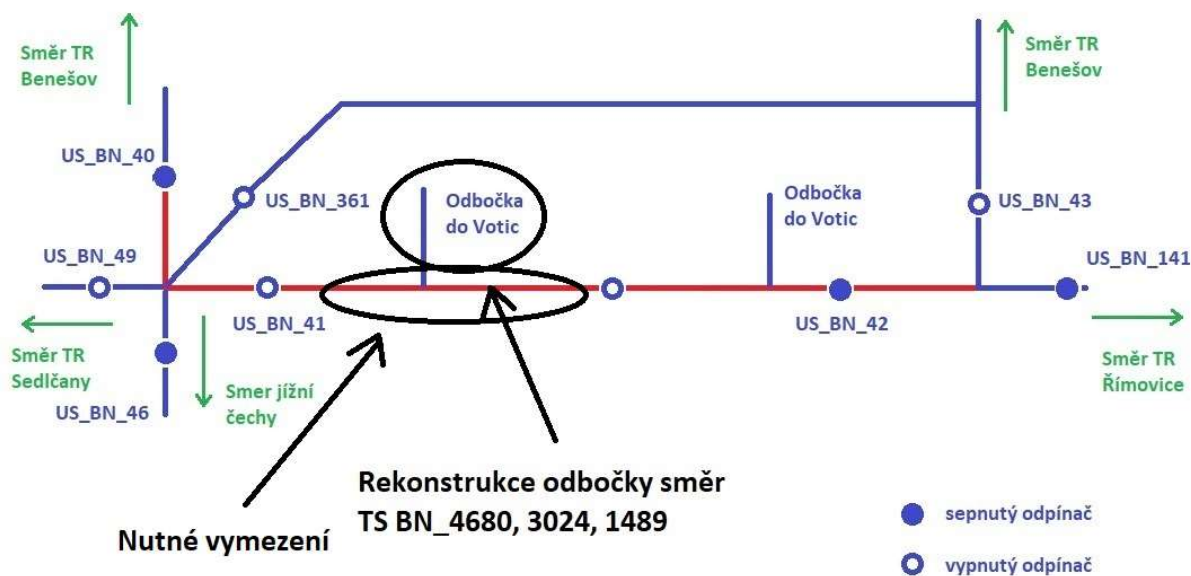
$$SAIDI = \frac{3 * (2200 + 60 + 310 + 30 + 1400) + 13 * (60 + 310 + 30)}{4000} = 258 \text{ min}$$

$$SAIFI = \frac{2200 + 60 + 310 + 30 + 1400}{4000} = 1$$

6.5.4. Výpočet pro variantu č. 2 – vrchní vedení s přidáním úsekového odpínače

6.5.4.1. Příklad č. 1

V tomto případě je nutné vymezení mezi nově navrženým US a US_BN_41, dle obr. č. 36. Za tohoto stavu bude vypnutá odbočka č. 2.



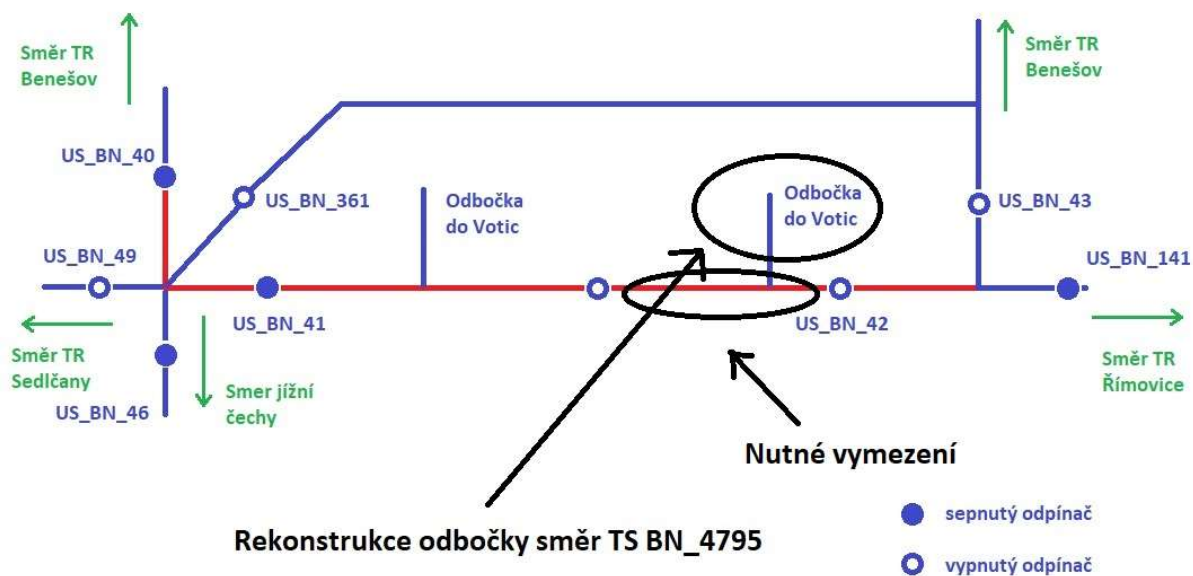
Obr. č. 36: Vymezení úseku pro rekonstrukci s navrženým US – případ č. 1

$$SAIDI = \frac{8 * 310 + 8 * 310}{400} = 774 \text{ min}$$

$$SAIFI = \frac{310 + 310}{400} = 1,55$$

6.5.4.2. Příklad č. 2

V tomto případě je nutné vymezení mezi nově navrženým US a US_BN_42, dle obr. č. 37. Za tohoto stavu bude vypnutá jen odbočka č. 1.



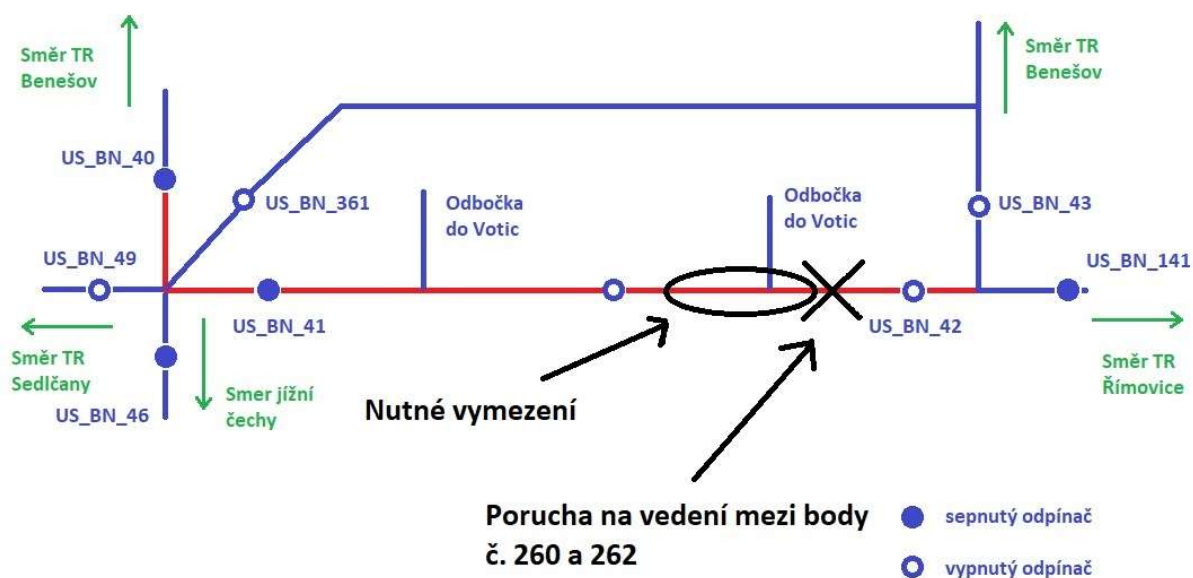
Obr. č. 37: Vymezení úseku pro rekonstrukci s navrženým US – případ č. 2

$$SAIDI = \frac{8 * 60 + 8 * 60}{400} = 144 \text{ min}$$

$$SAIFI = \frac{60 + 60}{400} = 0,3$$

6.5.4.3. Příklad č. 3

Po přepojení linky a vymezení úseku pro opravu zůstane bez napětí odbočka č. 1, dle obr. č. 38.



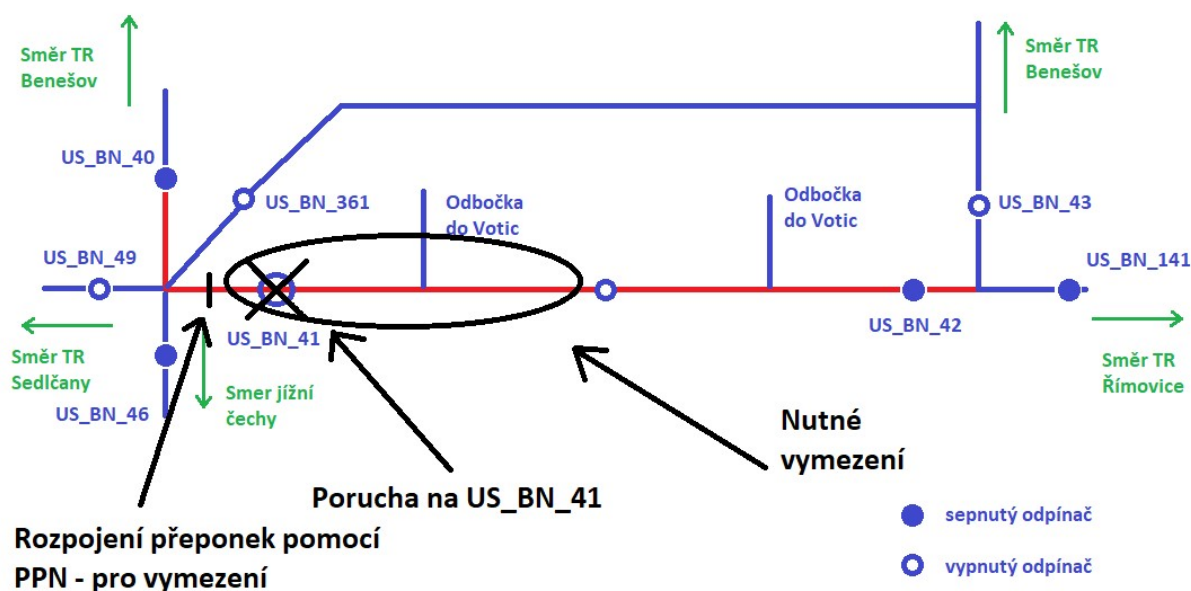
Obr. č. 38: Vymezení úseku pro opravu s navrženým US – případ č. 3

$$SAIDI = \frac{2 * (2200 + 60 + 310 + 30 + 1400) + 12 * 60}{4000} = 130,8 \text{ min}$$

$$SAIFI = \frac{2200 + 60 + 310 + 30 + 1400}{4000} = 1$$

6.5.4.4. Příklad č. 4

Po přepojení linky a vymezení úseku pro opravu zůstanou bez napětí odbočky č. 2 a 3, viz. obr. č. 39.



Obr. č. 39: Vymezení úseku pro opravu s navrženým US – případ č. 4

$$SAIDI = \frac{3 * (2200 + 60 + 310 + 30 + 1400) + 13 * (310 + 30)}{4000} = 246,3 \text{ min}$$

$$SAIFI = \frac{2200 + 60 + 310 + 30 + 1400}{4000} = 1$$

6.5.5. Výpočet pro variantu č. 3 – vrchní vedení s přidáním dálkově ovládaného úsekového odpínače

V případě použití dálkově ovládaného úsekového odpínače jsem počítal se snížením manipulační doby před a po vypnutí o 30 min, tzn. celkově o 60 minut.

6.5.5.1. Příklad č. 1

V tomto případě je nutné vymezení mezi nově navrženým US a US_BN_41, dle obr. č. 36. Za tohoto stavu bude vypnutá odbočka č. 2.

$$SAIDI = \frac{7 * 310 + 7 * 310}{400} = 651 \text{ min}$$

$$SAIFI = \frac{310 + 310}{400} = 1,55$$

6.5.5.2. Příklad č. 2

V tomto případě je nutné vymezení mezi nově navrženým US a US_BN_42, dle obr. č. 37. Za tohoto stavu bude vypnutá odbočka č. 1.

$$SAIDI = \frac{7 * 60 + 7 * 60}{400} = 126 \text{ min}$$

$$SAIFI = \frac{60 + 60}{400} = 0,3$$

6.5.5.3. Příklad č. 3

Po přepojení linky a vymezení úseku pro opravu zůstane bez napětí odbočka č.1, dle obr. č. 38.

$$SAIDI = \frac{2 * (2200 + 60 + 310 + 30 + 1400) + 11 * 60}{4000} = 129,9 \text{ min}$$

$$SAIFI = \frac{2200 + 60 + 310 + 30 + 1400}{4000} = 1$$

6.5.5.4. Příklad č. 4

Po přepojení linky a vymezení úseku pro opravu zůstanou bez napětí odbočky č. 2 a 3, viz. obr. č. 39.

$$SAIDI = \frac{3 * (2200 + 60 + 310 + 30 + 1400) + 12 * (310 + 30)}{4000} = 241,2 \text{ min}$$

$$SAIFI = \frac{2200 + 60 + 310 + 30 + 1400}{4000} = 1$$

6.5.6. Výpočet pro variantu č. 4 – vrchní vedení s přidáním dálkově ovládaného vypínače (RECLOSER)

Dálkově ovládaný vypínač by měl ovlivnit ukazatele SAIDI a SAIFI pouze v případě neplánovaných přerušení dodávek elektrické energie.

6.5.6.1. Příklad č. 1

Při rekonstrukci odbočky směr TS BN_4680, 3024, 1489 je nutné vymežit úsek (obr. č. 33) mezi US_BN_42 a US_BN_41, tudíž po celou dobu vypnutí budou odbočky č. 1 a 2 vypnuté.

$$SAIDI = \frac{8 * (310 + 60) + 8 * (310 + 60)}{400} = 888 \text{ min}$$

$$SAIFI = \frac{(310 + 60) + (310 + 60)}{400} = 1,85$$

6.5.6.2. Příklad č. 2

Při rekonstrukci odbočky směr TS BN_4795 je nutné vymežit úsek (obr. č. 33) mezi US_BN_42 a US_BN_41, tudíž po celou dobu vypnutí budou odbočky č. 1 a 2 vypnuté, stejně jako v předchozím případě.

$$SAIDI = \frac{8 * (310 + 60) + 8 * (310 + 60)}{400} = 888 \text{ min}$$

$$SAIFI = \frac{(310 + 60) + (310 + 60)}{400} = 1,85$$

6.5.6.3. Příklad č. 3

V případě poruchy na lince VN nesepe ochrana na rozvodně (TR Římovice), ale sepe vypínač mezi body č. 260 a 261. Tímto se také sníží doba hledání poruchy – dobu jsem snížil na hodinu. Instalací Recloseru se sníží velikost dopadu poruchy – sníží se počet zasažených trafostanic na polovinu.

Po přepojení linky a vymezení úseku pro opravu zůstanou bez napětí odbočky č. 1 a 2, dle obr. č. 34.

$$SAIDI = \frac{1 * (60 + 310 + 30 + 1400) + 12 * (60 + 310)}{4000} = 93,6 \text{ min}$$

$$SAIFI = \frac{400 + 1400}{4000} = 0,45$$

6.5.6.4. Příklad č. 4

Po přepojení linky a vymezení úseku pro opravu zůstanou bez napětí odbočky 1, 2 a 3, viz. obr. č. 35.

$$SAIDI = \frac{2 * (60 + 310 + 30 + 1400) + 13 * (60 + 310 + 30)}{4000} = 132 \text{ min}$$

$$SAIFI = \frac{400 + 1400}{4000} = 0,45$$

6.6. Shrnutí výsledků

Z tabulky č. 11 lze vyčíst, že nejlevněji vychází varianta bez přidaného zařízení. Druhá nejlevnější varianta je s ručně ovládaným úsekovým odpínačem. Nejdražší variantou je rekonstrukce s dálkově ovládaným vypínačem, avšak tato varianta je pouze o cca 60 tisíc dražší než varianta s dálkově ovládaným úsekovým odpínačem.

	Náklady [tis. Kč]
Rekonstrukce	2941,8
US	2997,0
DOUS	3398,6
DOV	3459,4

Tab. č. 11: Nákladů pro různé varianty stavby

Pozn.: US – varianta s manuálně ovládaným úsekovým odpínačem
 DOUS – varianta s dálkově ovládaným úsekovým odpínačem
 DOV – varianta s dálkově ovládaným vypínačem (Recloser)

Dále prezentované výsledky nemají žádnou váhu pro reálné použití, slouží pouze pro srovnání variant jednotlivých k vybrání nejlepšího možného provedení. Vyšší hodnoty pro případy č. 1 a 2 mají jinou vypovídající hodnotu než č. 3 a 4. U případů č. 1 a 2 jsem počítal s celkovým počtem odběratelů 400. U případů č. 3 a 4 je celkový počet odběratelů 4000.

V tabulkách č. 12 a 13, kde je srovnání ukazatele nepřetržitosti SAIDI, vidíme, že samotná rekonstrukce dopadla nejhůře. Další varianty vedou ke zlepšení jak v případě plánovaných i neplánovaných přerušení dodávek elektrické energie. V případě varianty s dálkově ovládaným vypínačem dochází ke zlepšení pouze u neplánovaných odstávek – to je způsobeno tím, že vypínač vypíná dané vedení pouze v případě poruchy. U variant s dálkově ovládaným a manuálně ovládaným úsekovým odpínačem jsou změny minimální.

SAIDI				
Případ	1	2	3	4
Rekonstrukce	888	888	186,6	258,0
US	774	144	130,8	246,3
DOUS	651	126	129,9	241,2
DOV	888	888	93,6	132,0

Tab. č. 12: Srovnání SAIDI pro všechny varianty a případy

SAIDI				
Případ	1	2	3	4
Rekonstrukce	0 %	0 %	0 %	0 %
US	13 %	84 %	30 %	5 %
DOUS	27 %	86 %	30 %	7 %
DOV	0 %	0 %	50 %	49 %

Tab. č. 13: Procentuální zlepšení SAIDI oproti variantě samotné rekonstrukce

Z tabulek č. 14 a 15 je patrné, že varianty s úsekovými odpínači dopadly nejlépe pro plánované přerušení. V případě neplánovaného přerušení je nejlepší varianta s dálkově ovládaných vypínačem. Samostatná rekonstrukce opět vyšla jako nejhorší možné řešení.

Vyšlé hodnoty pro ukazatel nepřetržitosti SAIFI jsou silně ovlivněné tím, že se počítá pouze s daným počtem nastalých událostí – v tomto případě je tento ukazatel silně nevypovídající. V případě, že by na mnou vybraném úseku došlo k rekonstrukci (2 vypnutí) a dále ke dvěma poruchám, tak by byl ukazatel SAIFI vysoko nad českým průměrem.

SAIFI				
Případ	1	2	3	4
Rekonstrukce	1,85	1,85	1	1
US	1,55	0,3	1	1
DOUS	1,55	0,3	1	1
DOV	1,85	1,85	0,45	0,45

Tab. č. 14: Srovnání SAIFI pro všechny varianty a případy

SAIFI				
Případ	1	2	3	4
Rekonstrukce	0 %	0 %	0 %	0 %
US	16 %	84 %	0 %	0 %
DOUS	16 %	84 %	0 %	0 %
DOV	0 %	0 %	55 %	55 %

Tab. č. 15: Procentuální zlepšení SAIFI oproti variantě samotné rekonstrukce

7. Závěr

Tato práce se zabývá problematikou spolehlivosti a kvality dodávek elektrické energie. Dodržování kvality a spolehlivosti je důležitým a nepostradatelným úkolem současné elektroenergetiky. V dnešní době je toto téma velice aktuální, a jelikož si myslím, že v budoucnu bude na tyto klíčové parametry brán ještě větší zřetel, bylo by špatné tuto tematiku opomíjet. Cílem práce bylo nalezení možnosti zlepšení kvality se zaměřením zlepšení ukazatelů nepřetržitosti, kterými se v ČR kvalita dodávek elektrické energie vyjadřuje.

V první kapitole práce jsem se zabýval spolehlivostí dodávek elektrické energie, v této části jsem teoreticky rozebral základní pojmy, vztahy a ukazatele. Dále jsem se věnoval rozdělení používaných v elektrotechnice a způsobu výpočtu spolehlivosti. Závěrem se tato kapitola věnuje ekonomickým aspektům spolehlivosti a způsobu oceňování přerušení dodávek elektrické energie.

Další kapitola se zabývá kvalitou dodávek elektrické energie, uvádím zde kvalitativní ukazatele napětí. Dále se věnuji tematice nepřetržitosti dodávek, kde uvádím různé druhy ukazatelů, včetně jejich výpočtu (SAIFI, SAIDI, CAIDI atd.), používaných u nás i v zahraničí. V ČR používáme různé parametry pro přenosovou a distribuční síť. Pro výpočet těchto ukazatelů je potřeba definovat typy přerušení používané u nás, této tematice se věnuje *vyhláška č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, ve znění vyhlášky č. 41/2010 Sb.*

Třetí kapitola popisuje současný stav dosažených ukazatelů nepřetržitosti pro distribuční a přenosovou soustavu v ČR dle *Roční zprávy o provozu ES ČR pro rok 2016 a Zprávy o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2016.*

Na tuto kapitolu navazuje další kapitola, která se věnuje srovnání stavu ČR se zahraničím. V této kapitole je několik grafů pro srovnání naší situace s okolním světem. Z grafů je patrné, že Česká republika zatím zdaleka nedosahuje kvalit západních zemí, tudíž je u nás mnoho prostoru pro zlepšení. Opatření pro zlepšení ukazatelů nepřetržitosti v ČR lze rozdělit na opatření přímo pro neplánované a plánované přerušení dodávky elektrické energie. Některá opatření jsou u obou variant stejná nebo spolu úzce souvisí – struktura sítě; koordinace dále uvedených prací: instalace nového zařízení, rekonstrukce sítě, kontrola a údržba zařízení, průseky. Kromě technických způsobů zlepšení ukazatelů nepřetržitosti, lze také použít regulační mechanismus a například snížit maximální možné doby trvání plánovaných nebo neplánovaných přerušení dodávky elektrické energie.

Největším faktorem kvality dodávky elektřiny je v České republice podíl kabelového vedení. U vysokého napětí je to cca 24 %. V případě České republiky jsme limitováni geografickými možnostmi, tudíž je nutné stále používat vrchní vedení. Podíl kabelového vedení je také silně ovlivněn výší investice. Na problematiku výše investice naráží i změna typologie sítě. V případě vrchního vedení je klíčovým parametrem prosekávání lesního porostu v ochranném pásmu vedení. Průseky se do nedávna neobnovovaly, a tudíž byla i mnohem větší pravděpodobnost výskytu poruchy.

Dalším důležitým faktorem je stáří sítě. Staré zařízení je častěji náchylné na údržbu a případnou opravu. V tomto případě by měli pracovníci poskytovatele distribučních

služeb (rozvoj) správně určit a zvolit zařízení k rekonstrukci či úpravě. V této rozhodovací fázi je nutné analyzovat možné způsoby provedení rekonstrukce. V realizaci rekonstrukce lze pak ukazatele nepřetržitosti zlepšit koordinací prací, a to využitím náhradního napájení (tato metoda je velmi finančně nákladná, takže se používá jen v málo případech) a pomocí PPN.

V poslední části této práci jsem se zaměřil na možnosti zlepšení ukazatelů v rámci rekonstrukce starého zařízení ve spojení s instalací nových zařízení. Zvolil jsem reálný úsek vedení vysokého napětí vhodný k rekonstrukci, analyzoval ho a navrhl čtyři způsoby, jak úsek vedení rekonstruovat, případně vhodně upravit. Tyto varianty by měl posuzovat technik rozvoje a navrhnout nejlepší možné řešení pro provozování distribuční sítě. Cílem je nalezení nejlevnějšího řešení s nejnižšími ukazateli nepřetržitosti. Ve skutečnosti technik rozvoje vytvořil zadávací návrh na pouhou rekonstrukci (varianta č. 1).

Na základě provedené analýzy a výpočtů bych doporučil variantu č. 2 – rekonstrukce s nově vloženým manuálně ovládaným úsekovým odpínačem. Rozdíl investice oproti variantě č. 1 činí přibližně 45 tisíc Kč, při velkém snížení ukazatelů nepřetržitosti. V případě použití dálkově ovládaného úsekového odpínače je výše investice o 457 tisíc Kč vyšší než u samotné rekonstrukce. Rozdíl mezi snížením ukazatelů nepřetržitosti u variant č. 2 a 3 je téměř zanedbatelný, takže bych variantu č. 3 spíše nedoporučil. Nově umístěný úsekový odpínač je umístěn na dobře přístupném místě – vedle polní cesty.

V případě použití varianty č. 4 je pak výše investice o 518 tisíc Kč vyšší. Tato varianta je vhodná pouze pro snížení ukazatelů nepřetržitosti v případě neplánovaných přerušení dodávek elektrické energie. Instalace dálkově ovládaného vypínače by byla vhodná za předpokladu, že vedení vysokého napětí nemá ve svém průběhu instalován žádný vypínač.

Pro nejlepší zlepšení ukazatelů nepřetržitosti v případě plánovaných i neplánovaných přerušení dodávek elektrické energie by byla kombinace manuálního úsekového odpínače a dálkově ovládaného vypínače.

Samotné snížení ukazatelů nepřetržitosti má vliv na motivační regulaci kvality. Společnosti provozující distribuční síť jsou finančně motivovány ke snižování ukazatelů. Pokud distributor dosáhne lepších tzn. nižších hodnot, než stanovil ERÚ, pak společnost získá finanční bonus. Pokud společnost přesáhne hodnoty stanovené ERÚ, pak musí společnost zaplatit penále. Tato situace se promítá v plnění ukazatelů pro určité pracovníky např. ČEZ Distribuce, a.s., kdy technici koordinace prací musí splnit nastavené hodnoty ukazatelů nepřetržitosti, aby měli nárok na odměny nad rámec základní mzdy.

Tento výsledek je ovlivněn mnoha faktory: počet odběrných míst na vedení a odbočkách; umístění navržených zařízení; zadané případy (rekonstrukce odboček a poruchy); zadané parametry – doba manipulací, doba opravy atd.; stav distribuční sítě. Výsledky jsou silně ovlivněny vybranými případy. Pokud bych vybral jiné případy přerušení dodávky elektrické energie, mohly by výsledky vyjít zcela odlišně. Tudíž z nich nelze vyvozovat obecné závěry, ale ve většině případech lze použít následující:

Instalace manuálně ovládaného úsekového odpínače se vyplatí, pokud bude nainstalován v dlouhém úseku vedení bez úsekového odpínače nebo na odbočkách z páteřního vedení. Dále musí být umístěn v dobře přístupném terénu.

Instalace dálkově ovládaného úsekové odpínače se vyplatí za stejných podmínek jako manuálně ovládaný úsekový odpínač. Měl by být instalován na důležitých odbočkách; případně na místech, kde je více směrů napájení; na špatně dostupných místech.

Instalace dálkově ovládaného vypínače se vyplatí v průběhu páteřního vedení nebo na odbočkách s velkým počtem trafostanic. Nemá smysl tuto drahou technologii instalovat na místech, kde bude vypínat pouze tři trafostanice. Umístění této technologie vyžaduje důkladnou analýzu distribuční sítě. Avšak v případě nalezení vhodného místa pro vypínač bych instalaci doporučoval i přes vysokou cenu instalace. V případě neplánovaného přerušení dodávky elektrické energie je vypínač schopen ochránit obrovský počet odběrných míst před přerušením.

Umístění vše těchto zařízení je potřeba důkladně analyzovat a vhodně je vložit do stávající distribuční sítě. K vybrání vhodného místa pro umístění je potřeba znát celkové schéma sítě, technický stav sítě a, provozní stav sítě. Dále je například možné pomocí analýzy dat množství poruch v závislosti na místě výskytu naleznout kritická místa, a ty poté opravit nebo předělat.

Pomocí takto cílených rekonstrukcí, oprav či zásahů by bylo možné částečně změnit typologii vedení vysokého napětí. Při lepším plánování těchto investic by se zcela jistě dosáhlo lepších parametrů nepřetržitosti.

8. Zdroje

- [1] TŮMA, Jiří, Stanislav RUSEK, Zbyněk MARTÍNEK, Igor CHEMIŠINEC, Radomír GOŇO. Spolehlivost v elektroenergetice. ČVUT Praha. ISBN 80-239-6483-6.
- [2] HRADÍLEK, Zdeněk. Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení. VŠB TU Ostrava, 2008. ISBN 978-80-7225-291-6.
- [3] IBLER, Zbyněk, a kol. Technický průvodce energetika. BEN Praha, 2002. ISBN 80-7300-026-1.
- [4] CHEMIŠINEC, Igor, Miroslav MARVAN, Jakub NEČESANÝ, Tomáš SÝKORA, Jiří TŮMA. Obchod s elektřinou. Conte Praha, 2010 ISBN 978-80-254-6695-7.
- [5] MEDVEC, Zdeněk.: Spolehlivost elektroenergetické soustavy v souvislosti s oceněním nedodané elektrické energie. Habilitační práce. VŠB Ostrava, 2007.
- [6] TLUSTÝ, Josef. Kvalita elektrické energie. K 13115 interní text. ČVUT Praha, 2005.
- [7] TLUSTÝ, Josef. Energetická rušení v distribučních a průmyslových sítí. Fakulta elektrotechnická ČVUT Praha, 1999.
- [8] Guidelines of Good Practice on Estimation of Costs due to Electricity Interruptions and Voltage Disturbances, CEER [online]. 2010 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.energie2007.fr/images/upload/ceer-guidelines_of_gpon_estimation_of_costs_due_to_el_interruptions-en-101209.pdf
- [9] ŠEFRÁNEK, Jan. Spolehlivost a kvalita dodávek elektřiny a možnosti jejich ovlivňování [online]. Praha, 2014 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/60902>
- [10] Roční zpráva o provozu ES ČR pro rok 2016. Energetický regulační úřad [online] 2016 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2016.pdf/800e5a09-a58a-4a73-913f-abc30cda42a5
- [11] Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2016. Energetický regulační úřad [online] 2016 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava_o_kvalite_2016.pdf/352dfcfe-09d1-4a5d-becb-7aff3aadb5ef
- [12] IEEE Std 1366™-2003: Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices
- [13] IEEE Std 1366™-2012: Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices
- [14] TR 50 555: Interruption indexes, CENELEC
- [15] CEER 6th Benchmarking Report on the Quality of Electricity and Gas Supply. CEER [online]. 2016 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/d064733a-9614-e320-a068-2086ed27be7f>

- [16] Vyhláška č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice, ve znění vyhlášky č. 41/2010 Sb. Energetický regulační [online]. [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/-/vyhlaska-c-540-2005-sb-?inheritRedirect=true>
- [17] Schéma distribučních a přenosových sítí ČR. [online]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/obrazky/230.gif>
- [18] Mapy.cz [online]. Dostupné z: <http://www.mapy.cz>
- [19] RICHTER, Miroslav. Návrh rekonstrukce distribuční sítě. [online]. Brno, 2008 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=7354
- [20] DRIBO, spol. s. r. o. [online]. Brno, 2018 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: <http://www.dribo.cz/>
- [21] Pravidla provozování distribučních soustav příloha č. 2 Metodika určování nepřetržitosti distribuce elektřiny a spolehlivosti prvků distribučních sítí. CEŽ Distribuce, a.s. [online]. 2016 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/ppds-2017_priloha-2.pdf
- [22] KOSTKA, Tomáš, Ondřej TOPOLÁNEK. Elektrotechnika II Elektrické přístroje [online]. SOUT Havířov, 2003 [cit. 2018-01-03]. Dostupné z: http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/esp/el_pristroje_2.pdf

9. Seznam použitých zkratek

ASAI	Average service availability index
ASIDI	Average System Interruption Duration Index
ASIFI	Average system interruption frequency index
BOZP	Bezpečnost a ochranazdraví při práci
CAIDI	Customer average interruption duration index
CAIFI	Customer average interruption frequency index
CEER	Rada evropských regulátorů (Council of European Energy
Regulators)	
CEMI _n	Customers experiencing multiple interruptions
CEMSMI _n	Customers experiencing multiple sustained interruption and
momentary interruption events	
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization
CTAIDI	Customer total average interruption duration index
ČEZ	České energetické závody
ČDS	ČEZ distribuční služby
DOUS	dálkově ovládaný úsekový odpínač
DOV	dálkově ovládaný vypínač
DS	distribuční soustava
ERÚ	Energetický regulační úřad
ES	elektrizační soustava
MAIFI	Momentary average interruption frequency index)
NN	nízké napětí
OM	odběrné místo
PD	projektová dokumentace
PPN	práce pod napětím
PS	přenosová soustava
ŘPÚ	řád preventivní údržby
SAIDI	System average interruption duration index
SAIFI	System average interruption frequency index
TR	rozvodna
TS	trafostanice
US	úsekový odpínač
VN	vysoké napětí

10. Seznam obrázků a tabulek

Obr. č. 1:	Vanová křivka [9]
Obr. č. 2:	Závislost kvality a spolehlivosti na nákladech [9]
Obr. č. 3:	Počet přerušení přenosu [11]
Obr. č. 4:	Doba trvání přerušení přenosu [11]
Obr. č. 5:	Průměrná doba trvání jednoho přerušení v PS [11]
Obr. č. 6:	Nedodaná energie z pohledu PS [11]
Obr. č. 7:	Vývoj ukazatele SAIFI v DS [11]
Obr. č. 8:	Vývoj ukazatele SAIDI v DS [11]
Obr. č. 9:	Srovnání délky vedení NN v rámci EU [15]
Obr. č. 10:	Srovnání délky vedení VN v rámci EU [15]
Obr. č. 11:	Srovnání podílu kabelového vedení v rámci EU [15]
Obr. č. 12:	Srovnání podílu kabelového vedení v rámci EU [15]
Obr. č. 13:	Srovnání SAIFI v rámci EU [15]
Obr. č. 14:	Srovnání SAIDI v rámci EU [15]
Obr. č. 15:	Celková délka vedení v rámci ČR [11]
Obr. č. 16:	Podíl kabelových vedení v ČR [11]
Obr. č. 17:	Schéma paprskové sítě [19]
Obr. č. 18:	Schéma okružní sítě [19]
Obr. č. 19:	Manuálně ovládaný úsekový odpínač [20]
Obr. č. 20:	Dálkově ovládaný úsekový odpínač [20]
Obr. č. 21:	Dálkově ovládaný vypínač RECLOSER [20]
Obr. č. 22:	Schéma VVN ČR – detail jih středních Čech [17]
Obr. č. 23:	Vybraná část VN 4107 [18]
Obr. č. 24:	Detail linky s důležitými US
Obr. č. 25:	Provozní stav linky VN 4107
Obr. č. 26:	Návrh nového ručního US
Obr. č. 27:	Návrh RECLOSERu
Obr. č. 28:	Počet odběrných míst na odbočkách vedení VN
Obr. č. 29:	Případ č. 1
Obr. č. 30:	Případ č. 2
Obr. č. 31:	Případ č. 3
Obr. č. 32:	Případ č. 4
Obr. č. 33:	Vymezení úseku nutné pro rekonstrukci pro jednoduchou linku

- Obr. č. 34: Schéma po nalezení poruchy a provizorním přepojení pro jednoduchou linku – případ č. 3
- Obr. č. 35: Schéma po nalezení poruchy a provizorním přepojení pro jednoduchou linku – případ č. 4
- Obr. č. 36: Vymezení úseku pro rekonstrukci s navrženým US – případ č.
- Obr. č. 37: Vymezení úseku pro rekonstrukci s navrženým US – případ č. 2
- Obr. č. 38: Vymezení úseku pro opravu s navrženým US – případ č. 3
- Obr. č. 39: Vymezení úseku pro opravu s navrženým US – případ č. 4
- Tab. č. 1: Vztahy mezi základními veličinami
- Tab. č. 2: Profil společnosti ČEPS [11]
- Tab. č. 3: Ukazatele nepřetržitosti PS za rok 2016 [11]
- Tab. č. 4: Ukazatele nepřetržitosti DS za rok 2016 [11]
- Tab. č. 5: Zastoupení poruch v roce 2016 na Benešovsku
- Tab. č. 6: Ocenění provozu diesel agregátu
- Tab. č. 7: Cenové náklady varianty rekonstrukce beze změny
- Tab. č. 8: Cenové náklady varianty s přidáním jednoho úsekového odpínače
- Tab. č. 9: Cenové náklady varianty s přidáním dálkově ovládaného úsekového odpínače
- Tab. č. 10: Cenové náklady varianty s dálkově ovládaného vypínače
- Tab. č. 11:
- Tab. č. 12: Srovnání SAIDI pro všechny varianty a případ
- Tab. č. 13: Procentuální zlepšení SAIDI oproti variantě samotné rekonstrukce
- Tab. č. 14: Srovnání SAIFI pro všechny varianty a případy
- Tab. č. 15: Procentuální zlepšení SAIFI oproti variantě samotné rekonstrukce