



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky

Hodnocení poruch v distribuční soustavě vysokého a velmi vysokého napětí včetně návrhu pro optimální posílení spolehlivosti sítě

Evaluation of faults in the medium voltage and high voltage distribution system, including design for optimal enhancement of grid reliability

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektroenergetika

Vedoucí práce: Ing. Martin Čerňan, Ph.D.

Bc. Tereza Jeřábková
Praha 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Jeřábková** Jméno: **Tereza** Osobní číslo: **468783**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Hodnocení poruch v distribuční soustavě vysokého a velmi vysokého napětí včetně návrhu pro optimální posílení spolehlivosti sítě

Název diplomové práce anglicky:

Evaluation of faults in the medium voltage and high voltage distribution system, including design for optimal enhancement of grid reliability

Pokyny pro vypracování:

1. Zpracujte přehled přístupů k spolehlivosti v distribučních soustavách včetně legislativního rámce ČR.
2. Zpracujte přehled současných přístupů k hodnocení a analýze poruch v distribuční soustavě na napěťových hladinách VN a VVN.
3. Identifikujte nedostatky současného systému hodnocení a analýzy poruch vdané distribuční soustavě VN a VVN.
4. Navrhněte progresivní nástroj pro analýzu dopadu poruch, který významně vylepší současně používané přístupy.
5. S pomocí vytvořeného nástroje navrhněte optimální opatření pro posílení spolehlivosti dané distribuční soustavy.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Brown R.E.. (2017). Electric power distribution reliability, second edition. 10.1201/9780849375682.
- [2] SHORT T.A. Electric Power Distribution Handbook. Second edition. CRC Press, 2014. ISBN 978-1-4665-9866-9.
- [3] TŮMA, Jiří. Spolehlivost v elektroenergetice. 1. vyd. Praha: Conte, 2006, 291 s. ISBN 80-239-6483-6.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Martin Čerňan, Ph.D. katedra elektroenergetiky FEL

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

Datum zadání diplomové práce: **13.09.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.01.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **19.02.2024**

Ing. Martin Čerňan, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna 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 studentky

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 10. 1. 2023

.....

Tereza Jeřábková

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat Ing. Martinu Čerňanovi, Ph.D. za odborné vedení diplomové práce a cenné rady a připomínky při její tvorbě. Zároveň bych ráda poděkovala odborníkům ze společnosti PREdistribuce, a.s. za vstřícnost, přínosné konzultace a čas, který mi věnovali. V neposlední řadě děkuji rodině za zázemí a podporu v průběhu studia.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá hodnocením a analýzou poruch v síti vysokého a velmi vysokého napětí distribuční společnosti PREdistribuce, a.s. Jelikož na provozovatele distribučních soustav jsou kladeny čím dál přísnější nároky ohledně spolehlivostních ukazatelů, je nutné hledat nové způsoby a opatření pro posílení spolehlivosti sítě. V rámci této diplomové práce vznikla nová kategorizace poruch a komplexní analytický nástroj zabývající se poruchami v síti PREdistribuce za posledních 10 let. Nástroj zprostředkovává nejen ucelený pohled na dění v síti, ale zároveň také umožňuje provozovateli distribuční soustavy dělat investiční rozhodnutí založená na datech. Nástroj byl vytvořen v programu Microsoft Power BI, jenž nabízí především přehledné vizualizace, přívětivé uživatelské prostředí a možnost libovolného filtrování dat. Součástí práce je také návrh a zhodnocení několika opatření pro posílení spolehlivosti sítě, která byla identifikována na základě vytvořeného analytického nástroje. Navržená opatření jsou porovnávána nejen na základě jejich přínosu týkajícího se zlepšení komponenty Q, ale do souvislosti jsou uvedeny také náklady na tato opatření.

Klíčová slova

Spolehlivost, SAIFI, SAIDI, motivační regulace kvality, komponenta Q, investice založené na datech

Abstract

This thesis deals with the evaluation and analysis of faults in the medium and high voltage network of the distribution company PREdistribuce, a.s. As more and more stringent demands are placed on distribution system operators regarding reliability indicators, it is necessary to look for new ways and measures to enhance network reliability. In the framework of this thesis, a new fault categorization and a comprehensive analytical tool dealing with faults in the PREdistribuce network over the last 10 years was developed. The tool not only provides a comprehensive view of what is happening in the network, but also enables the DSO to make data-driven investment decisions. The tool has been developed in Microsoft Power BI, which offers clear visualisations, a user-friendly interface, and the possibility of arbitrary data filtering. The work also includes the design and evaluation of several measures enhancing network reliability that were identified based on the developed analytical tool. The proposed measures are compared not only on the basis of their benefits related to the improvement of the Q component, but the costs of these measures are also put into context.

Keywords

Reliability, SAIFI, SAIDI, motivational quality control, Q component, data-driven investment

Obsah

Seznam použitých zkratk.....	6
Seznam obrázků	7
Seznam tabulek	9
1. Úvod.....	10
2. Přístupy k spolehlivosti v DS.....	11
2.1. Systémová spolehlivost.....	11
2.1.1. Právní rámec.....	11
2.1.2. Ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny	13
2.1.3. Typy přerušení distribuce elektřiny.....	14
2.1.4. DS v ČR a jejich spolehlivostní ukazatele	16
2.1.5. Spolehlivostní ukazatele v evropských státech	20
2.2. Spolehlivost prvků sítě.....	23
2.2.1. Spolehlivostní ukazatele.....	24
2.2.2. Metody vyhodnocování.....	26
3. Hodnocení a analýza poruch na hladině VN a VVN.....	27
3.1. Kategorie hodnocení	27
3.2. Motivační regulace kvality – Komponenta Q	29
3.3. Současný systém hodnocení a analýzy poruch na hladině VN a VVN.....	35
3.3.1. Poruchovostní komise	35
3.3.2. Analýza mimořádné události.....	36
4. Identifikace nedostatků současného systému.....	37
5. Vývoj nástroje pro analýzu dopadu poruch.....	40
5.1. Sestavení kategorizace poruch	41
5.2. Třídění historických dat	45
5.3. Tvorba nástroje v Power BI	46
5.3.1. Komponenta Q	48
5.3.2. Celkový přehled	52
5.3.3. Oblasti TR.....	55
6. Návrh opatření pro posílení spolehlivosti	58
6.1. Identifikace možných opatření	60
7. Vyhodnocení opatření	63
7.1. Nahrazení olejových kabelů.....	63
7.2. Přístrojové transformátory sekce 22 kV	66
7.3. Transformátory 110/22 kV – zvěř.....	67
7.4. Kabelizace vedení – Běchovice	68
7.5. Nahrazení spojek Barnier.....	68
7.6. Odhad nákladů na opatření.....	70

8. Závěr	73
Literatura	75
Seznam příloh	79
Příloha A	79
Příloha B	83

Seznam použitých zkratk

AMU	Analýza mimořádné události
BA	Barnier (typ spojky)
CAIDI	Customer Average Interruption Duration Index
ČR	Česká republika
DŘT	Dispečerská řídicí technika
DS	Distribuční soustava
ERÚ	Energetický regulační úřad
GIS	Geografický informační systém
LDS	Lokální distribuční soustava
LV	Low Voltage
MV	Medium Voltage
NN	Nízké napětí
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
PILC	Paper Insulated Lead Covered
PO	Primární odběr
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy
PTN	Přístrojový transformátor napětí
PTP	Přístrojový transformátor proudu
R 110 kV	Rozvodna 110 kV
R 22 kV	Rozvodna 22 kV
RDS	Regionální distribuční soustava
RIS	Rozpínací skříň
RO	Regulační období
RS	Rozpínací stanice
SAIDI	System Average Interruption Duration Index
SAIFI	System Average Interruption Frequency Index
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SP	Skříň přípojek
SW	Software
TR	Transformovna
TS	Transformační stanice
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
XLPE	Cross-linked Polyethylen
ZVN	Zvlášť vysoké napětí

Seznam obrázků

Obrázek 2.1 Vymezená území distribučních společností, převzato z [11].....	16
Obrázek 2.2 Délka kabelových a venkovních vedení RDS, převzato z [12].....	17
Obrázek 2.3 Podíl kabelových a venkovních vedení RDS, převzato z [12].....	18
Obrázek 2.4 Celkový počet odběrných míst, převzato z [12]	18
Obrázek 2.5 Vývoj ukazatele SAIFI v letech 2008-2021 [12] [16; 17; 18; 19]	19
Obrázek 2.6 Vývoj ukazatele SAIDI v letech 2008-2021 [12] [16; 17; 18; 19]	19
Obrázek 2.7 Vývoj ukazatele CAIDI v letech 2008-2021 [12] [16; 17; 18; 19]	20
Obrázek 2.8 Podíl kabelového vedení na hladině VN a NN v evropských zemích, převzato z [27]	21
Obrázek 2.9 Porovnání ukazatele SAIDI v Evropě (neplánovaná přerušení bez mimořádných událostí), převzato z [28].....	22
Obrázek 2.10 Porovnání ukazatele SAIFI v Evropě (neplánovaná přerušení bez mimořádných událostí), převzato z [28].....	23
Obrázek 2.11 Časový průběh intenzity poruchy $\lambda(t)$ - vanová křivka [5]	26
Obrázek 3.1 Princip motivační regulace kvality [4].....	30
Obrázek 3.2 Graf parametrů motivační regulace kvality pro ukazatel SAIFI _Q	31
Obrázek 3.3 Graf parametrů motivační regulace kvality pro ukazatel SAIDI _Q	31
Obrázek 3.4 Vývoj ukazatele SAIFI _Q společnosti PREdistribuce.....	34
Obrázek 3.5 Vývoj ukazatele SAIDI _Q společnosti PREdistribuce	34
Obrázek 3.6 Příklad současného způsobu hodnocení poruch.....	36
Obrázek 4.1 Číselník příčin poruch v nástroji SAP.....	38
Obrázek 4.2 Rozdělení poruch VN a VNN dle příčiny v nástroji SAP pro rok 2021	39
Obrázek 5.1 Seznam technologických celků.....	41
Obrázek 5.2 Seznam podskupin technologického celku Mimo PREdi	42
Obrázek 5.3 Seznam podskupin technologických celků TR, RS a TS.....	42
Obrázek 5.4 Seznam podskupin technologického celku Vedení.....	43
Obrázek 5.5 Seznam podskupin technologických celků RIS, SP a Kabelový tunel	43
Obrázek 5.6 Seznam technologií pro kabelová vedení.....	43
Obrázek 5.7 Seznam technologií pro venkovní vedení	43
Obrázek 5.8 Seznam technologií pro mrtvé vedení nebo vedení ve výstavbě a sdělovací kabel	44
Obrázek 5.9 Seznam technologií transformátorů	44
Obrázek 5.10 Seznam technologií rozváděčů	44
Obrázek 5.11 Seznam univerzálních příčin události	45
Obrázek 5.12 Seznam příčin události pro stavební část technologických celků	45
Obrázek 5.13 Příklad hlášení události 10611283	46
Obrázek 5.14 Propojení kategorie čísla SAP mezi jednotlivými zdrojovými dokumenty	47
Obrázek 5.15 Model v projektu nástroje pro hodnocení poruch v Power BI	48
Obrázek 5.16 Vzhled karty Komponenta Q – SAIDI _Q bez MU.....	49
Obrázek 5.17 Vzhled karty Komponenta Q – SAIFI _Q bez MU	49
Obrázek 5.18 Graf průměrných hodnot ukazatele SAIDI _Q za roky 2012-2021 a měsíční příspěvky za rok 2022.....	50
Obrázek 5.19 Vzhled karty Komponenta Q – SAIDI _Q s MU.....	51
Obrázek 5.20 Vzhled karty Komponenta Q – SAIFI _Q s MU	51
Obrázek 5.21 Princip zakomponování dat z nástroje SAP.....	52
Obrázek 5.22 Vzhled karty Celkový přehled - podle SAIDI	52
Obrázek 5.23 Vzhled karty Celkový přehled - podle SAIFI	53
Obrázek 5.24 Základní nastavení filtrů karty Celkový přehled.....	53
Obrázek 5.25 Ukázka filtrování - distribuční síť.....	54
Obrázek 5.26 Ukázka filtrování - nastavení filtrů.....	55

Obrázek 5.27 Ukázka filtrování přímo ve vizuálu – příklad pro Stavební část.....	55
Obrázek 5.28 Vzhled karty Oblasti TR - podle SAIDI	56
Obrázek 5.29 Vzhled karty Oblasti TR - podle SAIFI.....	56
Obrázek 5.30 Označení 5 událostí s největším příspěvkem do SAIDI - graf.....	57
Obrázek 5.31 Označení 5 událostí s největším dopadem do SAIDI - tabulka	57
Obrázek 6.1 Podíl jednotlivých úrovní napětí a typů přerušení na ukazateli SAIDI _Q za posledních 10 let.....	58
Obrázek 6.2 Vývoj ukazatele SAIDI _Q a podíl přerušení podle napěťové hladiny a typu přerušení.....	59
Obrázek 6.3 Podíl jednotlivých úrovní napětí a typů přerušení na ukazateli SAIFI _Q za posledních 10 let	59
Obrázek 6.4 Vývoj ukazatele SAIFI _Q a podíl přerušení podle napěťové hladiny a typu přerušení	60
Obrázek 6.5 Příspěvky podskupiny Transformátor 110/22 kV do SAIFI _Q dle příčiny události	61
Obrázek 6.6 Příspěvek poruch přístrojových transformátorů do ukazatele SAIFI _Q dle umístění	62
Obrázek 7.1 Kategorie VN kabelů, spojek a koncovek, převzato z [37].....	63
Obrázek 7.2 Počet spojkovišť dle technologie v průběhu let podle dat společnosti PREdistribuce	69

Seznam tabulek

Tabulka 2.1 Charakter sítí jednotlivých PDS (vlastní tvorba, data převzata z [8; 9; 10; 11]).....	17
Tabulka 2.2 Vztahy mezi základními spolehlivostními ukazateli, převzato z [1].....	25
Tabulka 3.1 Číselník kategorie Typ poruchy [2].....	28
Tabulka 3.2 Nejnovější kategorie plánovaných přerušení [2].....	28
Tabulka 3.3 Číselník kategorie Příčina události [2].....	28
Tabulka 3.4 Parametry ukazatele SAIFI _Q pro IV. regulační období.....	32
Tabulka 3.5 Parametry ukazatele SAIDI _Q pro IV. regulační období.....	32
Tabulka 3.6 Parametry ukazatelů SAIFI _Q a SAIDI _Q pro V. regulační období.....	33
Tabulka 3.7 Bonusy a penále pro jednotlivé distribuční společnosti v rámci motivační regulace kvality [27].....	33
Tabulka 3.8 Stupnice pro hodnocení faktorů, převzato z [30].....	36
Tabulka 5.1 Zatřídění události 10611283.....	46
Tabulka 7.1 Průměrné hodnoty ukazatelů SAIDI _Q a SAIFI _Q za posledních 10 let.....	63
Tabulka 7.2 Informace o jednotlivých kategoriích kabelů VN.....	64
Tabulka 7.3 Informace o jednotlivých kategoriích spojek VN.....	64
Tabulka 7.4 Informace o jednotlivých kategoriích koncovek VN.....	64
Tabulka 7.5 Příspěvky jednotlivých typů prvků do komponenty Q za roky 2012-2021 a vypočítané průměrné příspěvky na jednu poruchu.....	65
Tabulka 7.6 Hodnoty pro určení průměrného příspěvku do komponenty Q po nahrazení olejových kabelů.....	65
Tabulka 7.7 Přínos opatření nahrazení olejových kabelů.....	66
Tabulka 7.8 Přínos opatření výměny přístrojových transformátorů v sekci 22 kV TR Chodov.....	66
Tabulka 7.9 Přínos opatření izolace vývodů 22 kV.....	67
Tabulka 7.10 Přínos minimalizace přerušení způsobených zvěří.....	67
Tabulka 7.11 Základní údaje týkající se opatření kabelizace Běchovic.....	68
Tabulka 7.12 Přínos opatření kabelizace venkovního vedení z TR Běchovice.....	68
Tabulka 7.13 Současný průměrný roční příspěvek poruch spojek BA do komponenty Q.....	69
Tabulka 7.14 Hodnoty pro určení průměrného příspěvku do komponenty Q po nahrazení spojek BA.....	70
Tabulka 7.15 Přínos opatření nahrazení spojek Barnier.....	70
Tabulka 7.16 Porovnání opatření dle vlivu na komponentu Q.....	70
Tabulka 7.17 Přehled měrných nákladů a celkových nákladů pro jednotlivá opatření.....	71
Tabulka 7.18 Porovnání opatření podle poměru přínos/náklady.....	71

1. Úvod

V současné době prochází elektroenergetika jedním z nejdynamičtějších období celé její historie. Nejvýraznějšími trendy současnosti jsou decentralizace a dekarbonizace energetiky, elektromobilita a nástup zcela nových konceptů jako je flexibilita, chytré sítě nebo například energetické společenství. Všechny tyto koncepty jsou prostředkem Evropské unie pro dosažení jejích klimaticko-energetických cílů, které jsou nepochybně velmi ambiciózní. Pokud však chce Evropská unie splnit jeden ze svých hlavních politických cílů, kterým je dosažení klimatické neutrality do roku 2050, je rychlý rozvoj těchto trendů nezbytný. Současně se však tomuto rozvoji musí přizpůsobit také evropské distribuční sítě, které jsou novými trendy významně ovlivňovány. [1-3]

Navzdory dynamickým změnám jsou na provozovatele distribučních soustav na území České republiky kladeny stále se zvyšující požadavky na spolehlivost dodávek elektrické energie v podobě motivační regulace kvality. [4] Pokud distribuční společnosti nechtějí být v budoucnu penalizovány za nedodržení limitů spolehlivosti, musí najít nástroj, který jim pomůže spolehlivost dodávek zvyšovat. Ze strany provozovatelů distribučních soustav budou navíc nutné rozsáhlé investice pro zavedení nových technologií a udržení stávající kvality a spolehlivosti dodávek elektrické energie. Aby provozovatelé mohli dělat informovaná rozhodnutí o investicích do distribuční sítě, musí být tato rozhodnutí založena na kvalitních datech a analýzách.

V rešeršní části této práce budou představeny základní přístupy k spolehlivosti v DS a k hodnocení poruch hladiny vysokého a velmi vysokého napětí. V této části bude představen legislativní rámec spolehlivosti v ČR včetně zavedení základních pojmů jako jsou spolehlivostní ukazatele a typy přerušení. Mimo jiné bude v této kapitole provedena také analýza vývoje spolehlivostních ukazatelů a detailní popis charakteru regionálních distribučních soustav v České republice. Vzhledem k zaměření práce bude dále podrobně popsán pojem motivační regulace kvality a současný systém hodnocení poruch na hladině VN a VVN.

Praktická část této práce se zaměřuje na vytvoření nástroje pro analýzu dopadu poruch a návrh opatření pro optimální posílení spolehlivosti distribuční soustavy PREDistribuce. Nejprve se práce bude zabývat identifikací nedostatků současného systému, z čehož lze odvodit požadavky na nový systém hodnocení a analýzy poruch. Dle těchto požadavků bude poté vytvořena nová kategorizace a nástroj pro analýzu dopadu poruch. Na závěr se práce bude zabývat identifikací možných opatření pro posílení spolehlivosti včetně porovnání nákladů na jejich zavedení.

2. Přístupy k spolehlivosti v DS

Problematiku spolehlivosti a spolehlivostních výpočtů v distribuční soustavě můžeme rozdělit na spolehlivost prvků sítě a na systémové ukazatele spolehlivosti. Pokud zkoumáme spolehlivost dané části sítě, např. pravděpodobnost bezporuchového chodu napájení určitého odběratele, použijeme klasické ukazatele, jako je intenzita poruch jednotlivých prvků sítě nebo střední doba poruchy a jednu z mnoha metod spolehlivostních výpočtů. Pokud chceme kvantifikovat spolehlivost dodávky elektrické energie do určité oblasti a za sledované období, je třeba použít systémové ukazatele, které navíc uvažují údaj o počtu připojených odběratelů. [5]

Pokud hovoříme o spolehlivosti v distribučních soustavách, ve většině případů máme na mysli systémovou spolehlivost. Ukazatele systémové spolehlivosti se běžně používají k hodnocení spolehlivosti dodávky elektrické energie v distribučních soustavách a jsou také zakotvené v legislativě. Spolehlivost prvků distribuční soustavy se vzhledem ke složitosti a počtu prvků distribučních soustav k určení spolehlivosti celého systému nepoužívá. Spolehlivost prvků ale můžeme uplatnit v souvislosti s porovnáváním spolehlivosti různých typů zařízení a jejich výrobců. Informace o spolehlivosti prvků je důležitá například při rozhodování o investicích do vybavení sítě.

Tato problematika, stejně jako všechny uvedené pojmy, bude vysvětlena v následujících kapitolách. Vzhledem k zaměření této práce bude nejprve podrobně popsána systémová spolehlivost včetně legislativního rámce ČR a v druhé části budou pro úplnost práce zavedeny pojmy ze spolehlivosti prvků.

2.1. Systémová spolehlivost

V rámci systémové spolehlivosti zpravidla mluvíme o spolehlivosti dodávek elektrické energie. Z pohledu zákazníka je jedním z nejdůležitějších parametrů spolehlivosti četnost a délka přerušení. Nepřetržitost distribuce však není dána pouze poruchovostí jednotlivých zařízení, je proto nutné sledovat také proces organizace činností při plánovaných i neplánovaných přerušeních, možnosti náhradního napájení, způsoby urychlení lokalizace poruchy atd. Proto se v souvislosti se spolehlivostí neomezujeme pouze na neplánovaná přerušení, ale zkoumáme také plánovaná přerušení. [6]

V této podkapitole bude představen legislativní rámec systémové spolehlivosti v ČR, popsán postup výpočtu spolehlivostních ukazatelů a dělení jednotlivých přerušení. Druhá část podkapitoly se věnuje porovnání regionálních distribučních sítí a porovnání ukazatelů spolehlivosti.

2.1.1. Právní rámec

Elektroenergetika je velmi důležitou součástí celé sekce energetiky, která vyžaduje dlouhodobé plánování a je ovlivněna hospodářskou politikou vlády. Sektor energetiky České republiky je také prvkem širšího evropského systému a je ovlivňován procesy v rámci Evropské unie. V současné době se významným aspektem stala energetická bezpečnost státu, která je výrazně ovlivněna geopolitickým děním. Zároveň je elektrická energie specifickou komoditou, s kterou se obchoduje a která musí dosahovat určité kvality. Sektor elektroenergetiky je tedy velmi komplexní problematikou nejen z pohledu technologických řešení, ale také práva.

Z tohoto důvodu je důležitá související legislativa a vznik orgánů, které se této problematice věnují.

Energetický zákon

Základním dokumentem pro sektor energetiky je v České republice zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů, tzv. energetický zákon. Energetickými odvětvími, kterými se zabývá energetický zákon, jsou elektroenergetika, plynárenství a teplárenství. Tento zákon kromě jiného vymezuje základní pojmy, definuje působnost ministerstva, zavádí Energetický regulační úřad a Operátora trhu a pravidla jejich fungování. Zvláštní část pro elektroenergetiku potom definuje práva a povinnosti účastníků trhu s elektřinou, kterými jsou výrobci, provozovatel přenosové soustavy, provozovatelé distribučních soustav, operátor trhu, obchodníci s elektřinou a zákazníci. Dále jsou zde řešeny například technické dispečinky, měření, ochranná pásma nebo elektrické přípojky. [7]

Energetický regulační úřad

Jelikož v odvětví energetiky vzniklo po liberalizaci trhu několik přirozených monopolů, jako je např. provozování přenosové soustavy nebo provozování distribučních soustav, bylo potřeba zavést regulační orgán. V České republice tuto roli zastává Energetický regulační úřad (ERÚ), který je v činnosti od roku 2001 a sídlí v Jihlavě. Energetický regulační úřad řídí Rada ERÚ skládající se z 5 členů, které jmenuje a odvolává vláda na návrh ministra průmyslu a obchodu. Kromě ERÚ dozoruje nad odvětvím energetiky také Ministerstvo průmyslu a obchodu a Státní energetická inspekce. [8]

Základními pravomocemi a povinnostmi ERÚ v rámci elektroenergetiky je udělování licencí účastníkům trhu s elektřinou, jejich dozorování a také regulace cen v podobě vydávání cenového rozhodnutí. Hlavním cílem aktivit ERÚ v oblasti elektroenergetiky by mělo být zajištění přiměřené ceny a kvality elektrické energie pro koncového zákazníka. Zároveň by měl ERÚ regulované subjekty motivovat k obnově infrastruktury a zvýšení efektivity. Dále tento regulační orgán řeší případné spory, které mohou nastat mezi držiteli licencí a koncovými zákazníky. [8]

Vyhláška č. 540/2005 Sb.

Jak již bylo zmíněno, elektrická energie je komodita, jejíž kvalita musí splňovat určité standardy. Aspektem kvality, která je přímo vázaná na provoz distribučních soustav, je právě nepřetržitost dodávek elektřiny. Základním legislativním dokumentem týkajícím se spolehlivosti dodávek elektrické energie je vyhláška ERÚ č. 540/2005 Sb. – o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. Vyhláška definuje požadované standardy kvality, výše náhrad za její nedodržení, o které mohou zákazníci požádat, a také postupy při vykazování kvality dodávek. Vykazováním se zabývá §21 této vyhlášky, který definuje ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny. Tyto ukazatele jsou:

- a) průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období – SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)
- b) průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období – SAIDI (System Average Interruption Duration Index)
- c) průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období – CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)

Vyhláška také definuje způsob výpočtu ukazatelů, který je popsán v příloze č. 5. Ukazateli nepřetržitosti dodávky se podrobněji zabývá kapitola 2.1.2.

Pravidla provozování distribuční soustavy

Souhrnný dokument, který udává pravidla provozování distribuční soustavy tak, aby byl zajištěn potřebný rozvoj elektrizační soustavy ČR, spolehlivý provoz a kvalita dodané elektrické energie, se nazývá Pravidla provozování distribučních soustav (PPDS). Dokument je zpracován provozovateli distribučních soustav a musí být schválen Energetickým regulačním úřadem, který řeší případné nejasnosti a spory. PPDS stanovuje minimální technické, plánovací, provozní a informační požadavky pro užívání DS a připojování uživatelů. PPDS vychází z platné legislativy týkající se provozování distribučních soustav a odkazuje se na zákony, vyhlášky Energetického regulačního úřadu a Ministerstva průmyslu a obchodu, Pravidla provozování přenosové soustavy a další technické předpisy. [9]

Metodiku určování spolehlivosti dodávky elektřiny a prvků distribučních sítí blíže popisuje příloha č. 2 PPDS. V této příloze je popsán postup výpočtu ukazatelů SAIFI, SAIDI a CAIDI podle již zmiňované vyhlášky č. 540/2005 Sb. Příloha také obsahuje společné číselníky pro PDS, které se používají ve výkazech pro Energetický regulační úřad. Pro účely této práce je důležitý především číselník týkající se typu přerušení, což bude podrobněji popsáno v kapitole 2.1.3.

V příloze č. 2 PPDS také nalezneme metodiku výpočtu ukazatelů spolehlivosti zařízení a prvků, kterými jsou intenzita prostojů prvků, intenzita prostojů vedení a střední doba prostoje. Podklady pro výpočet těchto ukazatelů jsou poruchovosti jednotlivých zařízení, odstávky zařízení při údržbě a revizích a odstávky pro provozní práce a zajištění bezpečnosti práce. Tyto podklady mohou sloužit kromě spolehlivostních výpočtů také při volbě nových zařízení nebo analýze již provozovaných zařízení.

2.1.2. Ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny

Ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny můžeme dle přílohy č. 5 zmiňované vyhlášky 540/2005 Sb. rozdělit na hladinové a systémové ukazatele. Hladinové ukazatele určujeme pro danou napěťovou hladinu (NN, VN nebo VVN) a systémové ukazatele používáme pro výpočet nepřetržitosti distribuce elektřiny pro celý systém (např. celá síť PREdistribuce, a.s.).

a) Hladinové ukazatele

Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny na napěťové hladině h a za dané období (zpravidla je to rok) je dle [10] definován následujícím způsobem

$$SAIFI_h = \frac{\sum_j n_{jh}}{N_{sh}}, \quad (1)$$

kde: h je napěťová hladina,

j je pořadové číslo události v hodnoceném období,

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

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

Hladinový ukazatel SAIDI_h popisuje průměrnou souhrnnou dobu trvání přerušení distribuce elektřiny na napěťové hladině h v hodnoceném období a je definován jako:

$$SAIDI_h = \frac{\sum_j t_{sj}}{N_{sh}}, \quad (2)$$

kde 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. Tento součet je stanovený jako:

$$t_{sj} = \sum_i t_{ji} \cdot n_{jhi}, \quad (3)$$

kde: i je pořadové číslo manipulačního kroku v rámci j -té události,
 t_{ji} je doba trvání i -tého 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.

Posledním hladinovým ukazatelem je průměrná doba přerušení CAIDI_h, která je definována následovně

$$CAIDI_h = \frac{SAIDI_h}{SAIFI_h}. \quad (4)$$

b) Systémové ukazatele

Systémové ukazatele jsou v [10] definovány obdobným způsobem, ale jsou vztaženy na celý systém, tj. na všechny napěťové hladiny. Pro systémový ukazatel SAIFI_s platí vztah

$$SAIFI_s = \frac{\sum_{h=[NN,VN,VVN]} \sum_j n_{jh}}{N_s}, \quad (5)$$

kde N_{sh} je celkový počet zákazníků v soustavě ke konci předchozího kalendářního roku. SAIDI_s je definováno jako

$$SAIDI_s = \frac{\sum_{h=[NN,VN,VVN]} \sum_j t_{sj}}{N_s}. \quad (6)$$

Poslední systémový ukazatel CAIDI_s popisuje vztah

$$CAIDI_s = \frac{SAIDI_s}{SAIFI_s}. \quad (7)$$

2.1.3. Typy přerušení distribuce elektřiny

Přerušení můžeme dle [10] dělit podle délky přerušení na dlouhodobé, kdy přerušení distribuce elektřiny trvá déle než 3 minuty, a na krátkodobé, které trvá méně než 3 minuty a více než 1 sekundu. Ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny, které vykazují distribuční společnosti Energetickému regulačnímu úřadu, se vypočítávají pouze z dlouhodobých přerušení.

Dále můžeme přerušení dělit z pohledu příčin na plánovaná a neplánovaná. Plánovaná přerušení distribuce elektřiny jsou zákazníkům předem ohlášena distribuční společností. Neplánovaná přerušení jsou dle [10] přerušení, která nejsou plánovaná. Vzhledem k tomu, že

v síti může docházet k mnoha rozličným událostem, jsou neplánovaná a plánovaná přerušení dále kategorizována podle vyhlášky č. 540/2005 Sb. a přílohy č. 2 PPDS následujícím způsobem:

1. neplánované přerušení

1.1. poruchové

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

1.1.1.1. za obvyklých povětrnostních podmínek

1.1.1.2. za nepříznivých povětrnostních podmínek

1.1.2. způsobené v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby

1.2. vynucené

1.3. mimořádné

1.4. v důsledku události mimo soustavu a u výrobce

2. plánované přerušení

2.1. vyvolané z podnětu PDS

2.1.1. údržba, revize (řád preventivní údržby)

2.1.2. opravy, rekonstrukce, výstavba DS

2.1.3. mimořádné investiční akce uznané ERÚ

2.1.4. ostatní

2.2. nevyvolané z podnětu PDS

2.2.1. vypnutí na žádost uživatele DS

2.2.2. připojení nového uživatele DS

2.2.3. plánovaná přerušení z nadřazené či jiné soustavy

2.2.4. plánovaná přerušení vyvolaná jiným subjektem

Poruchové přerušení nastává při vzniku poruchy na zařízení provozovatele DS a při jejím odstraňování, zároveň se do této kategorie řadí přerušení způsobené chybným nebo bezdůvodným vypnutím zařízení DS jejím provozovatelem. Co se týče poruchových přerušení za nepříznivých povětrnostních podmínek (kategorie 1.1.1.2.), je provozovatel DS povinen tuto událost oznámit a prokázat ERÚ do 10 pracovních dnů ode dne, ve kterém k této události došlo.

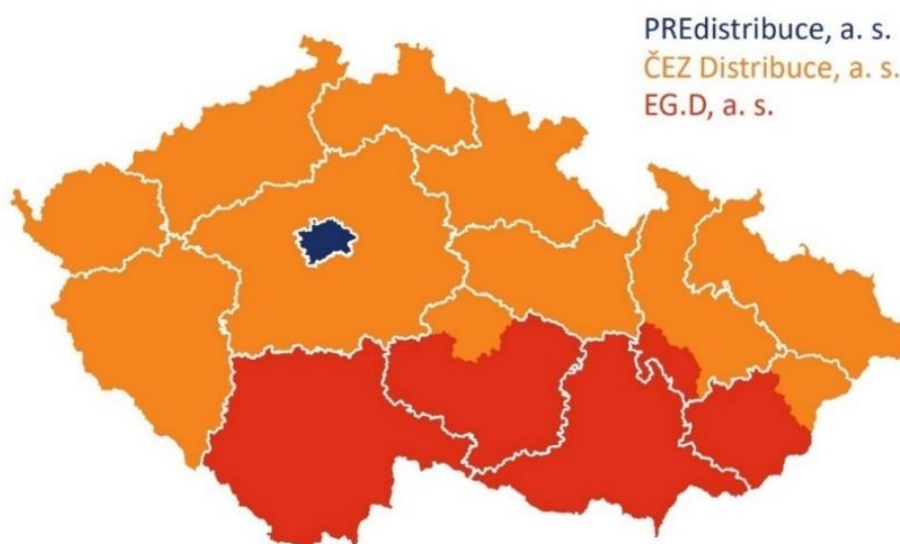
Vynucené přerušení je dle [10] přerušení z důvodu podle § 25 odst. 4 písm. c) bodu 1 energetického zákona¹, tj. z důvodu bezprostředního ohrožení života, zdraví nebo majetku osob a při likvidaci těchto stavů. Obdobně vyhláška odkazuje na energetický zákon v případě mimořádného přerušení, které nastává při stavech nouze nebo předcházení stavu nouze.

¹ Ve skutečnosti jde o § 25 odst. 3 písm. c) bodu 1 energetického zákona, odstavec 4 žádné podbody nemá a týká se věcného břemena.

2.1.4. DS v ČR a jejich spolehlivostní ukazatele

Území České republiky je rozdělené na tři distribuční území, kde distribuční soustavu provozují tři hlavní regionální distribuční společnosti – PRedistribuce, ČEZ Distribuce a EG.D (dříve E.ON Distribuce). Působnost provozovatelů distribuční soustavy je daná historickým územním členěním České republiky a je vymezená licenci, kterou distribučním společnostem uděluje Energetický regulační úřad. Kromě regionálních distribučních soustav, což jsou soustavy přímo propojené s přenosovou soustavou, vznikly na území ČR po liberalizaci trhu s elektřinou také lokální distribuční soustavy. Lokální distribuční soustava (LDS) oproti té regionální přímo k přenosové soustavě propojená není. [9]

Ukazatele nepřetržitosti distribuce elektřiny jednotlivých distribučních společností však mezi sebou nelze jednoduše porovnávat. Ukazatele SAIDI, SAIFI a CAIDI totiž velmi závisí na charakteru sítě. Při analýze výsledků jednotlivých PDS je nutné brát v potaz rozsah distribučního území, podíl kabelového vedení nebo například zda jde o území s horšími povětrnostními podmínkami a častějšími bouřkami.



Obrázek 2.1 Vymezená území distribučních společností, převzato z [11]

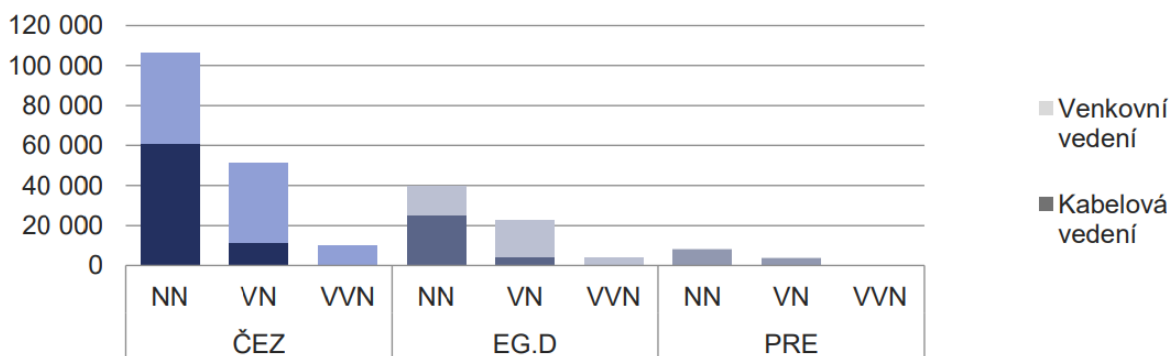
Následující tabulka shrnuje základní parametry jednotlivých RDS. Data byla čerpána z Roční zprávy o provozu ES České republiky za rok 2021, údaje o rozloze zásobované oblasti byly převzaty z webových stránek jednotlivých společností. [12-15] Z Tabulky 2.1 vyplývá, že největší zásobované území spadá pod společnost ČEZ Distribuce. Rozdíly v rozsahu distribučního území jsou dobře pozorovatelné také na Obrázku 2.1. ČEZ Distribuce má zároveň největší počet odběratelů, a to na všech napěťových hladinách, a největší celkovou délku kabelového i venkovního vedení. Z tabulky rovněž vyplývá, že společnost PRedistribuce má celkově nejdelší kabelové vedení na hladině VVN a srovnatelnou délku VN kabelového vedení se společností EG.D.

		ČEZ Distribuce	EG.D	PREdistribuce
Zásobovaná oblast [km ²]	Celkem	52 001	26 499	504
Počet odběratelů [-]	Celkem	3 751 440	1 564 384	823 612
	VVN	109	35	4
	VN	14 467	7 930	2 092
	NN	3 736 864	1 556 419	821 516
Délka kabelového vedení [km]	Celkem	72 353	29 516	12 162
	VVN	33	14	83
	VN	11 167	4 096	3 823
	NN	61 153	25 406	8 256
Délka venkovního vedení [km]	Celkem	95 274	37 051	469
	VVN	9 969	4 048	286
	VN	40 127	18 401	104
	NN	45 178	14 603	78

Tabulka 2.1 Charakter sítě jednotlivých PDS (vlastní tvorba, data převzata z [12-15])

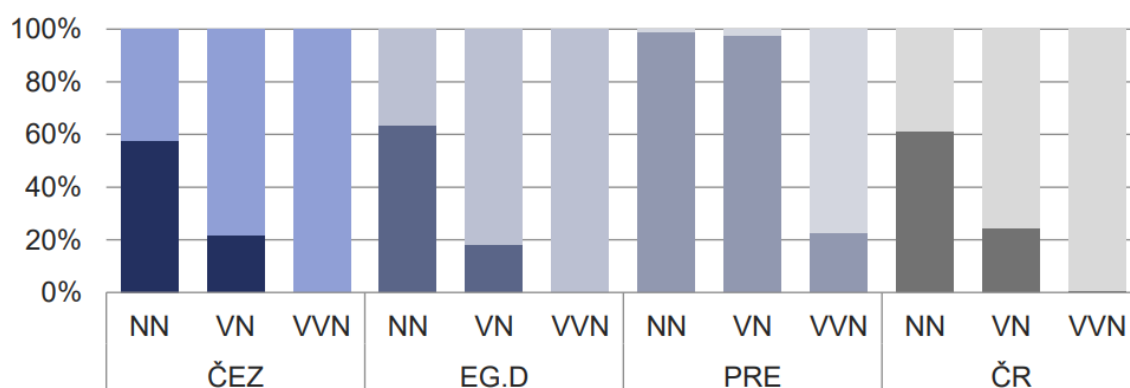
Následující grafiky podrobněji vyjadřují rozdíly mezi distribučními společnostmi v délce a podílu kabelových a venkovních vedení. Porovnání charakteru sítě umožňuje Obrázek 2.3, z kterého je patrné, že sítě společnosti ČEZ Distribuce a EG.D mají podobný charakter, co se týče podílu kabelového a venkovního vedení. Podíl kabelového vedení na úrovni NN je přibližně 60 %, na úrovni VN okolo 20 % a podíl kabelových vedení na úrovni VVN je u obou společností zanedbatelný. V tomto ohledu je charakter sítě PREdistribuce velmi odlišný. Kabelové vedení tvoří na napěťové hladině NN a VN téměř 100 % celkové délky vedení. Také podíl na úrovni VVN je oproti ostatním společnostem o poznání vyšší, kabelové vedení tvoří přibližně 20 %. Tento fakt je dán tím, že PREdistribuce zásobuje zákazníky na území hlavního města Prahy a města Roztoky, tedy jde o distribuční síť v oblasti městské zástavby.

Délka kabelových a venkovních vedení [km]



Obrázek 2.2 Délka kabelových a venkovních vedení RDS, převzata z [12]

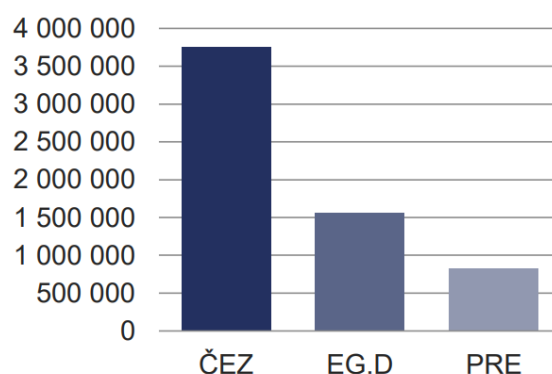
Podíl kabelových a venkovních vedení



Obrázek 2.3 Podíl kabelových a venkovních vedení RDS, převzato z [12]

Jak již bylo zmíněno, na ukazatele nepřetržitosti dodávek elektřiny má vliv také počet odběrných míst a hustota odběru. Z následujícího obrázku vyplývá, že celkově největší hustotu odběru má distribuční území PREdistribuce, které má sice více než padesátkrát menší rozlohu zásobovaného území oproti území EG.D, ale pouze přibližně dvakrát méně odběratelů. ČEZ Distribuce má oproti PREdistribuci zásobované území stokrát větší, avšak zásobuje pouze pětkrát více odběrných míst.

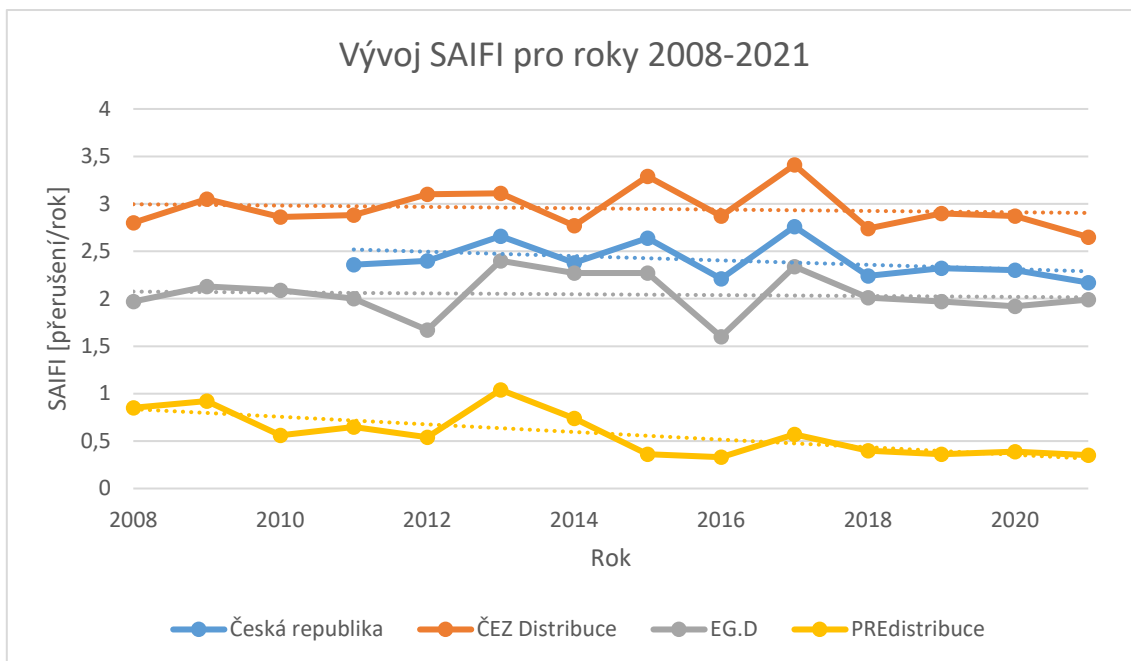
Celkový počet odběrných míst [-]



Obrázek 2.4 Celkový počet odběrných míst, převzato z [12]

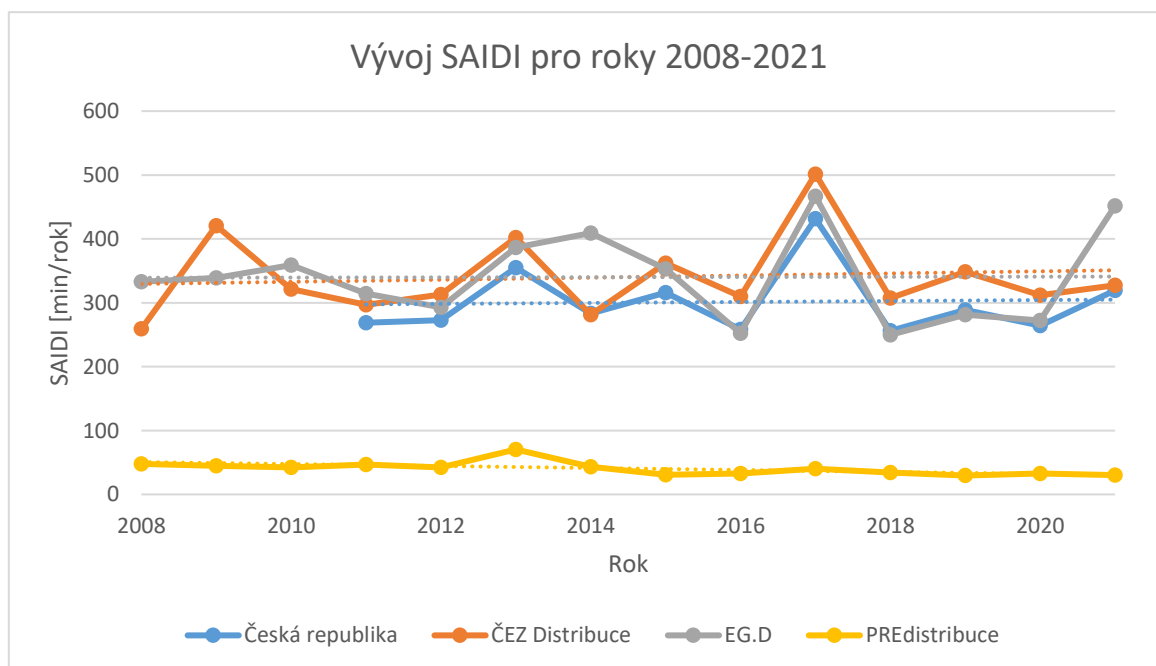
S ohledem na popsání charakter jednotlivých sítí nyní můžeme analyzovat vývoj ukazatelů nepřetržitosti dodávky elektřiny SAIFI, SAIDI a CAIDI v České republice. Pro tento účel bylo čerpáno z dat ERÚ, konkrétně z Roční zprávy o provozu ES České republiky za rok 2021 [12] a ze Zpráv o kvalitě pro jednotlivé roky 2008-2011. [16-19] Ačkoli Zprávu o kvalitě vydává ERÚ již od roku 2006, data o systémových ukazatelích jsou dostupná od roku 2008 do roku 2021. V letech 2006 a 2007 byly vykazovány pouze hladinové ukazatele nepřetržitosti dodávky elektřiny. Také údaj o ukazatelích pro celou Českou republiku je dostupný až od roku 2009. Zároveň je důležité uvést, že do statistik jsou započítávány všechny kategorie přerušování definované v příloze č. 4 vyhlášky č. 540/2005 Sb., které byly podrobněji popsány v kapitole 2.1.3.

Vzhledem k rozsáhlosti dostupných dat, již můžeme vývoj ukazatelů SAIFI, SAIDI a CAIDI v České republice hodnotit. Abychom mohli pozorovat dlouhodobý trend vývoje ukazatelů, byla data proložena lineárně.



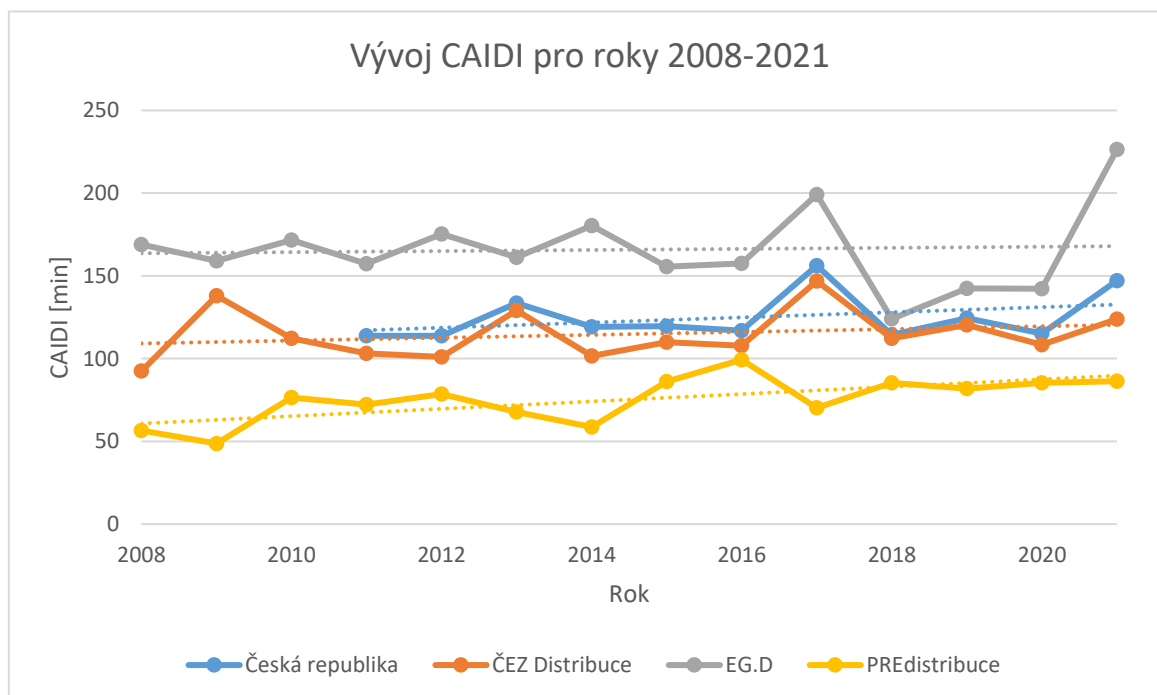
Obrázek 2.5 Vývoj ukazatele SAIFI v letech 2008-2021 [12][16-19]

V případě ukazatele SAIFI sledujeme u společností ČEZ Distribuce a EG.D pouze velmi mírné zlepšení. K výraznějšímu poklesu došlo pouze u společnosti PREDistribuce. Na vývoji v průběhu let také můžeme pozorovat několik výraznějších událostí. V roce 2013 byly hodnoty systémového ukazatele SAIFI na území všech distribučních společností negativně ovlivněny povodněmi a nepříznivými povětrnostními podmínkami. [20] V roce 2015 byly ukazatele opět vyšší u společností EG.D a ČEZ Distribuce z důvodu nepříznivých povětrnostních podmínek, ze stejného důvodu byl negativně ovlivněn ukazatel SAIFI na území EG.D i v roce 2014. [21] [22] Nejhorším rokem pro distribuční sítě byl z pohledu ukazatele SAIFI rok 2017, což bylo z největší části způsobeno orkámem Herwart, ke kterému došlo na přelomu října a listopadu. [23]



Obrázek 2.6 Vývoj ukazatele SAIDI v letech 2008-2021 [12][16-19]

Na grafu znázorňujícím vývoj ukazatele SAIDI můžeme vidět, že oproti SAIFI dochází k větším výkyvům dosažených hodnot. Stabilnější vývoj má pouze distribuční síť společnosti PREdistribuce. Na lineární spojnici trendu můžeme pozorovat mírné stoupání u ČEZ Distribuce, EG.D a v České republice celkově. Mírného zlepšení dosáhla v průběhu let pouze společnost PREdistribuce. Kromě již zmíněných událostí v souvislosti s ukazatelem SAIFI můžeme pozorovat několik dalších významných vlivů. Například v roce 2009 čelila síť na území ČEZ Distribuce šesti kalamiťným událostem, což velmi negativně ovlivnilo výsledný ukazatel pro tento rok. [24] Z grafu je také patrný vliv tornáda z června roku 2021, které zasáhlo část jižní Moravy, tj. zásobované území společnosti EG.D. [25]



Obrázek 2.7 Vývoj ukazatele CAIDI v letech 2008-2021 [12] [16-19]

Vývoj ukazatele CAIDI je napříč distribučními společnostmi rostoucí, taktéž hodnota pro celou Českou republiku. Z analýzy plyne, že ačkoli dlouhodobý trend vývoje ukazatelů SAIFI i SAIDI je pro společnost PREdistribuce klesající, ukazatel CAIDI představující průměrnou dobu přerušení roste. To je způsobené tím, že ukazatel SAIFI klesá rychlejším tempem než ukazatel SAIDI. Z grafu také plyne, že průměrná doba přerušení je nejvyšší na území společnosti EG.D.

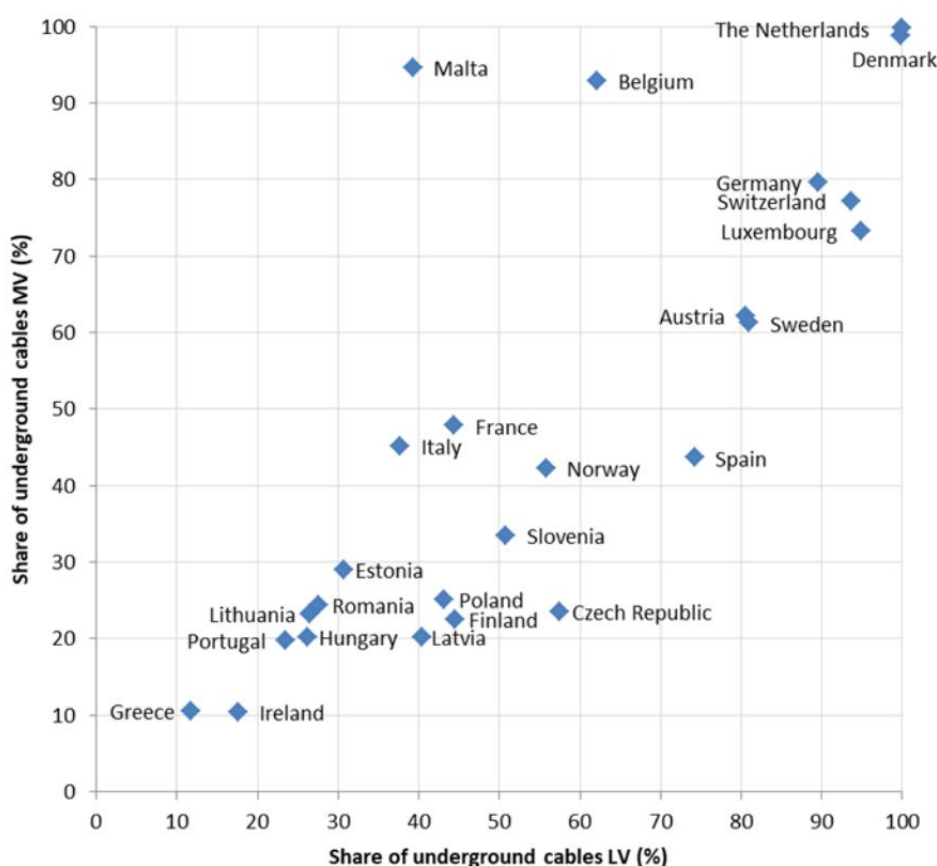
Jak již bylo nastíněno v úvodu této kapitoly, největší vliv na systémové ukazatele nepřetržitosti dodávky elektřiny má podíl kabelového vedení. Kabelové vedení totiž není ovlivněno povětrnostními podmínkami, tak jako venkovní vedení. Toto je také jeden z hlavních důvodů, proč společnost PREdistribuce vykazuje nejnižší hodnoty těchto ukazatelů ze všech společností. Jelikož však jde o malé území a poměrně nízký počet odběrných míst, vliv na hodnotu SAIFI, SAIDI a CAIDI pro celou Českou republiku je výrazně menší než u zbývajících dvou společností.

2.1.5. Spolehlivostní ukazatele v evropských státech

Evropské státy používají různé ukazatele a metody jejich stanovení, což je důvod, proč je jejich porovnávání značně problematické. Obecně je však můžeme rozdělit na ukazatele

zabývající se délkou přerušeni a ukazatele zabývající se počtem přerušeni. V potaz musíme brát také to, že v závislosti na zemi se do ukazatelů mohou započítávat různé napěťové hladiny. Například Slovinsko používá pouze data z hladiny vysokého napětí, jelikož data pro hladinu nízkého napětí nejsou k dispozici. Navíc pro výpočet SAIDI a SAIFI pro hladinu VVN a ZVN používá odlišnou metodu výpočtu, kam se nezapočítávají mimořádné události. Norsko započítává události na hladině nízkého napětí až od roku 2014. [26-28]

Stejně jako v případě DS v České republice hraje podíl kabelového vedení významnou roli i v ostatních státech. Porovnání podílu kabelového vedení na hladině vysokého napětí (Medium Voltage – MV) a nízkého napětí (Low Voltage – LV) v jednotlivých zemích se nachází na následujícím obrázku.



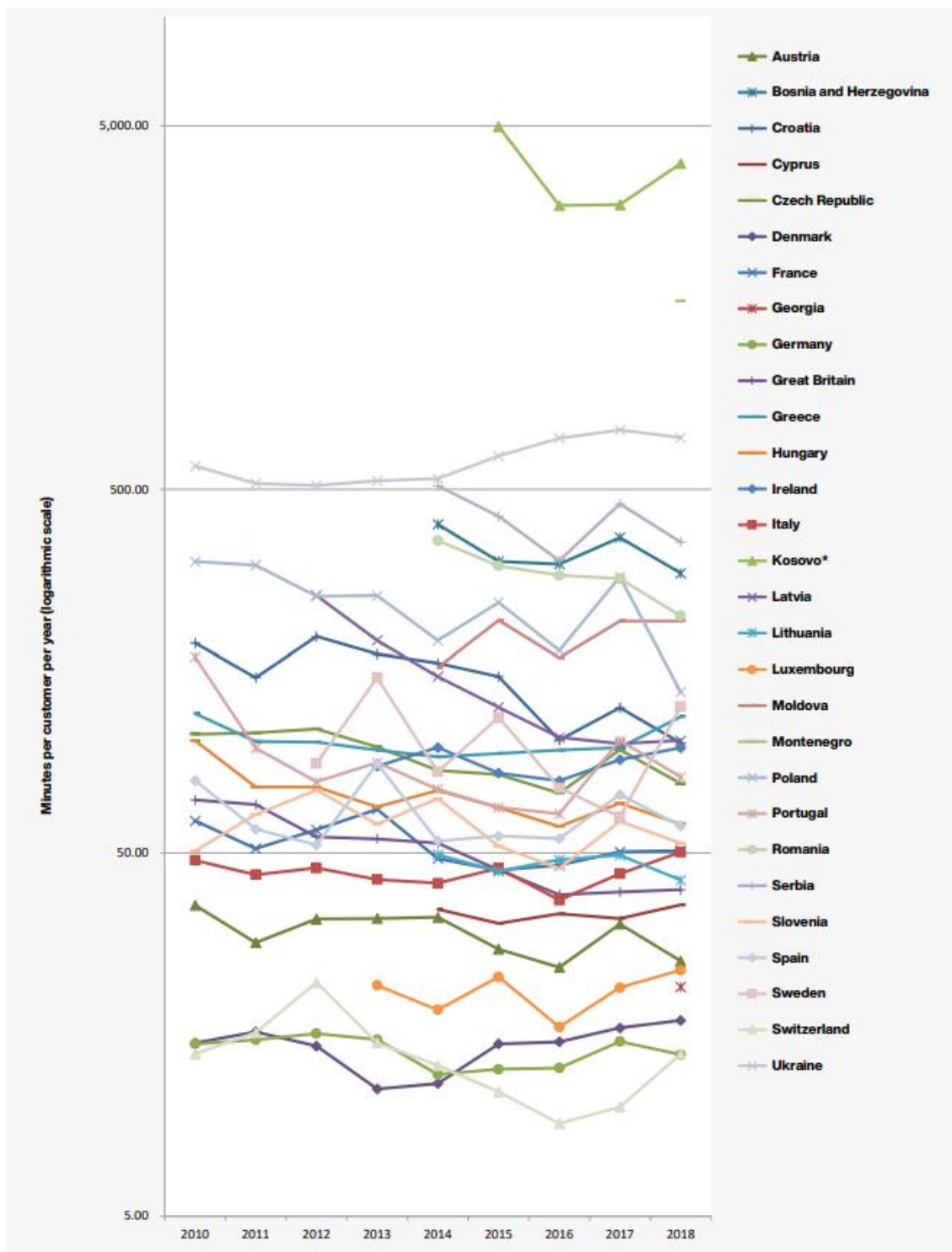
Obrázek 2.8 Podíl kabelového vedení na hladině VN a NN v evropských zemích, převzato z [27]

Jelikož poslední report Rady evropských energetických regulátorů z prosince 2022 neobsahuje souhrnné porovnání ukazatelů zahrnující plánované i neplánované události, pro účely této práce byly vybrány grafy obsahující neplánovaná přerušeni s vyloučením mimořádných událostí. Jak již bylo zmíněno, při porovnání zemí je třeba postupovat velmi obezřetně, neboť každá země má vlastní metodiku a pravidla pro stanovení toho, co se považuje za mimořádnou událost, což sťažuje přímé srovnání. [28] Za povšimnutí stojí také fakt, že se jednotlivé státy liší natolik, že je v grafech použita logaritmická stupnice.

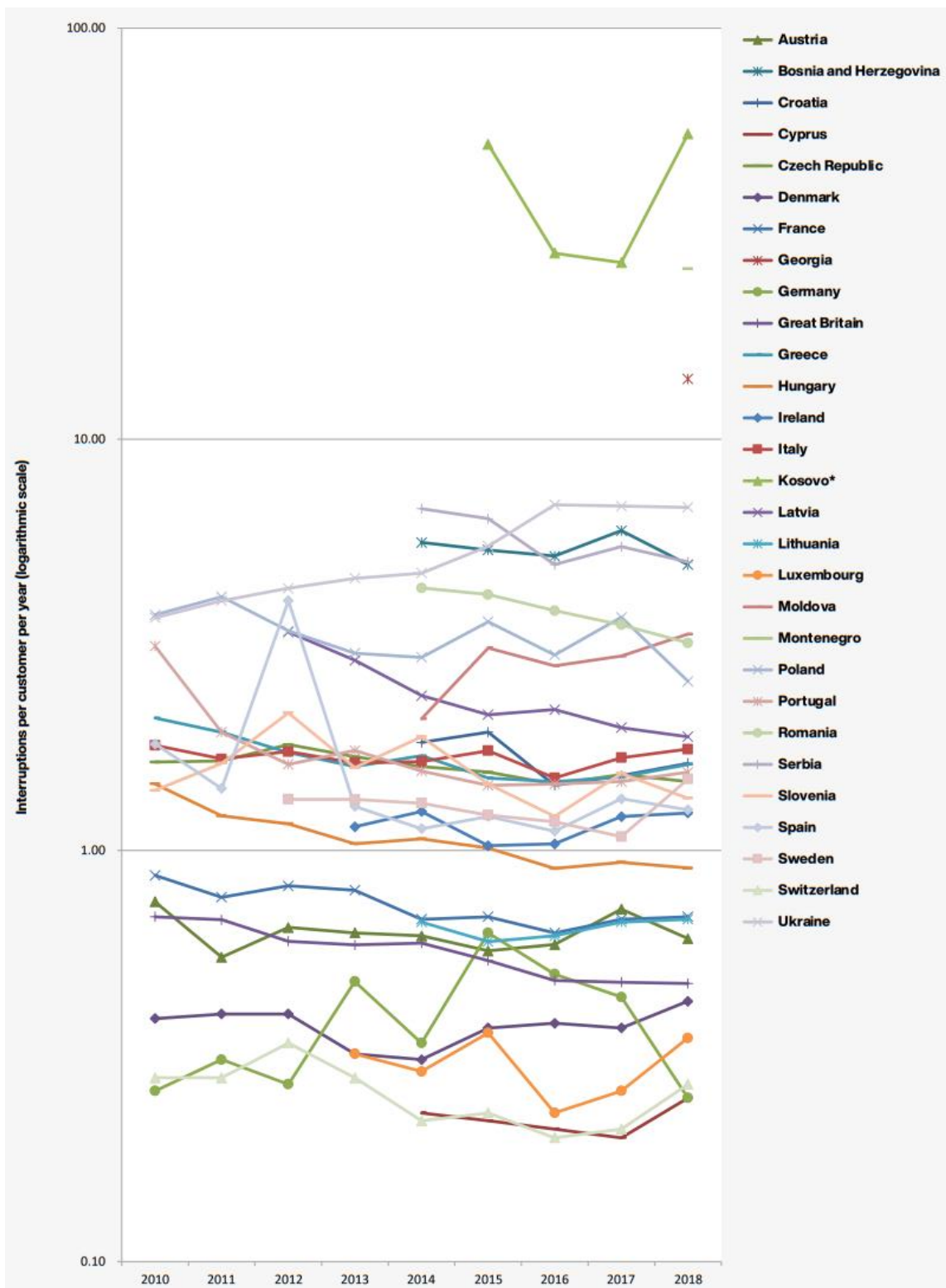
Na Obrázku 2.9 a Obrázku 2.10 si můžeme povšimnout, že nejnižších hodnot ukazatelů SAIDI a SAIFI dosahují státy s vysokým podílem kabelového vedení jako je Dánsko, Švýcarsko, Německo nebo Lucembursko. Naopak ve státech jako je Srbsko, Kosovo, Bosna a Hercegovina, Černá Hora nebo Ukrajina jsou ukazatele nepřetržitosti dodávek nejhorší v Evropě. Česká republika je dle tohoto porovnání na podobné úrovni jako například Irsko nebo

Řecko. Jelikož jde o neplánovaná přerušení bez mimořádných událostí, můžeme také pozorovat trend vývoje ukazatelů, který je u většiny zemí klesající nebo víceméně konstantní.

Aby bylo možné jednotlivé země přímo porovnávat, evropské státy by musely sjednotit metodiku výpočtu ukazatelů SAIFI a SAIDI. Dále by bylo nutné harmonizovat definice krátkodobého a dlouhodobého přerušení a mimořádné události. Rada evropských energetických regulátorů rovněž doporučuje monitorování krátkodobých přerušení ve všech zemích a započítání veškerých událostí na všech napěťových hladinách do ukazatelů. [28]



Obrázek 2.9 Porovnání ukazatele SAIDI v Evropě (neplánovaná přerušení bez mimořádných událostí), převzato z [28]



Obrázek 2.10 Porovnání ukazatele SAIFI v Evropě (neplánovaná přerušeni bez mimořádných událostí), převzato z [28]

2.2. Spolehlivost prvků sítě

Spolehlivost prvků je velice komplexní vlastnost a můžeme ji definovat několika způsoby. Podle [5] je 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. V jednotlivých

konkrétních případech se pak vyjadřuje dílčími vlastnostmi, např. bezporuchovostí, životností, bezpečností, pohotovostí, skladovatelností atd. Tyto dílčí vlastnosti jsou podle [5] definovány následovně:

- **Bezporuchovost** je schopnost objektu nepřetržitě plnit požadovanou funkci v daných podmínkách po stanovenou dobu. (Číselně lze vyjádřit pravděpodobností bezporuchového provozu v daném intervalu $R(t)$, intenzitou poruch $\lambda(t)$, střední dobou bezporuchového provozu T_S atd.)
- **Životnost** objektu je schopnost plnit požadované funkce do dosažení mezního stavu a lze ji číselně vyjádřit například středním technickým životem nebo střední dobou používání.
- **Bezpečnost** je vlastnost objektu neohrožovat lidské zdraví nebo životní prostředí při plnění předepsané funkce. (Číselně můžeme bezpečnost popsat například intenzitou nebezpečných poruch.)
- **Pohotovost** se číselně vyjadřuje pravděpodobností, že se objekt v libovolně zvoleném okamžiku bude nacházet v provozuschopném stavu. Obecně je pohotovost komplexní vlastnost zahrnující např. bezporuchovost nebo udržovatelnost.
- **Skladovatelnost** je schopnost objektu zachovávat nepřetržitě bezvadný (provozuschopný) stav po dobu skladování a přepravy. (Lze popsat číselně střední dobou skladovatelnosti.)

Spolehlivost bývá také pojata jako pravděpodobnost, s jakou bude objekt plnit požadovanou funkci v daných podmínkách po stanovenou dobu, a v tomto pojetí tedy splývá s definicí bezporuchovosti. V angličtině se potom takto definovaná spolehlivost uvádí pod názvem reliability. [29]

2.2.1. Spolehlivostní ukazatele

Jedním ze základních ukazatelů spolehlivosti je pravděpodobnost poruchy $Q(t)$, která reprezentuje distribuční funkci náhodné proměnné doby do vzniku poruchy τ . Pravděpodobnost poruchy $Q(t)$ je tedy definována jako pravděpodobnost, že v časovém intervalu 0 až t nastane porucha.

$$Q(t) = P(\tau \leq t) \quad (8)$$

Pravděpodobnost bezporuchového provozu v daném intervalu $R(t)$ je potom definována jako

$$R(t) = 1 - Q(t) = P(\tau > t). \quad (9)$$

Dalším důležitým ukazatelem spolehlivosti je intenzita poruch $\lambda(t)$, která je definována jako poměr hustoty pravděpodobnosti poruchy (hustota poruch) $f(t)$ a pravděpodobnosti bezporuchového provozu $R(t)$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}. \quad (10)$$

Hustota pravděpodobnosti poruchy je definována jako derivace distribuční funkce $Q(t)$

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{dR(t)}{dt}. \quad (11)$$

Pokud dosadíme do vztahu pro intenzitu poruch, získáme následující vztah

$$\lambda(t) = \frac{-\frac{dR(t)}{dt}}{R(t)} = -\frac{d}{dt}[\ln R(t)]. \quad (12)$$

Odtud odvodíme vztah pro $R(t)$

$$R(t) = \exp\left(-\int_0^t \lambda(t)dt\right). \quad (13)$$

Vztahy mezi těmito čtyřmi základními ukazateli znázorňuje Tabulka 2.2. Veličiny $R(t)$ a $Q(t)$ jsou bezrozměrné veličiny, $f(t)$ a $\lambda(t)$ mají rozměr čas⁻¹ (tj. h⁻¹ nebo rok⁻¹).

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

Tabulka 2.2 Vztahy mezi základními spolehlivostními ukazateli, převzato z [5]

Střední hodnotu E náhodné veličiny τ (doby do vzniku poruchy) označujeme jako střední dobu bezporuchového provozu m , která je definována následovně

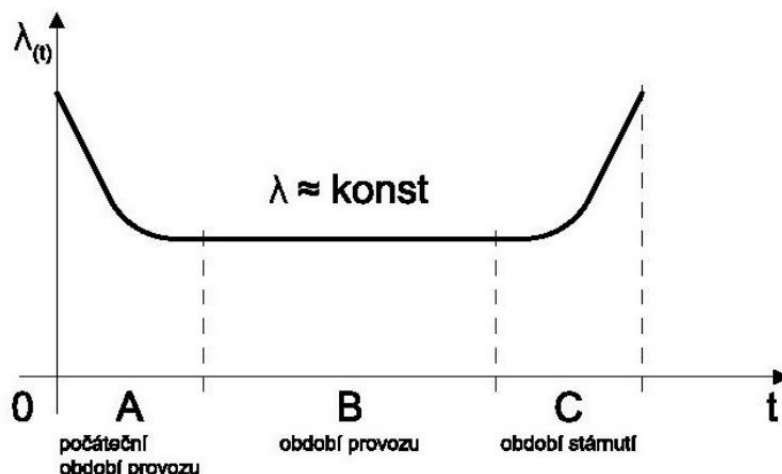
$$m = E(\tau) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t)dt = -\int_0^{\infty} t \cdot dR(t) = \int_0^{\infty} t \cdot R(t)\lambda(t)dt. \quad (14)$$

Po integraci per partes získáme zjednodušený vztah pro střední dobu bezporuchového provozu

$$m = \int_0^{\infty} R(t)dt. \quad (15)$$

Střední doba bezporuchového provozu se uvádí v jednotkách hodin (h) a někdy se označuje také jako MTTF – Mean Time To Failure. [29]

Průběh intenzity poruch v závislosti na čase je pro mnoho elektrotechnických součástí a objektů podobný a tuto křivku nazýváme vanová křivka (bathtub curve). Vanová křivka má tři základní časové úseky, což dobře znázorňuje Obrázek 2.11. Časový úsek A reprezentuje počáteční období provozu, kdy se projevují výrobní chyby nebo například nesprávná konstrukce. V tomto počátečním úseku funkce intenzity poruch $\lambda(t)$ s časem klesá. Časový úsek B je charakteristický přibližně konstantní intenzitou poruch a označuje se jako období normálního využívání. V tomto časovém úseku se projevují pouze náhodné poruchy. Rostoucí intenzita poruch v časovém úseku C je projevem stárnutí objektu. [29]



Obrázek 2.11 Časový průběh intenzity poruchy $\lambda(t)$ - vanová křivka [5]

2.2.2. Metody vyhodnocování

Jestliže máme znalost spolehlivosti jednotlivých prvků elektrizační soustavy, můžeme určit spolehlivost systému, který prvky dohromady tvoří, pomocí jedné z metod vyhodnocování spolehlivosti. Při řešení této problematiky se uplatňují dva základní přístupy – analytické metody a simulační metody. Analytické metody spočívají ve vytvoření matematického modelu soustavy a následném vyhodnocení pomocí analytických výpočtů. Simulační metody jsou založeny na simulaci skutečných procesů a na stochastickém chování systémů.

Vzhledem k náročnosti simulačních metod na výpočetní techniku byla v minulosti naprostá většina metod založena na analytickém principu a simulační metody byly využívány pouze v úzce specializovaných aplikacích. [30] Vzhledem k rychlému vývoji výpočetní techniky v posledních letech se simulační metody dostávají do popředí. Při vytváření matematického modelu systému pro analytické metody často musíme zavést určitá zjednodušení (v závislosti na rozsahu systému), což může vést k nepřesným výsledkům. Přesnost výsledků, pokud použijeme simulační metody, je omezena pouze vstupními daty a výkonem výpočetní techniky. Náročnost výpočtu tedy určují především požadavky na přesnost a složitost simulovaného systému má až druhořadý vliv. [31]

Analytických a simulačních metod vyhodnocování existuje celá řada, mezi ty nejvýznamnější patří následující:

- metoda kompozice a dekompozice
- metoda seznamu
- metoda rozkladu
- metoda minimálních řezů a metoda dráhy
- metoda incidenčních matic
- metoda stromu poruch (FTA)
- Markovovy modely
- metoda Monte Carlo

3. Hodnocení a analýza poruch na hladině VN a VVN

Základním kritériem, podle kterého se hodnotí poruchy a přerušení, je napěťová hladina. Události na hladině nízkého napětí se analyzují rozdílným způsobem než události na hladinách vysokého a velmi vysokého napětí. Poruchy na hladině VN a VVN se zpravidla hodnotí podrobněji než poruchy na hladině NN. To je dané především tím, že poruchy na vyšších napěťových hladinách mají obecně větší dopad a je zde větší snaha jim předcházet a zjišťovat skutečnou příčinu. Události na hladině nízkého napětí je o poznání více a ve spoustě případů příčinu není možné přesně určit a poruchu blíže analyzovat.

3.1. Kategorie hodnocení

Jak již bylo popsáno v předchozích kapitolách, distribuční společnosti jsou povinné zaznamenávat a poté vykazovat ERÚ plánovaná a neplánovaná přerušení trvající déle než 3 minuty. Pro účely vykazování standardu ukončení přerušení distribuce je při hodnocení události nutné podle [10] uvést následující kategorie:

- ID provozovatele soustavy
- Označení události
- Typ události
- Příčina události
- Úroveň napětí
- Počátek přerušení
- Ukončení přerušení
- n_j a $t_j \cdot n_j$ pro hladiny NN, VN a VVN (viz vzorce pro výpočet systémových ukazatelů)

Podle přílohy č. 2 PPDS [6] je provozovatel DS navíc povinen zaznamenat tyto kategorie:

- Pořadové číslo události v běžném roce
- T_0 – datum a čas začátku události
- T_1 – datum a čas začátku manipulací
- T_2 – datum a čas konce manipulací pro vymezení poruchy
- T_3 – datum a čas obnovení distribuce v úseku ovlivněném událostí
- T_4 – datum a čas konce události (obnovení schopnosti zařízení plnit svou funkci)
- T_Z – datum a čas zemního spojení

PPDS navíc uvádí další položky databáze událostí, jejichž zaznamenávání je však pouze doporučeno. Je to například druh zkratu, druh sítě (způsob provozování uzlu sítě) nebo bližší informace o poškozeném zařízení. Pro jednodušší analýzu také existují pro PDS společné číselníky některých kategorií. [6] V souvislosti s touto prací jsou relevantní především číselníky pro kategorie Typ události a Příčina události, které jsou následující:

Typ události

Kód	Význam
11	porucha mající původ v zařízení přenosové nebo distribuční soustavy provozovatele soustavy nebo jejím provozu za obvyklých povětrnostních podmínek
12	porucha v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby
13	porucha v důsledku události mimo soustavu a u výrobce
14	mimořádné
15	vynucená
16	porucha mající původ v zařízení přenosové nebo distribuční soustavy provozovatele soustavy nebo jejím provozu za nepříznivých povětrnostních podmínek
2	plánované přerušení

Tabulka 3.1 Číselník kategorie Typ poruchy [6]

Tato kategorie odpovídá typům událostí z kapitoly 2.1.3 a řídí se tedy vyhláškou č. 540/2005 Sb [10]. Kategorizace plánovaných přerušení prošla značným vývojem. Nejprve byla plánovaná přerušení vykazována jednotně pod kódem 2. Od roku 2014 se plánovaná přerušení rozdělují na vyvolaná (kód 21) a nevyvolaná (kód 22) z podnětu PDS. A konečně v roce 2016 byla zavedena současná ještě podrobnější kategorizace neplánovaných přerušení.

Kód	Význam
211	údržba, revize (řád preventivní údržby)
212	opravy, rekonstrukce, výstavba DS
213	mimořádné investiční akce uznané ERÚ
214	ostatní
221	vypnutí na žádost uživatele DS
222	připojení nového uživatele DS
223	plánovaná přerušení z nadřazené či jiné soustavy
224	plánovaná přerušení vyvolaná jiným subjektem

Tabulka 3.2 Nejnovější kategorie plánovaných přerušení [6]

Příčina události

Kód	Význam
1	příčiny před započetím provozu
2	příčina spjatá s provozem distribučního zařízení
3	příčina daná dožitím nebo opotřebením
4	příčina způsobená cizím vlivem
5	porucha způsobená cizím elektrickým zařízením
6	příčina způsobená přírodními vlivy
7	příčina neobjasněna
8	neplánované vypnutí
9	plánované vypnutí

Tabulka 3.3 Číselník kategorie Příčina události [6]

Takto kategorizované a vykázané události Energetický regulační úřad nevyužívá pouze ke stanovení celkových ukazatelů SAIDI a SAIFI, ale také ke stanovení komponenty Q, což je

důležitý nástroj motivační regulace kvality. Této problematice se věnuje následující podkapitola.

3.2. Motivační regulace kvality – Komponenta Q

Energetický regulační úřad vydává pro jednotlivá regulační období dokument nazvaný Zásady cenové regulace, který popisuje postupy cenové regulace v elektroenergetice pro provozovatele přenosové soustavy a provozovatele distribučních soustav. Tyto postupy cenové regulace by měly motivovat k rozvoji sítí s ohledem na předpokládaný vývoj elektroenergetiky a s tím související budoucí potřeby, k hospodárnosti a efektivitě provozu. Regulační období trvá podle energetického zákona minimálně pět let², což by mělo pro regulované subjekty zajistit předvídatelné investiční prostředí. V současné době se nacházíme v V. regulačním období, které trvá od 1. ledna 2021 do 31. prosince 2025. [4]

Součástí Zásad cenové regulace pro distribuci elektřiny je motivační regulace kvality. Kvalita síťových služeb je měřena pomocí systémových ukazatelů nepřetržitosti SAIDI_Q a SAIFI_Q, jejichž kombinace tvoří tzv. komponentu Q. Výpočet ukazatelů SAIDI_Q a SAIFI_Q se provádí podle postupů popsanych v příloze č. 5 vyhlášky 540/2005 Sb., což bylo podrobně popsáno v kapitole 2.1.2. Výpočet SAIDI_Q a SAIFI_Q se liší v tom, že do výpočtů jsou zahrnována pouze přerušení, na která má provozovatel DS vliv. Z výpočtu jsou tedy vyřazeny tyto typy událostí:

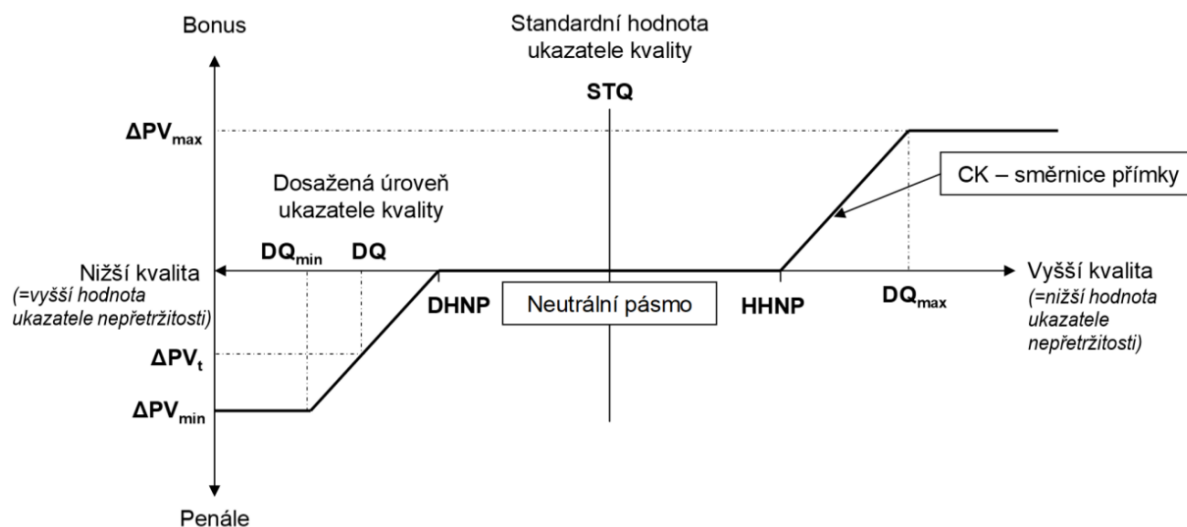
- neplánované přerušení způsobené v důsledku zásahu nebo jednání třetí osoby (kategorie č. 12)
- neplánované přerušení způsobené v důsledku události mimo soustavu daného provozovatele soustavy a u výrobce (kategorie č. 13)
- neplánované mimořádné přerušení (kategorie č. 14)
- neplánované vynucené přerušení (kategorie č. 15)
- neplánované poruchové přerušení způsobené poruchou mající původ v zařízení přenosové nebo distribuční soustavy provozovatele soustavy nebo jejím provozu za nepříznivých povětrnostních podmínek (kategorie č. 16)
- plánovaná přerušení vyvolána provozovatelem distribuční soustavy z důvodu mimořádné investiční akce uznaná ERÚ (kategorie č. 213)

Motivační regulace kvality je běžným regulačním nástrojem ve většině evropských zemí. Podobně jako v případě ukazatelů spolehlivosti se však jednotlivé země významně liší v metodice. Většina států používá v rámci motivační regulace kvality kombinaci bonusů a penále, existuje ale několik zemí, které používají pouze penále. V České republice se motivační regulace týká jen distribučních společností, avšak ve Španělsku, Francii nebo například Finsku se vztahuje také na přenosovou soustavu. V Německu je systém bonusů a penále obecně platný pro distribuční i přenosové společnosti, ale vzhledem k nedostatku dat o nepřetržitosti na hladinách VVN a ZVN se ve skutečnosti v přenosové soustavě neuplatňuje. [28]

Princip motivační regulace kvality spočívá v nastavení limitů pro dosažené hodnoty ukazatelů SAIDI_Q a SAIFI_Q. Dosažená hodnota těchto ukazatelů poté určuje výši bonusu či penále, které distribuční společnost obdrží, resp. zaplatí. Systém obsahuje také tzv. neutrální

² Toto pravidlo však platí až od IV. regulačního období, IV. regulační období původně trvalo 3 roky (2016-2018), bylo však prodlouženo na 5 let

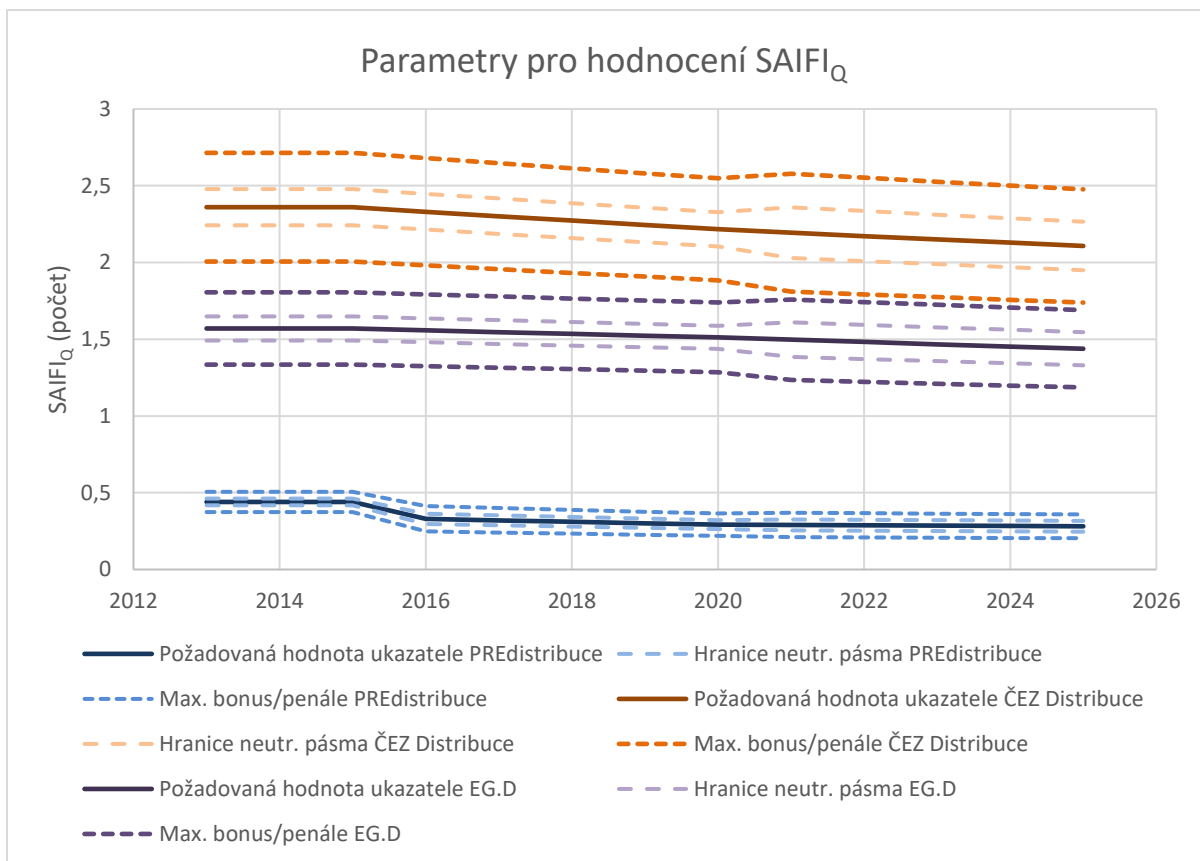
pásmo, které částečně omezuje vliv meziročních výkyvů dosažených hodnot ukazatelů, v tomto intervalu není uplatňován žádný bonus ani penále. Princip ilustruje následující obrázek:



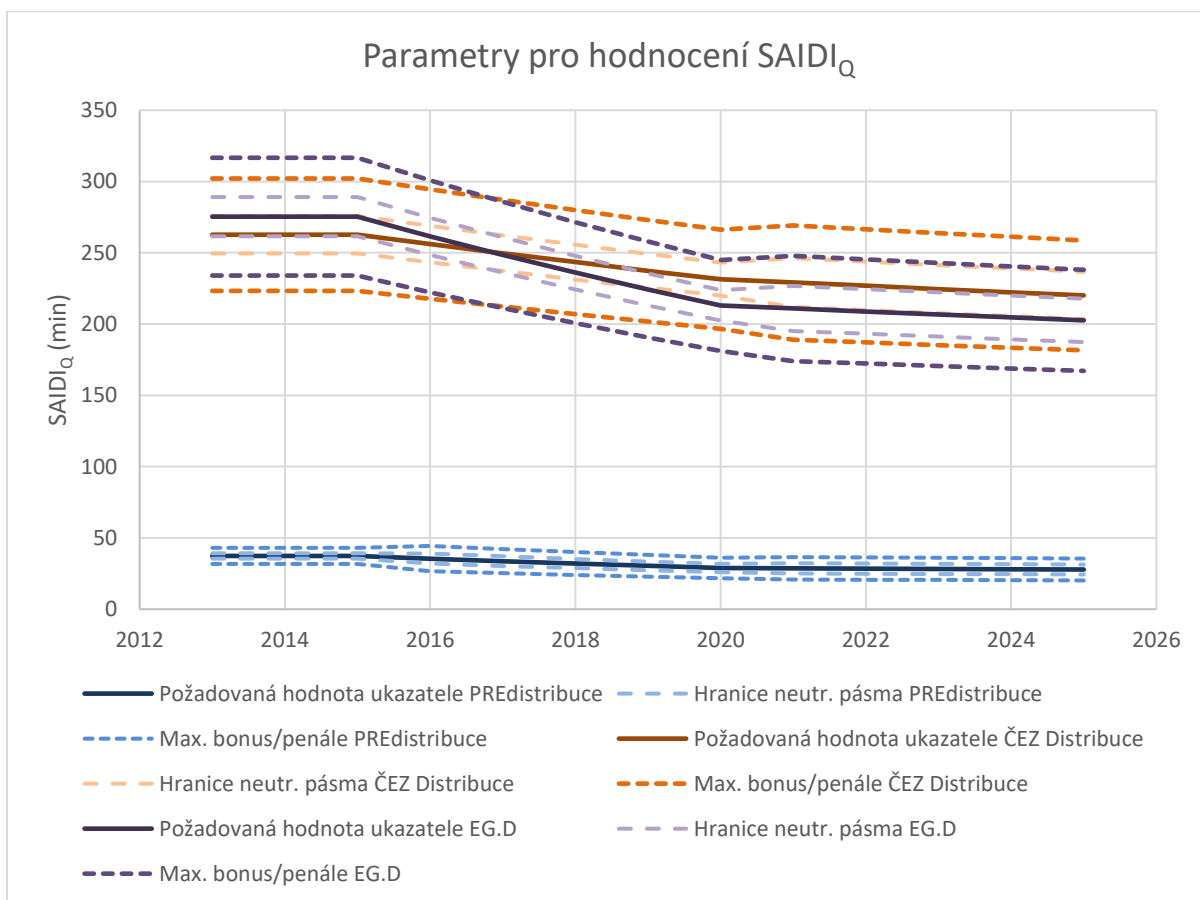
Obrázek 3.1 Princip motivační regulace kvality [4]

Kde	STQ	hodnota požadované úrovně ukazatele kvality
	DQ	dosažená (uznaná) úroveň ukazatele kvality
	DQ_{max}	limitní hodnota ukazatele kvality, od níž je uplatňována maximální hodnota bonusu za dosaženou kvalitu služeb
	DQ_{min}	limitní hodnota ukazatele kvality, od níž je uplatňována maximální hodnota penále za dosaženou kvalitu služeb
	HHNP	horní hranice neutrálního pásma
	DHNP	dolní hranice neutrálního pásma
	ΔPV_t	finanční vyjádření bonusu nebo penále za dosaženou kvalitu pro regulovaný rok t
	ΔPV_{max}	maximální hodnota bonusu
	ΔPV_{min}	maximální hodnota penále

Limitní hodnoty ukazatele kvality jsou pro jednotlivé distribuční společnosti stanovovány zvlášť, vzhledem k rozdílnému charakteru sítí. Zároveň se také pro každé regulační období stanoví nová pravidla určování těchto parametrů. Následující graf porovnává parametry pro jednotlivé provozovatele regionálních DS pro III. (2013-2015), IV. (2016-2020) a V. (2021-2025) regulační období. Hodnoty byly dopočítány podle metodiky uvedené v cenových rozhodnutích. [4] [32]



Obrázek 3.2 Graf parametrů motivační regulace kvality pro ukazatel SAIFI_Q



Obrázek 3.3 Graf parametrů motivační regulace kvality pro ukazatel SAIDI_Q

- III. regulační období

Z grafů porovnání parametrů pro hodnocení komponenty Q pro jednotlivé PDS je zřejmé, že ve III. regulačním období nedocházelo k ročnímu zpříšňování limitů. Zároveň maximální výše bonusu, resp. penále, byla rovna 3 % ze zisku dané společnosti. [32]

- IV. regulační období

IV. regulační období přineslo v oblasti motivační regulace kvality dodávek elektřiny hned několik změn. Došlo k zavedení ročního zpříšňování, přičemž největší skok byl u ukazatele SAIDI_Q společnosti PREdistribuce, jehož požadovaná hodnota byla první rok snížena o 25 %, následující roky dosahovalo roční zpříšňování 3 %. U společnosti PREdistribuce zároveň došlo k rozšíření neutrálního pásma z 5 % na 10 %. [32]

Dalším prostředkem, kterým se úřad ve IV. RO snažil zvýšit motivaci společnosti ke zvyšování kvality dodávek, bylo navýšení maximálního bonusu/penále na hodnotu ± 4 % ze zisku dané společnosti oproti 3 % v III. RO. Novinkou bylo také zavedení tzv. dvouletého klouzavého průměru a do výpočtů komponenty Q od tohoto regulačního období vstupovaly průměry z posledních dvou let, nikoli hodnoty za jednotlivé roky. Toto opatření má za úkol částečně eliminovat případné meziroční kolísání ukazatelů SAIDI_Q a SAIFI_Q. [32]

SAIFI _Q	Roční zpříšňování	Hranice neutrálního pásma	Maximální bonus/penále
ČEZ Distribuce	1.25 %	± 5 %	± 15 %
EG.D	0.75 %	± 5 %	± 15 %
PREdistribuce	25 %, 3 % ³	± 10 %	± 25 %

Tabulka 3.4 Parametry ukazatele SAIFI_Q pro IV. regulační období

SAIDI _Q	Roční zpříšňování	Hranice neutrálního pásma	Maximální bonus/penále
ČEZ Distribuce	2.5 %	± 5 %	± 15 %
EG.D	5 %	± 5 %	± 15 %
PREdistribuce	5 %	± 10 %	± 25 %

Tabulka 3.5 Parametry ukazatele SAIDI_Q pro IV. regulační období

- V. regulační období

V V. regulačním období byla přidána na seznam nezahrnovaných událostí kategorie č. 213, tj. plánovaná přerušování distribuce elektřiny vyvolaná provozovatelem distribuční soustavy z důvodu mimořádné investiční akce uznaná ERÚ. Vyloučení těchto událostí je však omezeno pouze na snížení penalizace, nikoliv na získání nebo zvýšení bonusu. [4]

V tomto RO také došlo ke sjednocení parametrů pro roční zpříšňování ukazatelů SAIFI_Q a SAIDI_Q a k rozšíření neutrálního pásma, viz následující tabulka.

³ Hodnota 25 % platí pro první rok RO (2016), následující roky dosahuje meziroční zpříšňování 3 %.

SAIFI _Q , SAIDI _Q	Roční zpřísnování	Hranice neutrálního pásma	Maximální bonus/penále
ČEZ Distribuce	1.00 %	± 7.5 %	± 17.5 %
EG.D	1.00 %	± 7.5 %	± 17.5 %
PREdistribuce	0.75 %	± 12.5 %	± 27.5 %

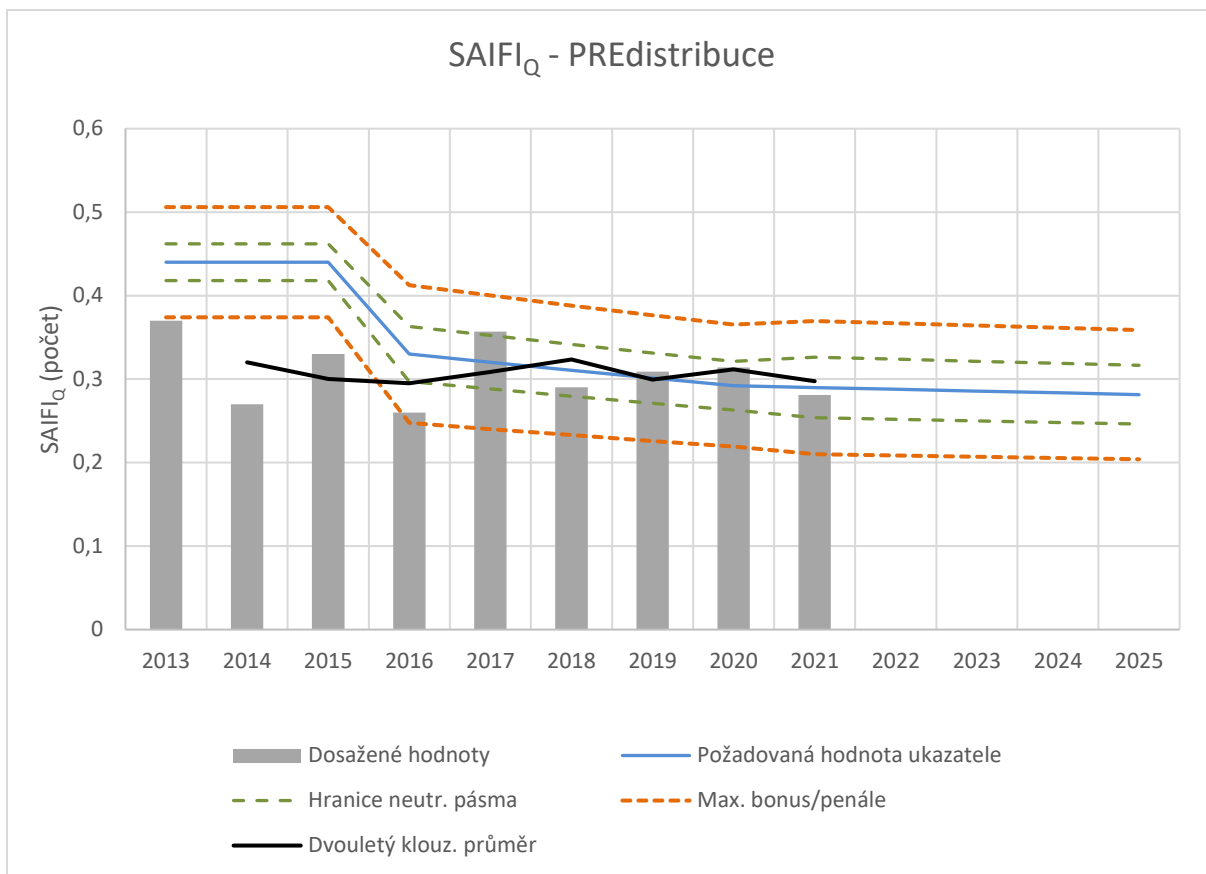
Tabulka 3.6 Parametry ukazatelů SAIFI_Q a SAIDI_Q pro V. regulační období

Výsledné bonusy a penále pro jednotlivé distribuční společnosti se nachází v následující tabulce. Data pochází z příspěvku na konferenci ČK CIREC 2022 a byla na vyžádání poskytnuta Energetickým regulačním úřadem, jelikož v současnosti se tyto údaje nezveřejňují. [33] Z tabulky plyne, že pro společnost ČEZ Distribuce jsou parametry pro hodnocení komponenty Q velmi dobře nastaveny již od zavedení motivační regulace kvality, jelikož kromě roku 2021 společnost nezaznamenala žádný bonus ani penále. Společnost PREdistribuce pravidelně získávala bonus v letech 2013-2016, v roce 2017 nastalo zpřísnění parametrů a od té doby se výsledné hodnoty pohybují v neutrálním pásmu, tj. nezískává žádný bonus ani neplatí penále. Podrobnější analýza parametrů hodnocení komponenty Q by dle mého názoru byla vhodná u společnosti EG.D, která každoročně od roku 2015 získává bonusy ve výši několika desítek milionů Kč. Tyto výsledné hodnoty samozřejmě nemusí být způsobené pouze špatně nastavenými limity, může jít o výsledek intenzivního zlepšování spolehlivosti distribuční společností.

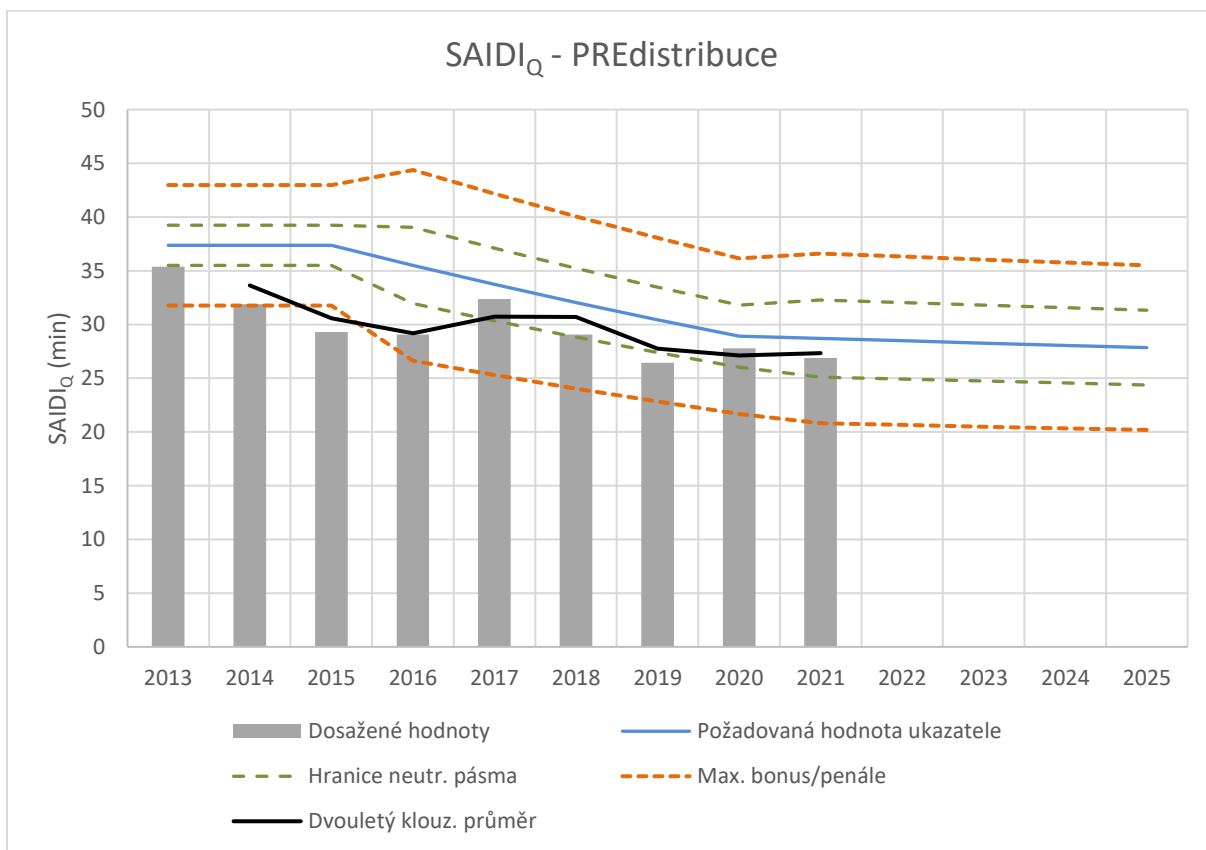
Penále (-), bonusy (+) [mil. Kč]	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Celkem
ČEZ Distribuce, a. s.	0	0	0	0	0	0	0	0	13,4	13,4
EG.D, a.s.	-15	0	4,2	60,9	65,3	30,2	69,2	97	78,8	390,5
PREdistribuce, a.s.	17,7	21,6	32,1	15,2	0	0	0	0	0	86,5

Tabulka 3.7 Bonusy a penále pro jednotlivé distribuční společnosti v rámci motivační regulace kvality [33]

Pro podrobnější ilustraci principu motivační regulace kvality byly vytvořeny následující grafy, které znázorňují skutečné dosažené hodnoty komponenty Q, a to pro síť společnosti PREdistribuce. Na obrázcích můžeme pozorovat vliv neutrálního pásma a dvouletého klouzavého průměru. Například v roce 2017 se dosažená hodnota ukazatele SAIFI_Q nacházela nad horní hranicí neutrálního pásma, ale vzhledem k nízké hodnotě z předchozího roku společnost nebyla penalizována. Z grafů také vyplývá, že společnosti PREdistribuce se dlouhodobě daří plnit cíle dané Energetickým regulačním úřadem.



Obrázek 3.4 Vývoj ukazatele SAIFI_Q společnosti PREDistribuce



Obrázek 3.5 Vývoj ukazatele SAIDI_Q společnosti PREDistribuce

3.3. Současný systém hodnocení a analýzy poruch na hladině VN a VVN

Vzhledem k zaměření této práce na konkrétní síť bude popsán současný systém hodnocení a analýzy poruch společnosti PREdistribuce, a.s. Společnost PREdistribuce, a.s. dlouhodobě vykazuje velmi dobré výsledky v oblasti spolehlivosti a kvality elektrické energie. K tomu je bezesporu nutné disponovat podrobným monitorovacím systémem a komplexním systémem zaznamenávání událostí. Aby společnost mohla plnit všechny stále se zpřísňující požadavky, které jsou na ni na území hlavního města kladené, je potřeba hledat nové způsoby zlepšení spolehlivosti dodávek a stále vyvíjet ty stávající.

Základem celého systému zaznamenávání poruch je propojení nástroje SCADA a SAP. SCADA je systém pro dohled, řízení a sběr dat, který slouží pro dispečerský dohled a parametrizaci. SCADA systémy jsou typické pro provoz systémů, ve kterých je důležité sledovat jeho správný chod a provádět rozsáhlý sběr dat. Příkladem takových systémů v energetice jsou právě distribuční sítě, přenosová síť nebo elektrárny. [34] Druhý nástroj – software společnosti SAP je jedním z nejrozšířenějších nástrojů pro řízení podnikových procesů, zpracování dat a umožnění toku dat napříč společnostmi. Použití tohoto nástroje jako databáze událostí je pouze jedna z mnoha možností jeho využití. [35]

V případě vzniklé poruchy na základě dat ze systému SCADA se vygeneruje hlášení, kterému se přiřadí jedinečné číslo, a hlášení se uloží do systému SAP. SAP automaticky doplní informace, které lze ze systému SCADA načíst. Jde především o počet postižených zákazníků, čas poruchy atd. Dispečer, popřípadě jiní povolání zaměstnanci, poté doplní další povinné informace o události. Po tomto kroku je postup pro všechny napěťové hladiny stejný, následující podrobnější analýza se zaměřuje na události na hladině vysokého a velmi vysokého napětí. Pro analýzu událostí existují dva základní nástroje, kterými jsou zpráva poruchovostní komise a analýza mimořádné události (AMU).

3.3.1. Poruchovostní komise

Analýza událostí hladiny VN a VVN spočívá v tom, že se každý měsíc schází tzv. poruchovostní komise, která okomentuje události daného měsíce v sítích PREdistribuce podrobněji. Výstupem je PDF soubor, kde jsou jednotlivé události doplněny o komentář, fotografie, záznam poruchy, schéma atd. Příklad okomentované poruchy, tzv. hlášenky, je na Obrázku 3.6. K událostem se vyjadřují relevantní zaměstnanci napříč odděleními s ohledem na okolnosti události. Běžné je například okomentování působení ochran, vyjádření technického servisu o průběhu opravy zařízení a podrobný popis události.

poř.	Typ	ED	Datum	SAP	kV	T ₀ (hh:mm)	T ₁ (hh:mm)	T ₂ (hh:mm)	T ₃ (hh:mm)	P ₁ (MW)	P ₂ (MW)	TR 110/22 kV	Trafo	Postižené zařízení	Popis poruchy	CZ	TS	Rozsah bezproudí
7	POR	J	9.1.21	10606953	22	1:38	3:00	3:02	3:02	0,50	0,50	LHO	102 R	TS 890	popaly na přípojnicích v cizí TS		1	TS 890, Libuš

V RS 8310 došlo k výpadku směru 890. Cizí TS 890 (Servis Groves – Coles, Dobronická, P.4 – Libuš, plechová TS) je z RS 8310 na konečku. V TS zjištěny popaly na přípojnicích a prasklý izolátor. TS vyřazena, předáno zástupci majitele, který si zajišťuje opravu. Kabel 8310 – 890 je v pořádku – zkoušeno proudem – pouze je potřeba v TS 890 dolít koncovku v L2 – provedeno 9.1.2021.

Záznam poruchy z RS 3180 sm. RS8310. Porucha začala mez L12 (4,5kA) a po 45ms se rozšířila na L123, proud cca 5kA, celkový čas 265ms.



Obrázek 3.6 Příklad současného způsobu hodnocení poruch

Přínosem poruchovostní komise je dohled nad řešením poruchových událostí, informovanost mezi jednotlivými odděleními o dění v sítích a komplexní analýza daných událostí, která vede k odhalení skutečné příčiny poruchy. V některých případech se stává, že původní popis poruchy neodpovídá skutečnému důvodu a průběhu události. Například v případě chybného kabelu se může ukázat, že ve skutečnosti jde o cizí zásah. Jak bylo popsáno v kapitole o komponentě Q, je v zájmu PDS rozlišit události, na které má a nemá vliv, tj. které se započítávají do hodnocení ukazatelů SAIDI_Q a SAIFI_Q, což přímo ovlivní výši bonusu, respektive penále.

3.3.2. Analýza mimořádné události

V případě událostí, které mají obzvláště velký dopad do ukazatelů SAIFI a SAIDI, se vypracovává tzv. analýza mimořádných událostí (AMU). Kritériem pro vytvoření AMU je příspěvek do SAIDI alespoň 0,5 min/zákazníka nebo příspěvek alespoň 0,02 poruchy/zákazníka do SAIFI. V této analýze se velmi podrobně popisuje časový průběh události, rozsah a dopad na zákazníky a jsou zde detailně popsány příčiny události a veškeré souvislosti. Jedním z výsledků analýzy je hodnocení faktorů s vlivem na řešení události. Hodnocené faktory jsou:

- Silnoproudá technologie
- Působení ochran
- Činnost zařízení DŘT
- Proces řešení události
- Lidský faktor PREDi
- Lidský faktor externí

Jednotlivé faktory jsou ohodnoceny na stupnici 0-5, přičemž význam hodnocení je následující:

0	Mimo působnost PRE.
1	Bez výhrad, není třeba nápravné opatření.
2	Drobné výhrady. Není třeba navrhnout opatření.
3	Drobné výhrady. Opatření řeší vedoucí příslušné sekce.
4	Podstatné výhrady. Opatření řeší vedoucí příslušné sekce.
5	Kritické výhrady. Opatření řeší porada vedení PREDi.

Tabulka 3.8 Stupnice pro hodnocení faktorů, převzato z [36]

Výstupem analýzy jsou tedy opatření, která by v budoucnu podobným událostem měla předcházet. K jednotlivým opatřením je přiřazena zodpovědná osoba a závazný termín zavedení opatření. [36]

4. Identifikace nedostatků současného systému

Vzhledem k stále se zpřísnujícím požadavkům na spolehlivost dodávky elektrické energie je potřeba současný systém revidovat a nalézt způsob, jak efektivněji získávat informace z nashromážděných dat. Jedině na základě kvalitních dat o systému lze dělat informovaná rozhodnutí a skutečně účinná opatření. Systém monitoringu a zaznamenávání je u společnosti PREdistribuce nepochybně velmi robustní, avšak pokud chceme z dat vytěžit co nejvíce informací, je neméně důležitý také způsob jejich zpracování a interpretace.

Pro důkladnou analýzu současného systému bylo nutné seznámit se s celou řadou dokumentů a procesů specifických pro danou společnost. Otázkou spolehlivosti se zabývá hned několik oddělení, jejichž postupy se kromě příslušných vyhlášek řídí také podnikovými normami. Pro identifikaci nedostatků tedy bylo nutné se seznámit s legislativními dokumenty, podrobně prostudovat výstupy poruchovostní komise za posledních 10 let a orientovat se v nástroji SAP. Samozřejmě byly také konzultace se členy dotčených oddělení, kteří pomohli poukázat na nejvýznamnější nedostatky z pohledu uživatelů. V současném systému hodnocení a analýzy poruch na hladině VN a VVN byly na základě zmíněných aktivit identifikovány tyto základní nedostatky:

- **Nesystematičnost**

Základním problémem systému tak, jak byl popsán v předchozí kapitole, je jeho nejednotnost a částečná nesystematičnost. Veškeré poruchové události jsou sice zaznamenávány do systému SAP, avšak jejich následná analýza je pouze částečná. Poruchovostní komise bohužel neprovádí podrobnou analýzu všech událostí na hladině VN a VVN, ale pouze upraveného výběru, který nemá jasně daná pravidla. Výběr je sestavován především dle úsudku příslušných zaměstnanců. Bylo by vhodné, kdyby existoval úplný seznam poruch na hladině VN a VVN, který by je kategorizoval a v případě potřeby obsahoval podrobnější popis u složitějších událostí.

- **Přístupnost a složité zpracování**

Ačkoli systém SAP nabízí možnost exportu dat, práce s tímto nástrojem zdaleka není intuitivní a vyžaduje určité zkušenosti. Nástroj je také určen pouze na shromažďování dat, jakékoli analýzy je nutné provést v jiném softwarovém nástroji a pro jednotlivé analýzy zvlášť. Výstup z poruchovostní komise dokonce nenabízí žádné možnosti zpracování. Jelikož měsíční výstupy jsou ve formátu PDF a nejsou tedy ve strojově zpracovatelné formě, jakákoli analýza je časově velmi náročná. Minimálním požadavkem by měla být kromě souboru PDF s komentáři také existence výstupu poruchovostní komise ve snadněji zpracovatelné formě, nejlépe ve formě souboru Excel, případně jiného datového formátu.

- **Kategorizace a neúplnost informací**

Ke kategorizaci událostí sice můžeme použít společných číselníků používaných v nástroji SAP, systém kategorií ovšem neumožňuje identifikaci konkrétních jevů specifických pro danou síť. Výstupy z poruchovostní komise nabízí konkrétnější kategorie hodnocení, avšak nemožnost zpracování brání jakékoli jednoduché interpretaci dat.

Jelikož příčina a popis události jsou jedny z nejdůležitějších informací, které se ze záznamů snažíme získat, mělo by být snadné události podle této kategorie zařadit. Tato podmínka je sice splněna u dat z nástroje SAP, který používá číselníky, avšak systém číselníků je nejednoznačný a poměrně složitý. Ve skutečnosti existují 2 verze číselníků, které nejsou

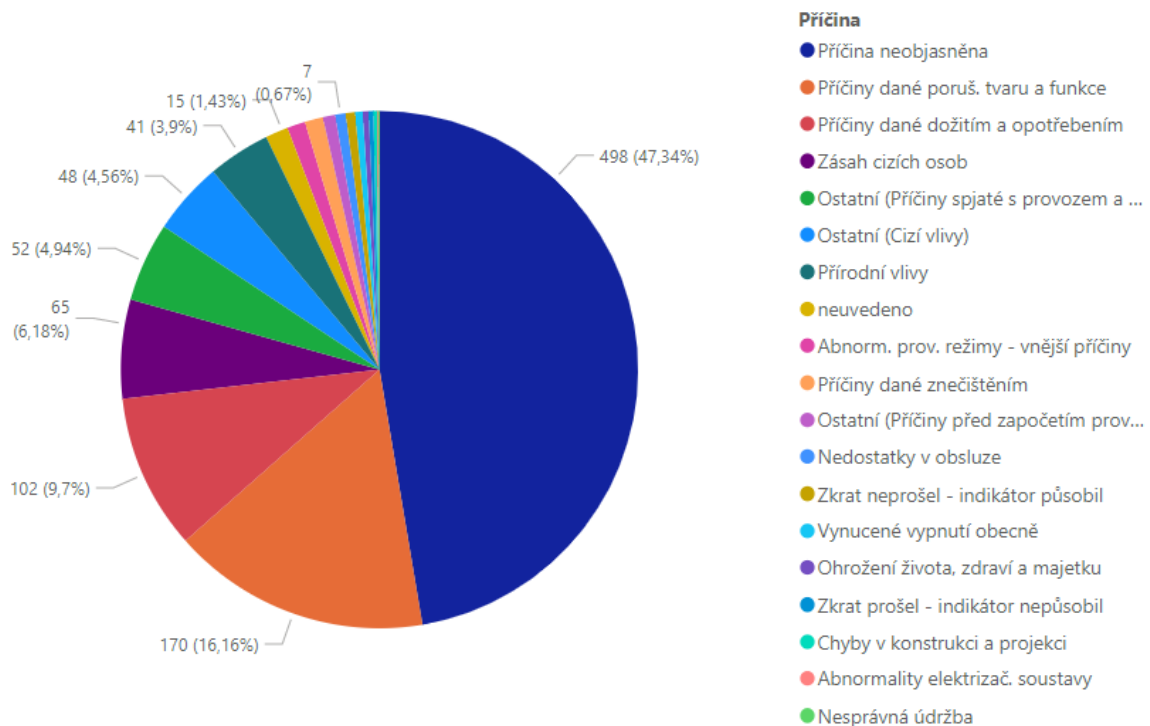
vzájemně kompatibilní. První číselník je uveden v Tabulce 3.3 a pochází z přílohy č. 2 PPDS [6]. Druhý číselník je v systému SAP a je mnohem podrobnější, celkem obsahuje 25 možných příčin. Takto složitý systém může způsobit složitou orientaci uživatelů v systému a nepřesné zadání příčiny. Zároveň, pokud podrobněji porovnáme číselník PPDS v Tabulce 3.3 a číselník SAP na Obrázku 4.1, je zřejmé, že z velké části nekorespondují.

▼ Příčina	Příčiny
▼ 01	Příčiny před započetím provozu
• ▶ 11	Chyby v konstrukci a projekci
• ▶ 12	Chyby ve výrobě
• ▶ 13	Chyby v dopravě, skladování a mont.
• ▶ 14	Chyby v seřizování a přípravě prov.
• ▶ 19	Ostatní
▼ 02	Příčiny spjaté s provozem a údržbou
• ▶ 21	Příčiny dané dožitím a opotřebením
• ▶ 22	Příčiny dané poruš. tvaru a funkce
• ▶ 23	Příčiny dané znečištěním
• ▶ 24	Abnorm. prov. režimy - vnější příčiny
• ▶ 25	Nedostatky v obsluze
• ▶ 26	Nesprávná údržba
• ▶ 29	Ostatní
▼ 03	Cizí vlivy
• ▶ 31	Abnormality elektrizač. soustavy
• ▶ 33	Zásah cizích osob
• ▶ 34	Přírodní vlivy
• ▶ 39	Ostatní
▼ 04	Vynucené vypnutí
• ▶ 40	Vynucené vypnutí obecně
• ▶ 41	Ohrožení života, zdraví a majetku
• ▶ 42	Neoprávněný odběr
• ▶ 43	Ohrožení kvality dodávky
• ▶ 44	Stav nouze ERÚ
• ▶ 45	Cvičný BlackOut
▼ 05	Příčina daná průchodem zkratového proudu
• ▶ 01	Zkrat prošel - indikátor nepůsobil
• ▶ 02	Zkrat neprošel - indikátor působil
▼ 09	Příčina neobjasněna
• ▶ 90	Příčina neobjasněna

Obrázek 4.1 Číselník příčin poruch v nástroji SAP

V případě poruchovostní komise je kategorie Popis události vyplňována vložením textového popisu, což znamená, že ta samá příčina události může mít různé popisy. Zároveň v některých případech popis poruchy neodpovídá skutečnému průběhu, který je popsán v rozboru události. Korekce, která zahrnuje prostudování jednotlivých poruch, je opět časově velmi náročná. Rovněž je důležité zmínit, že záznamy v nástroji SAP sice mají příčinu události ve většině případů zatříděnou a uvedenou, v mnoha případech je však uvedena kategorie Ostatní/Neobjasněna, což znemožňuje další analýzu. U většiny poruch je také příčina uváděna těsně po poruše a případné korekce této kategorie se v systému SAP provádí pouze výjimečně. Například v roce 2021 bylo v nástroji SAP u více než 47 % poruch na hladině VN a VVN uveden kód příčiny 90, tj. příčina neobjasněna, což ilustruje následující obrázek. Dalších

přibližně 10 % tvoří příčiny s kódem 29, 39 a 19, což v číselníku značí kategorii Ostatní a také tím částečně ztrácíme informaci o poruše. Nevyplněná příčina poruchy je pouze v 1,4 % případech.



Obrázek 4.2 Rozdělení poruch VN a VNN dle příčiny v nástroji SAP pro rok 2021

- **Absence nástroje na zpracování dat**

Dalším nedostatkem současného systému je fakt, že neexistuje nástroj, který by data průběžně vyhodnocoval. Pro každou potřebnou analýzu je tak nutné pokaždé uskutečnit proces exportu dat, zpracování a následné vizualizace. Nástroj pro zpracování dat je důležitý pro přehled o dění v síti a měl by být založený na skutečných datech. Zároveň existuje několik zdrojů, z kterých většina analýz čerpá, většinou jde o export ze systému SAP, měsíční výkazy pro ERÚ nebo výstupy poruchovostní komise. Vytvoření nástroje, který by dokázal tyto zdroje propojit, by znamenalo významné zjednodušení přístupu k datům pro většinu uživatelů.

5. Vývoj nástroje pro analýzu dopadu poruch

Cílem praktické části této práce je návrh nástroje pro analýzu dopadu poruch na hladině VN a VVN. Nástroj by měl splňovat určité požadavky, které plynou z nedostatků identifikovaných v předchozí kapitole. Z analýzy nedostatků současného systému vyplývají tyto základní požadavky:

- Vhodná a jednotná kategorizace poruch
- Výstup ve strojově zpracovatelné formě
- Možnost propojení více zdrojů informací
- Přehledná vizualizace
- Snadné filtrování dat
- Snadná dostupnost SW pro spuštění vytvořeného nástroje

Vytvoření nástroje má několik dílčích kroků, kterým odpovídá volba softwarů. První krok vývoje nového nástroje spočívá ve vytvoření nové kategorizace poruch, která umožní podrobnější a přesnější analýzu událostí v síti společnosti PREdistribuce. Vytvoření vhodné kategorizace je klíčové pro kvalitu dat a množství informací, které bude možné ze zpracovaných dat získat, proto byla tomuto kroku věnována zvýšená pozornost. Dalším krokem vývoje je zpracování poruch napěťové hladiny VN a VVN v distribuční síti společnosti PREdistribuce za posledních 10 let. Jak již bylo vysvětleno v kapitole 4, v současné době existují výstupy poruchovostní komise pouze ve formátu PDF. Pro tuto část vývoje nástroje byl zvolen software MS Excel, ve kterém byla vytvořena kategorizace i následné zpracování dat. MS Excel je nástroj standardně používaný napříč organizačními složkami společnosti a úroveň uživatelských znalostí je vysoká i u netechnických oddělení. V tomto případě byla velkou výhodou MS Excel existence nástroje Závislý rozevírací seznam, který umožňuje pro buňky vytvořit rozevírací seznam a jeho obsah je navíc závislý na tom, co bylo vybráno v předchozím poli. Při zpracování dat tak není nutné u každé poruchy vypisovat kategorie zvlášť, ale kliknutím pouze vybíráme ze seznamu. Samotné zpracování dat je poté otázkou mechanického procházení zpráv poruchovostní komise a je náročné spíše časově.

Následná analýza a vizualizace byla provedena v MS Power BI. Power BI je softwarový nástroj společnosti Microsoft a je pro tento projekt vhodný především díky tomu, že umožňuje snadnou vizualizaci a filtrování dat. Samozřejmě existuje hned několik softwarů umožňující zpracování dat, jako je například Matlab nebo Mathematica, nicméně software Power BI byl zvolen především díky jeho možnostem vizualizace, uživatelskému prostředí a dostupnosti softwaru. Jelikož nástroj by do budoucna mělo používat více uživatelů, bylo nutné faktory dostupnosti, uživatelské náročnosti a nákladů na licence také zohlednit. Dále je třeba zmínit, že v Power BI můžeme data nejen různě filtrovat a vizualizovat, ale také provádět pokročilé výpočty pomocí jazyka DAX. Bylo tedy nutné se seznámit s konceptem tohoto jazyka a se základy používání jednotlivých funkcí.

Jednotlivé kroky projektu od sestavení kategorizace, přes třídění dat, až po samotný vývoj nástroje v Power BI, jsou podrobněji popsány v následujících kapitolách.

5.1. Sestavení kategorizace poruch

Klíčovou problematikou analýzy historických dat týkající se poruchovosti prvků distribuční soustavy je sestavení kategorizace poruch. Jde o ústřední část projektu, které bylo nutné věnovat dostatek času tak, aby byly splněny následující požadavky.

Kategorizace by měla zajistit jednoznačné zařazení poruchy takovým způsobem, aby třídění bylo co nejméně závislé na tom, kdo formulář vyplňuje. Toho bylo částečně dosaženo tím, že uživatel ve formuláři jednotlivé kategorie vyplňuje vybráním položky z předem daného seznamu, nikoli vkládáním textového popisu, jako tomu bylo doposud. Dále je nutné, aby kategorie skutečně zahrnovaly veškeré události, které mohou v síti nastat. Pokud budou kategorie poruchových událostí příliš specifické, nejen že může dojít k tomu, že formulář bude nepřehledný, zároveň se však zvyšuje pravděpodobnost, že některé události nebude možné zařadit. Na druhou stranu, pokud kategorie budou příliš obecné, snižujeme tím množství informací, které bude možné z dat následně vytěžit. Dalším požadavkem na vytvořenou metodiku kategorizace poruch je možnost jednoduché úpravy modelu. Vzhledem k tomu, že projekt nebude sloužit pouze ke zpracování historických dat, ale ideálně bude nástrojem pro sjednocení zaznamenávání poruch napříč distribuční společností, očekává se, že bude nutné formulář upravit dle potřeb uživatelů. S tím souvisí také požadavek na co nejjednodušší vyplňování formuláře, tak aby uživatelé byli motivováni informace do systému zadat.

Formulář byl pro první fázi, tedy třídění historických dat, vytvořen jednoduše v nástroji MS Excel pomocí závislého rozevíracího seznamu. Závislý rozevírací seznam umožňuje přizpůsobit nabídku rozevíracího seznamu tomu, co bylo vybráno v předchozím poli. Při třídění se vyplňují tyto kategorie: technologický celek, podskupina technologického celku, technologie a příčina události. Napětíová hladina je potom doplněna automaticky podle těchto vyplněných kategorií. Tento postup je výhodný zejména v tom, že automaticky vyplněná kategorie zajišťuje jednotné vyplňování formuláře.

- **Technologický celek**

Technologický celek představuje základní dělení poruch podle stavebních celků tvořících distribuční soustavu. Při prvním testování třídění poruch, se tato strategie, kdy první dělení provedeme dle lokality poruchy, osvědčila jako uživatelsky nejpříjemnější. Kromě klasických VVN a VN prvků sítě jako jsou transformovny (TR), rozpínací stanice (RS), transformační stanice (TS) a vedení, je model připraven také na poruchy NN a obsahuje rozpínací skříně (RIS) a přípojkové skříně (SP). Speciální technologický celek distribuční sítě je kabelový tunel, jehož poškození nespádalo do žádné z předchozích skupin a bylo nutné pro něj založit novou kategorii. Poslední kategorií jsou poruchy mimo území PREDistribuce.

Technologický celek
Mimo PREDi
TR
RS
TS
Vedení
Kabelový tunel
RIS
SP

Obrázek 5.1 Seznam technologických celků

- **Podskupina technologického celku**

Tato kategorie dále přibližuje místo události a určuje napětovou hladinu pro SAIDI/SAIFI, která je ve formuláři vyplněna automaticky. U poruch mimo území PREdistribuce rozlišujeme, zda došlo k poruše na území přenosové soustavy (tj. na území ČEPS), jiné distribuční společnosti (v tomto případě jde o ČEZ Distribuce), lokální distribuční soustavy (LDS) nebo primárním odběru (PO). Zároveň se této kategorii pro napětovou hladinu přiřazuje přívlastek Mimo PREdi.

Mimo PREdi
ČEPS
ČEZ Distribuce
LDS
PO

Obrázek 5.2 Seznam podskupin technologického celku Mimo PREdi

Technologické celky TR, RS a TS mají podobnou strukturu, která se skládá z rozváděče vyšší hladiny napětí, transformátoru, rozváděče nižší hladiny napětí a stavební části. Ačkoli rozpínací stanice neslouží primárně k transformaci napětí, transformátor VN/NN se v ní vyskytuje a může na něm nastat porucha. Stavební část je specifická vlastnost těchto objektů, kterou bylo nutné v metodice obsáhnout. Napětová hladina je u stavební části přiřazena podle nejvyšší hladiny v tomto stavebním celku, tj. 110 kV pokud jde o transformovnu a 22 kV u rozpínací a distribuční transformační stanice. Na druhou stranu poruchy transformátoru řadíme do poruch napětové hladiny sekundárního vinutí.

TR	RS	TS
R 110 kV	R 22	R 22
Transformátor 110/22 kV	Transformátor VN/NN	Transformátor VN/NN
Sekce 22 kV	R NN	R NN
Stavební část	Stavební část	Stavební část

Obrázek 5.3 Seznam podskupin technologických celků TR, RS a TS

Technologický celek Vedení rozdělujeme na kabelové vedení, venkovní vedení, mrtvé vedení nebo vedení ve výstavbě a sdělovací kabel. Položka mrtvé vedení nebo vedení ve výstavbě byla přidána kvůli tomu, že v některých případech nelze určit, o jakou napětovou hladinu postiženého vedení jde, ani zda jde o napájecí, nebo distribuční síť. Kabelové a venkovní vedení dále dělíme podle napětové hladiny a u vedení VN navíc rozlišujeme, zda jde o síť napájecí, nebo distribuční. Za vedení napájecí sítě považujeme vedení mezi dvěma rozpínacími stanicemi, mezi transformovnou a rozpínací stanicí a mezi dvěma transformovnamí. Ostatní vedení, tj. mezi rozpínací a transformační stanicí, mezi dvěma transformačními stanicemi a popřípadě také vedení mezi transformovnou a transformační stanicí, označujeme jako distribuční síť. V seznamu se také nachází kabel 0,4 kV, aby byl model do budoucna připraven zahrnout poruchy nízkého napětí. Sdělovací kabel je speciální kategorie, která samozřejmě nemá napětovou hladinu a je jí v kolonce Napětová hladina pro SAIDI/SAIFI přiřazen přívlastek Sdělovací kabel. Podobně je tomu u kategorie Mrtvé vedení nebo vedení ve výstavbě.

Vedení
Kabel 110 kV
Kabel 22 kV napájecí
Kabel 22 kV distribuční
Kabel 0.4 kV
Venkovní vedení 110 kV
Venkovní vedení 22 kV napájecí
Venkovní vedení 22 kV distribuční
Mrtvé vedení nebo vedení ve výstavbě
Sdělovací kabel

Obrázek 5.4 Seznam podskupin technologického celku Vedení

Technologické celky nízkého napětí, tj. RIS a SP, jsou zde zahrnuty ze stejného důvodu, jako kabel 0,4 kV, tedy aby bylo do budoucna možné kategorizovat také poruchy na hladině nízkého napětí. Posledním technologickým celkem je kategorie Kabelový tunel, který má jedinou podskupinu, a to Stavební část.

RIS	SP	Kabelový tunel
Technologie RIS	Technologie SP	Stavební část
Stavební část	Stavební část	

Obrázek 5.5 Seznam podskupin technologických celku RIS, SP a Kabelový tunel

- **Technologie**

Další úroveň kategorizace je konkrétní postižené zařízení distribuční soustavy. I na této úrovni jsou podskupiny technologických celků, které sdílejí seznam technologií buď úplně, nebo alespoň z části, např. kabelová vedení. Na této úrovni popisu distribuční soustavy je již poměrně obtížné obsáhnout všechna možná zařízení, která se v soustavě nacházejí. V průběhu třídění dat tedy bylo nutné některé technologie doplnit, například z důvodu nestandardního vybavení technologického celku. Jednotlivé seznamy technologií se nachází na následujících obrázcích.

Kabel 110 kV	Kabel 22 kV napájecí	Kabel 22 kV distribuční	Kabel 0.4 kV
Kabel	Kabel	Kabel	Kabel
Koncovka	Koncovka	Koncovka	Koncovka
Spojka	Spojka	Spojka	Spojka

Obrázek 5.6 Seznam technologií pro kabelová vedení

Venkovní vedení 110 kV	Venkovní vedení 22 kV napájecí	Venkovní vedení 22 kV distribuční
Vodiče venkovního vedení 110 kV	Vodiče venkovního vedení 22 kV	Vodiče venkovního vedení 22 kV
Izolátor	Izolátor	Izolátor
Podpěrný bod	Podpěrný bod	Podpěrný bod
Úsekový odpínač	Úsekový odpínač	Úsekový odpínač
Bleskojistka	Bleskojistka	Bleskojistka

Obrázek 5.7 Seznam technologií pro venkovní vedení

Sdělovací kabel	Mrtvé vedení nebo vedení ve výstavbě
Kabel	Kabel
	Koncovka
	Spojka
	Vodiče venkovního vedení 110 kV
	Vodiče venkovního vedení 22 kV
	Izolátor
	Podpěrný bod
	Úsekový odpínač

Obrázek 5.8 Seznam technologií pro mrtvé vedení nebo vedení ve výstavbě a sdělovací kabel

Transformátor 110/22 kV	Transformátor VN/NN
Transformátor	Transformátor
Průchodka	Deon
Přepínač odboček	Izolátor
Izolátor	Propoj k trafu
Propoj k trafu 110 kV	Indikace a signalizace
Propoj k trafu 22 kV	
Ochrana	
Chlazení	
Indikace a signalizace	
Svodiče a uzemnění	
Odporník	

Obrázek 5.9 Seznam technologií transformátorů

R 110 kV	R 22 kV	Sekce 22 kV
Přípojnice	Přípojnice	Přípojnice
Vypínač	Vypínač	Vypínač
Odpojovač	Odpojovač	Odpojovač
Přístrojový transformátor a měnič	Odpínač	Odpínač
Izolátor	Přístrojový transformátor a měnič	Přístrojový transformátor a měnič
Svodiče a uzemnění	Izolátor	Izolátor
Ochrana	Svodiče a uzemnění	Svodiče a uzemnění
Řídící technika a telemechanika	Baterie a usměrňovač	Baterie a usměrňovač
Ostatní sekundární technika	Ochrana	Ochrana
Vlastní spotřeba	Řídící technika a telemechanika	Řídící technika a telemechanika
Indikace a signalizace	Ostatní sekundární technika	Ostatní sekundární technika
Rozváděč	Vlastní spotřeba	Vlastní spotřeba
	Indikace a signalizace	Indikace a signalizace
	Pojistka	Rozváděč
	Rozváděč	
	Průchodka	
	Kompenzační kondenzátor	

Obrázek 5.10 Seznam technologií rozváděčů

U kategorie Stavební část technologii nijak nedělíme a doplňujeme souhrnné označení Technologie stavební části. Zároveň je nutné dodat, že u rozváděčů 110 a 22 kV (R 110 kV, R 22 kV a sekce 22 kV) byly uvedeny hlavní technologické prvky těchto systémů. Vzhledem k počtu jejich prvků může být seznam technologií dle potřeby rozšířen. Také je potřeba vzít

v úvahu, že systém je uzpůsobený současně používaným technologiím a do budoucna bude nutné ho upravit. S novými technologiemi budou přicházet také nové problémy a příčiny poruch, tedy bude nutná pravidelná revize a aktualizace celého systému.

- **Příčina události**

U této kategorie byla použita poněkud odlišná strategie než předchozí kategorizace a byl vytvořen univerzální seznam příčin události, který lze použít pro většinu technologií. Tento seznam je pak u některých technologií rozšířen o specifické poruchy, jako například OZ u venkovních vedení nebo únik plynu SF₆ u rozváděčů. Jelikož seznam technologií je v této úrovni třídění již značně dlouhý, bude uvedena pouze univerzální část příčin události.

Chybná technologie
Lidský faktor
Cizí zásah
Porucha v nadřazené soustavě, vliv jiné události
Přírodní vlivy
Zvěř
Nezjištěna/nelze určit

Obrázek 5.11 Seznam univerzálních příčin události

Rozdíl mezi událostmi, kdy je příčinou lidský faktor a kdy cizí zásah, spočívá v tom, že pokud je porucha zapříčiněna pochybením zaměstnance a teoreticky lze události zabránit např. školením, jde o příčinu lidský faktor. V případě, že poruchu způsobil například zloděj nebo dělník při výkopových pracích, jedná se o cizí zásah. Samozřejmě nemůžeme vynechat možnost, kdy je příčina nezjištěna nebo ji nelze určit, ale v tomto případě nezískáme o systému téměř žádnou informaci a snažíme se počet těchto případů minimalizovat.

Speciální kategorií je stavební část technologických celků, která má svůj vlastní seznam příčin události, viz Obrázek 5.12. Rozdíl mezi příčinami s názvem Přírodní vlivy, vnější vlivy a Vlhkost nebo zatékání do budovy je analogický rozdíl mezi cizím zásahem a lidským faktorem. Pokud jde o vlhkost v budově, která se tam dostala vlivem bouřky nebo havárií vodovodního či kanalizačního potrubí, tj. jde o událost jednorázovou a nezaviněnou špatnou konstrukcí budovy, přiřadíme příčinu s názvem Přírodní vlivy, vnější vlivy. V případě vody v budově, která se tam dostala vadou v konstrukci nebo jiným způsobem, který lze ovlivnit, přiřadíme příčinu s názvem Vlhkost nebo zatékání do budovy.

Chybná konstrukce
Cizí zásah
Lidský faktor
Přírodní vlivy, vnější vlivy (např. prasklá voda v budově)
Vlhkost nebo zatékání do budovy
Nezjištěna/nelze určit

Obrázek 5.12 Seznam příčin události pro stavební část technologických celků

5.2. Třídění historických dat

Jak již bylo popsáno, podklady pro kategorizaci poruch na hladině VN a VVN v síti PREdistribuce tvořily výstupy poruchovostní komise a zpracování bylo provedeno v nástroji MS Excel. Pro potřeby analýzy bylo ručně zatříženo přes 3050 záznamů. Vzhledem k poměrně

dlouhým dobám životnosti většiny zařízení distribuční soustavy je vhodné mít k dispozici data za co nejdější časový úsek, z tohoto důvodu byla zpracována data za posledních 10 let.

Pro názornost bude uveden příklad zařídění jedné z událostí, jejíž hlášenka se nachází na Obrázku 5.13. Jde o případ, kdy původní popis poruchy, který uvádí vlhkost v TS a chybnou koncovku, může být do jisté míry zavádějící. Na první pohled jde sice o závadu na koncovce, pokud si však přečteme poznámky k události, zjistíme, že závada je velká vlhkost v transformační stanici a původní příčina události je tedy ve vlhkosti ve stavební části.

poř.	Typ	ED	Datum	SAP	kV	T ₀ [h:mm]	T ₁ [h:mm]	T ₂ [h:mm]	T ₃ [h:mm]	P ₁ [MW]	P ₂ [MW]	TR 110/22 kV	Trafo	Postižené zařízení	Popis poruchy	CZ	TS	Rozsah bezproudí
35	POR	S	3.2.21	10611283	22	11:52				0,00	0,00	TRE	101 R	861-4159	vlhkost v TS 4159 a chybná koncovka sm. 861		0	bezproudí nenastalo

V TS 4159 objeveno sršení uvnitř koncovky směru 861. Kabel vyřazen. TS 4159 je vlhká celá, bude nainstalován vysoušeč.
 Závada - velkou vlhkostí v TS 4159 srší kabelová koncovka 22 kV- KSNDa na směru TS 861. Dne 3.2.2021 předáno na odstranění závady PDS.
 Dne 3.2.2021 na hlášenku PU: 10611281 do TS 4159 četou PDS osazen vysoušeč. Dne 4.2.2021 četa PDS - Hladík, Verner po vystavení příkazu B v TS 4159 provedla osušení kabelové koncovky KSNDa na směru TS 861. Dne 4.2.2021 VN zkouška na kabelu 22 kV 4159 - 861. Dne 4.2.2021 provedla četa PDS zapnutí kabelu 22 kV 4159 - 861 do normálu.

Obrázek 5.13 Příklad hlášení události 10611283

SAP	Technologický celek	Podskupina tech. celku	Technologie	Příčina události	Napěťová hl. podle SAIDI/SAIFI
10611283	TS	Stavební část	Technologie stavební části	Vlhkost nebo zatékání do budovy	22 kV

Tabulka 5.1 Zařídění události 10611283

Nutnou součástí této fáze úkolu bylo také převedení hlášenky do jednodušší zpracovatelné podoby. Veškeré hlášenky tedy byly zkopírovány do excelu a zároveň připojeny k zaříděné události. Konečný soubor zaříděných událostí podle nové kategorizace tedy zároveň obsahuje veškeré kategorie z hlášení události jako je například Datum, TR 110/22 kV, Trafo nebo Postižené zařízení, což jsou důležité informace pro další analýzu.

5.3. Tvorba nástroje v Power BI

Power BI je software, který umožňuje snadnou vizualizaci dat. Tvorba kontingenčních tabulek a z nich vyplývajících grafů by v Excelu byla velmi náročná. Vzhledem k rozsáhlosti dat a komplexnosti některých výpočtů, by se tak soubor mohl stát velmi nepřehledným. Power BI umožňuje nejen čerpat z několika zdrojů zároveň, ale informace také efektivně propojit. Základem jsou tedy kvalitní data, nejčastěji ve formě souboru Excel. Software si však poradí i s daty z databáze aplikace Access, dokáže získávat data z umístění na SharePointu a dalších dostupných databázích. V případě tohoto nástroje čerpáme ze 3 hlavních souborů:

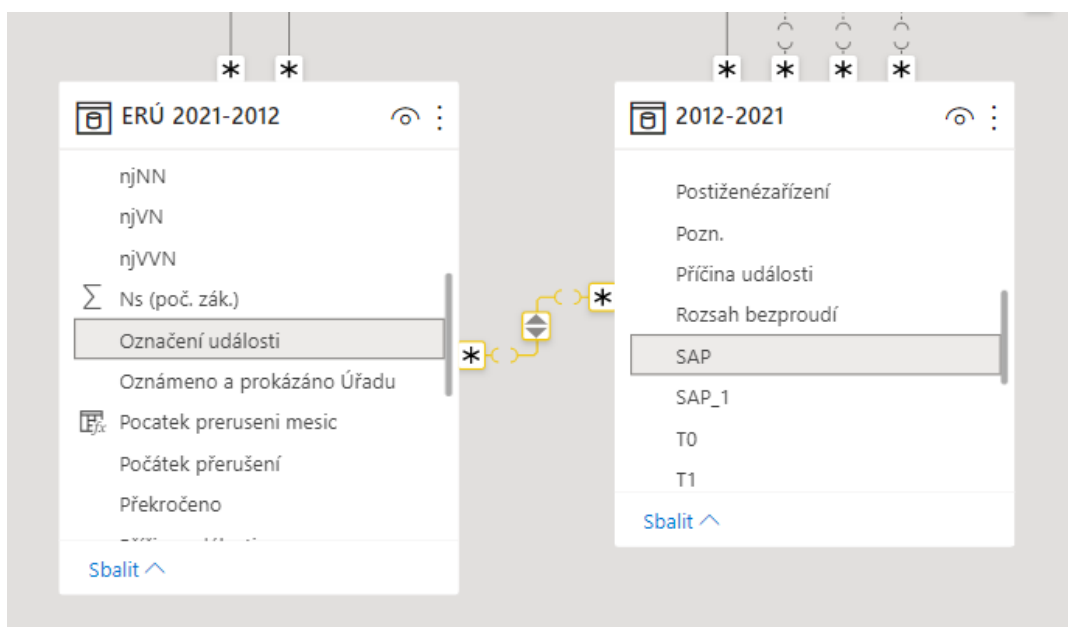
- zaříděná data
- výkazy pro ERÚ podle vyhlášky č. 540/2005 Sb.
- soubor s daty o komponentě Q obsahující historický vývoj a limity pro neutrální pásmo, maximální bonus a maximální penále dané cenovým rozhodnutím ERÚ

Je nutné podotknout, že soubor zaříděných dat rovněž obsahuje informace z hlášenek.

Nástroj by měl sloužit také do budoucna, proto bude potřeba data postupně doplňovat a upravovat některé vzorce. Aktualizace bude nutné provádět minimálně jednou měsíčně, kdy dojde k nahrání aktuálních výkazů pro ERÚ. Také poruchovostní komise zasedá jednou měsíčně a její výsledky bude potřeba zpracovat.

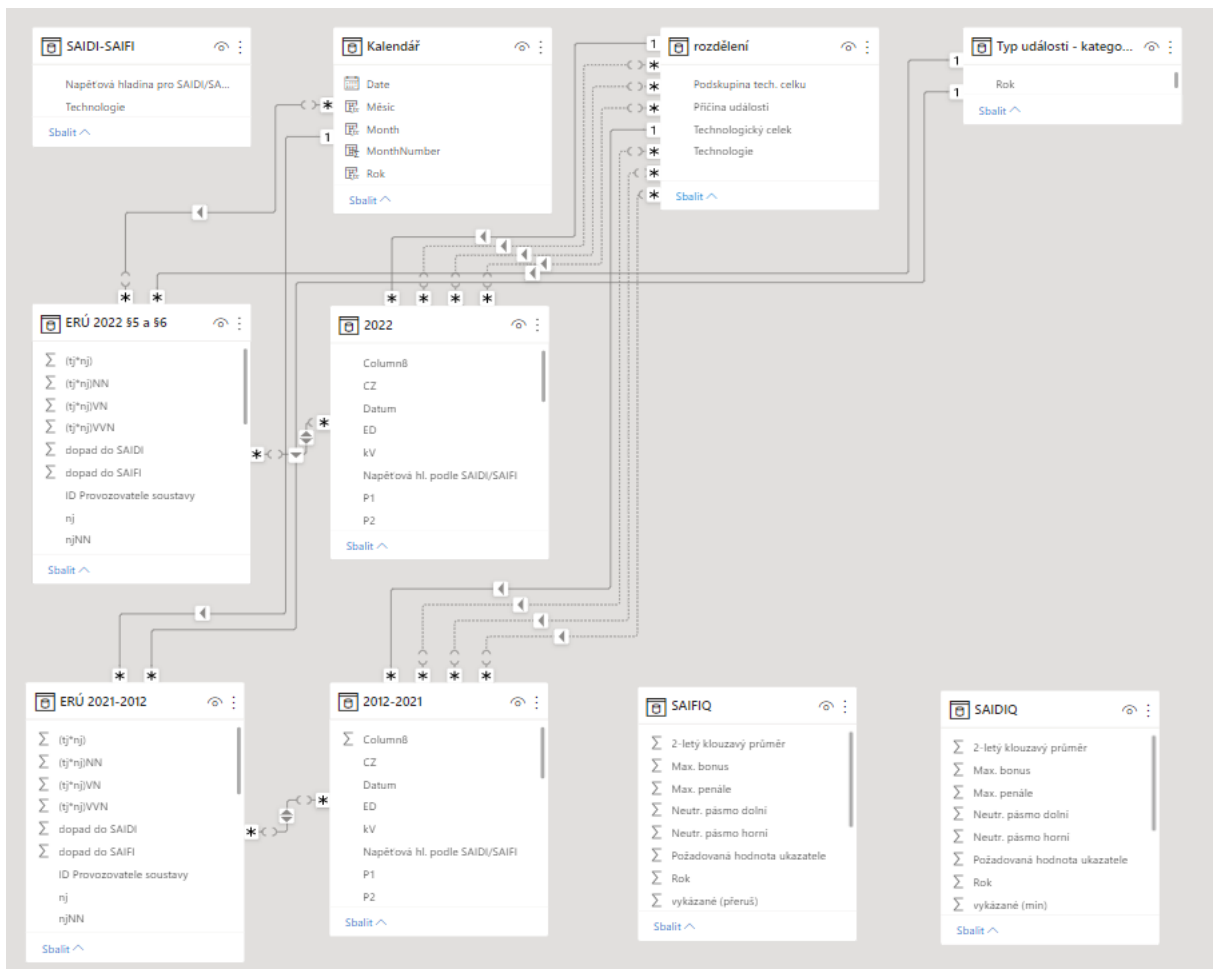
Aktualizace probíhá tak, že do souborů připojených do tohoto nástroje doplníme data, uložíme a poté můžeme spustit aktualizaci přímo v Power BI. Na přelomu roku bude nástroj vyžadovat širší údržbu, která spočívá v úpravě některých vzorců a odladění problémů, které v softwaru mohou nastat. Zcela se bude moct uplynulý rok uzavřít až okolo března nového roku, jelikož finalizace výkazů pro ERÚ je poměrně časově náročná. V tomto období tedy bude probíhat příprava softwaru na nový rok.

Jedním z nejdůležitějších kroků po nahrání dat do projektu Power BI je vytvoření modelu. Pokud chceme data z několika zdrojů efektivně filtrovat, je nutné vytvořit jejich propojení v modelu. Příklad propojení je následující – všechny události mají jedinečné označení v podobě čísla SAP, podle kterého lze událost identifikovat napříč systémy. Abychom mohli přiřadit k tomuto číslu informace z několika zdrojů, vytvoříme propojení mezi těmito kategoriemi v modelu. Princip propojení je zřejmý z Obrázku 5.14 – číslo SAP v datech z výkazů pro ERÚ (tabulka ERÚ 2021-2012) nazvané jako Označení události je nutné propojit s číslem SAP z dokumentu se zatříděnými daty (tabulka 2012-2021).



Obrázek 5.14 Propojení kategorie čísla SAP mezi jednotlivými zdrojovými dokumenty

Takové propojení je nutné hned u několika dalších parametrů, například datum nebo systém kategorizace popsány v kapitole 5.1. Aby byl model přehledný, rozdělila jsem zdrojová data do tří úrovní. První úroveň tvoří tabulky, podle kterých probíhá filtrování, tj. datové sady kalendář, rozdělení, SAIDI-SAIFI a Typ události. Druhou úroveň tvoří data pro současný rok 2022 – ERÚ 2022 §5 a §6 (měsíční výkazy pro ERÚ) a zatříděná data pro rok 2022. Poslední úroveň tvoří data pro roky 2012-2021 – tabulky ERÚ 2021-2012, 2012-2021 a tabulky pro SAIDI_Q a SAIFI_Q. Celý model a jednotlivé úrovně jsou patrné z následujícího obrázku.



Obrázek 5.15 Model v projektu nástroje pro hodnocení poruch v Power BI

Po správném propojení dat v modelu nyní můžeme data libovolně filtrovat a tvořit požadované přehledy. Vytvořený nástroj sestává ze třech základních přehledů – Komponenta Q, Celkový přehled a Oblasti TR. Tyto přehledy budou podrobně popsány v následujících kapitolách.

5.3.1. Komponenta Q

První přehled se detailně zabývá komponentou Q. Kompozice karty s přehledem je zřejmá z Obrázku 5.16 a Obrázku 5.17. Ústřední částí přehledu je sloupcový graf s daty za roky 2013-2021 a částečně také za současný rok 2022. V horní části se nachází čtyři barevná tlačítka, kterými volíme, jaké hodnoty se nám zobrazují v grafu. Můžeme zobrazit hodnoty pro SAIDI_Q, což jsou modrá tlačítka, nebo hodnoty pro SAIFI_Q, které představují červená tlačítka. Přehled je částečně interaktivní, můžeme tedy mezi jednotlivými verzemi přehledu jednoduše přepínat kliknutím myši.

Tento přehled slouží také pro hodnocení vlivu mimořádné události (MU), přičemž pro ilustraci byla vybrána mimořádná událost z 25. září 2022, ale v zásadě můžeme takto analyzovat dopad jakékoli mimořádné události. Je nutné podotknout, že tento proces není zatím nijak zautomatizován a část grafů týkající se dopadu MU je potřeba řešit individuálně podle dané události. Analýza spočívá ve vytvoření dvou verzí grafu pro SAIDI_Q a SAIFI_Q, první verze bez dopadu MU a druhá verze s jasně vyznačeným vlivem dané události.

Komponenta Q

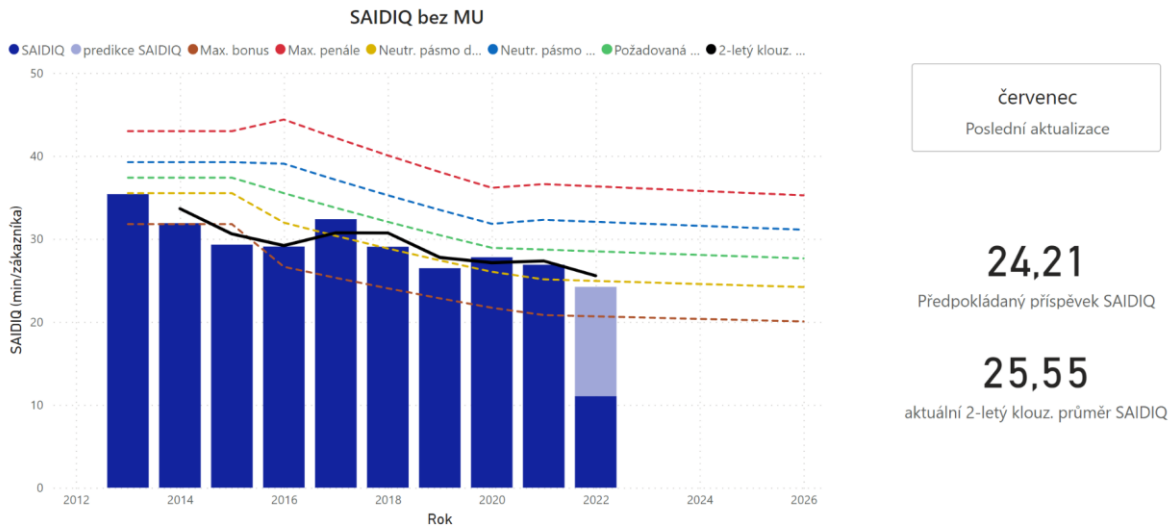
SAIDIQ s MU

SAIDIQ bez MU

SAIFIQ s MU

SAIFIQ bez MU

Vliv mimořádné události (MU) z 25. září 2022 (TR Jih)



Obrázek 5.16 Vzhled karty Komponenta Q – SAIDIQ bez MU

Komponenta Q

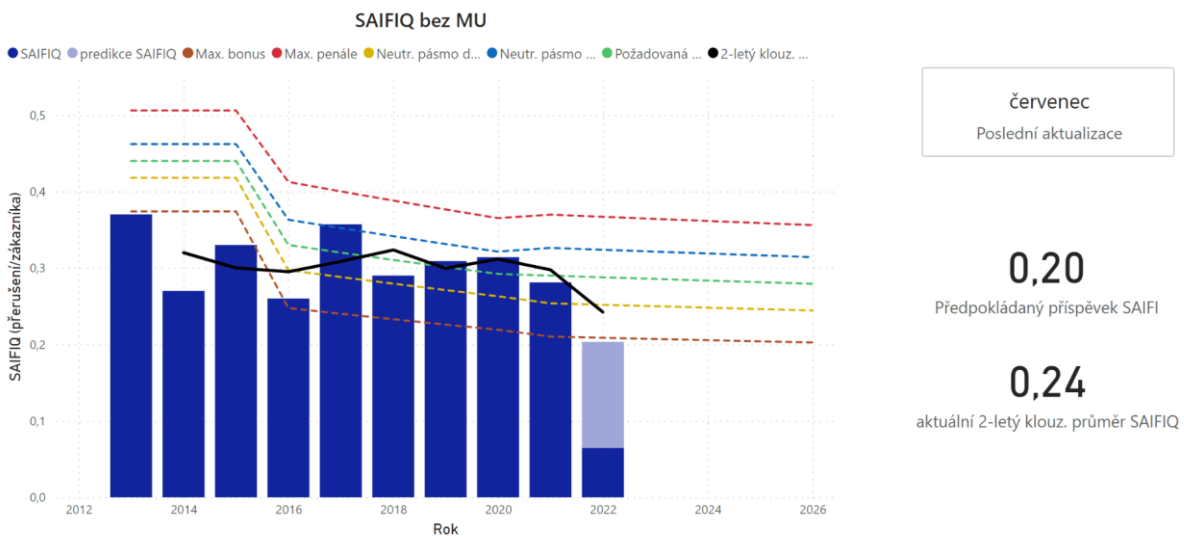
SAIDIQ s MU

SAIDIQ bez MU

SAIFIQ s MU

SAIFIQ bez MU

Vliv mimořádné události (MU) z 25. září 2022 (TR Jih)

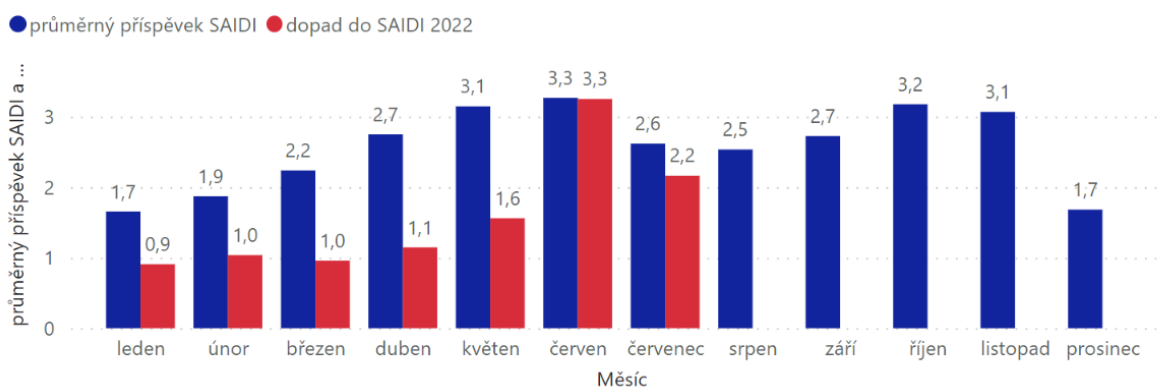


Obrázek 5.17 Vzhled karty Komponenta Q – SAIFIQ bez MU

Graf dosažených hodnot ukazatelů v průběhu let obsahuje hned několik prvků. Tmavě modré sloupce představují celkové vykázané hodnoty ukazatelů za daný rok. Černá křivka představuje dvouletý klouzavý průměr, což je hodnota, která v současné době určuje výši bonusu, resp. penále. Přerušované barevné linie potom reprezentují limity neutrálního pásma, maximálního bonusu a maximálního penále pro jednotlivá regulační období. V samotném nástroji je orientace v grafech usnadněná tím, že při najetí myši na jakýkoli prvek grafu se zobrazí název prvku a jeho hodnota.

Součástí vizuálu je také odhad konečných hodnot ukazatelů za celý rok 2022, z kterého také plyne výsledný dvouletý klouzavý průměr let 2021 a 2022. Tmavě modrá část sloupce pro současný rok 2022 reprezentuje skutečně vykázané hodnoty ERÚ. Pro informaci uživatele je v pravé části přehledu umístěna karta Poslední aktualizace, která udává, kdy byla data pro současný rok naposledy aktualizována. Světle modrá část sloupce je potom odhad založený na měsíčních průměrech za posledních deset let. Jelikož do komponenty Q jsou započítávány také plánované události, jsou v grafu měsíčních průměrných hodnot vidět určité charakteristické rysy. Je to především pokles průměrných příspěvků v období letních prázdnin a v zimních měsících. To je dané z velké části tím, že v těchto měsících probíhá méně plánovaných prací. U ukazatele SAIFI_Q pozorujeme obdobné chování.

Průměrný příspěvek SAIDI_Q a letošní měsíční příspěvky



Obrázek 5.18 Graf průměrných hodnot ukazatele SAIDI_Q za roky 2012-2021 a měsíční příspěvky za rok 2022

Odhad ukazatele SAIDI_Q a SAIFI_Q je tedy tvořen součtem vykázaných hodnot a součtem průměrných příspěvků pro zbývající měsíce. V našem případě máme data do července, vzorec tedy připočítá průměry pro měsíce srpen až prosinec.

Poslední částí přehledu Komponenta Q, která ještě nebyla popsána, jsou karty Předpokládaný výsledek a aktuální dvouletý klouzavý průměr, které uživateli dávají informaci o odhadu výsledku pro rok 2022. Tyto hodnoty se samozřejmě s každou aktualizací automaticky přepočítají.

Jak již bylo zmíněno, jednou z funkcí tohoto přehledu je možnost vizualizace dopadu určité mimořádné události. Pro tyto grafy slouží tlačítka SAIDI_Q s MU a SAIFI_Q s MU. Vliv MU můžeme pozorovat nejen díky vyznačení oranžovou barvou ve sloupcovém grafu, ale také díky přepočítání parametru dvouletého klouzavého průměru. V pravé části karty dojde v případě těchto dvou verzí přehledu k malé změně. Místo karty Předpokládaného výsledku se zde nachází informace o hodnotě dopadu MU do komponenty Q. Vzhled vizuálů a vliv mimořádné události je patrná z následujících obrázků.

Komponenta Q

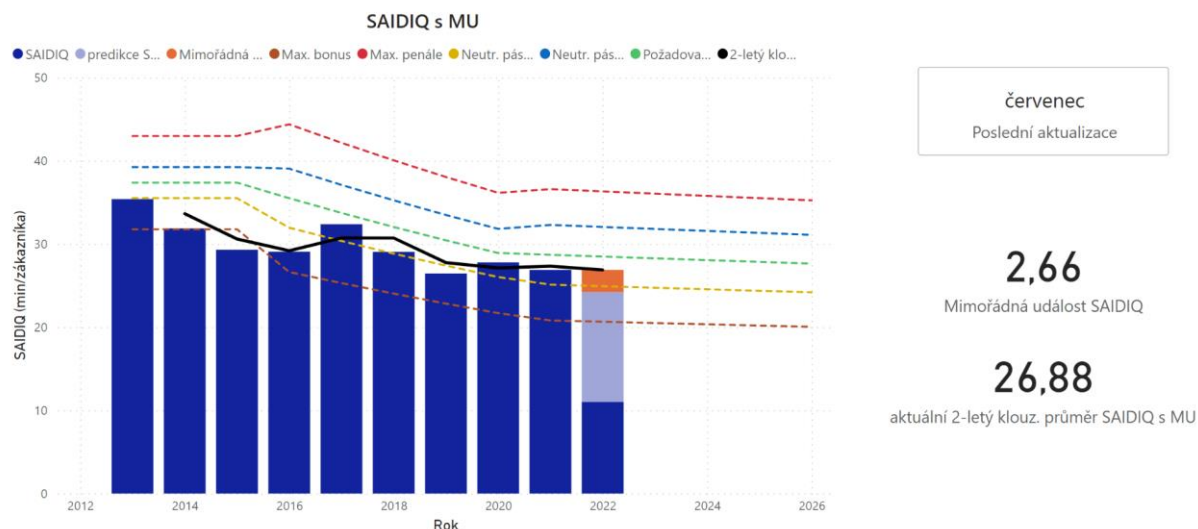
SAIDIQ s MU

SAIDIQ bez MU

SAIFIQ s MU

SAIFIQ bez MU

Vliv mimořádné události (MU) z 25. září 2022 (TR Jih)



Obrázek 5.19 Vzhled karty Komponenta Q – SAIDIQ s MU

Komponenta Q

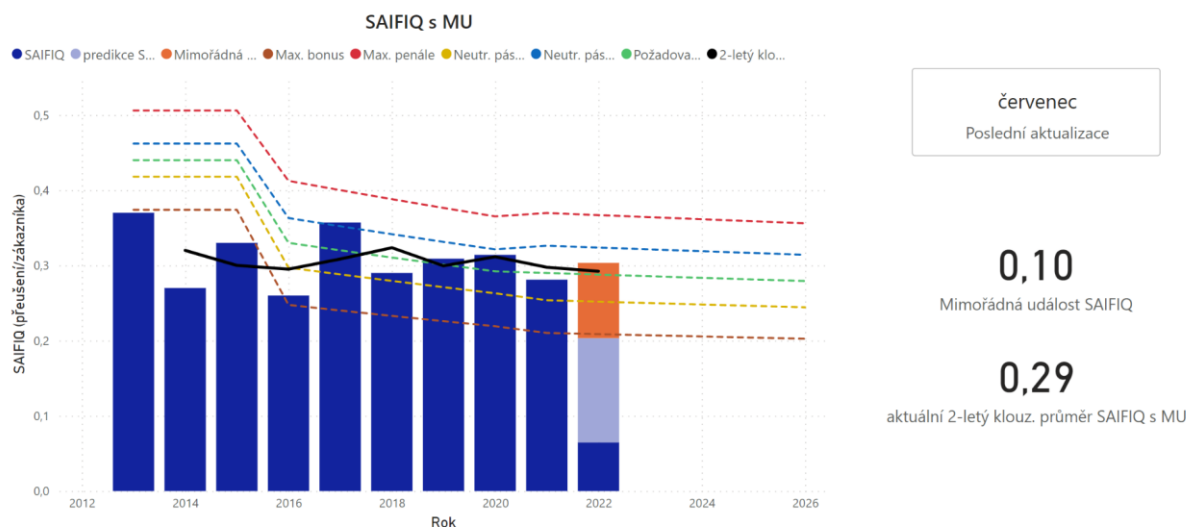
SAIDIQ s MU

SAIDIQ bez MU

SAIFIQ s MU

SAIFIQ bez MU

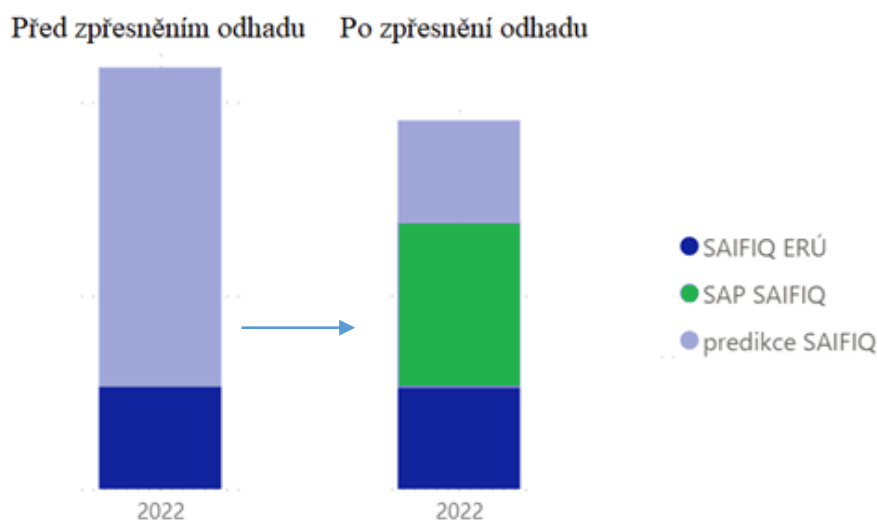
Vliv mimořádné události (MU) z 25. září 2022 (TR Jih)



Obrázek 5.20 Vzhled karty Komponenta Q – SAIFIQ s MU

Je jasné, že predikce ukazatelů je pouze orientační vzhledem k nepředvídatelnému charakteru neplánovaných událostí. Riziko představují především mimořádné neplánované události, což je velmi dobře patrné z předešlého příkladu události z 25. září 2022, kdy se vlivem této jedné události ukazatel SAIFIQ přesunul z oblasti bonusu do oblasti nad požadovanou hodnotou ukazatele. Zároveň však existují některé způsoby, kterými by bylo možné odhad částečně zpřesnit. Jeden ze způsobů se zaměřuje na to, že data jsou získávána s tříměsíčním zpožděním. Abychom měli co nejaktuálnější informace, je možné získat data o příspěvcích jednotlivých událostí z nástroje SAP. Výkazy pro ERÚ a informace ze SAP se mohou mírně lišit, jelikož dochází ke zpřesňování informací o přerušeních. V některých případech se může například změnit typ přerušení. Stále jde ale o výrazné zpřesnění algoritmu pro výpočet

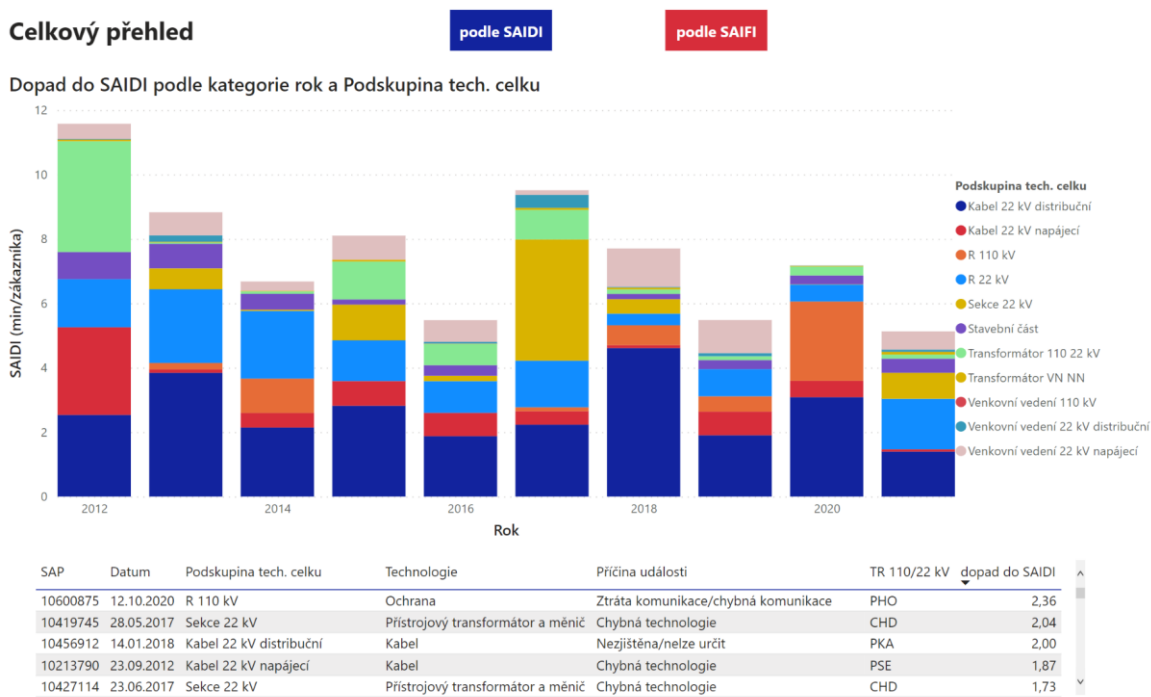
předpokládané hodnoty komponenty Q. Součet by se po zavedení tohoto opatření skládal z hodnot z výkazů pro ERÚ, hodnot ze SAP za poslední tři měsíce a průměrných příspěvků pro zbývající měsíce. Princip zakomponování dat z nástroje SAP ilustruje následující obrázek.



Obrázek 5.21 Princip zakomponování dat z nástroje SAP

5.3.2. Celkový přehled

Tato karta nabízí pohled na příspěvky jednotlivých podskupin technologických celků do ukazatelů SAIDI a SAIFI za posledních 10 let. Mezi verzemi přehledu pro jednotlivé ukazatele lze přepínat pomocí tlačítek *podle SAIDI* a *podle SAIFI* v horní části karty. Ve spodní části přehledu se nachází tabulka se seznamem událostí. Cílem tabulky je poskytnout detailnější pohled na zkoumané události.



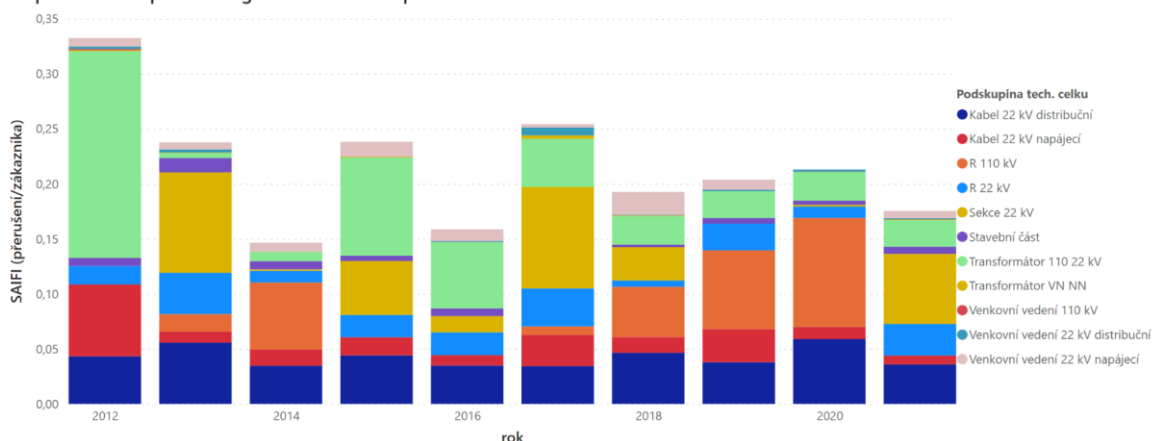
Obrázek 5.22 Vzhled karty Celkový přehled - podle SAIDI

Celkový přehled

podle SAIDI

podle SAIFI

Dopad do SAIFI podle kategorie rok a Podskupina tech. celku



SAP	Datum	Podskupina tech. celku	Technologie	Příčina události	TR 110/22 kV	dopad do SAIFI
10600875	12.10.2020	R 110 kV	Ochrana	Ztráta komunikace/chybná komunikace	PHO	0,07
10247737	23.07.2013	Sekce 22 kV	Přístrojový transformátor a měnič	Chybná technologie	CHD	0,05
10203152	13.03.2012	Transformátor 110 22 kV	Svodiče a uzemnění	Lidský faktor	LET	0,05
10558920	26.11.2019	R 110 kV	Izolátor	Přeskok	CHD	0,05
10638526	09.09.2021	Sekce 22 kV	Přístrojový transformátor a měnič	Chybná technologie	PJH	0,05

Obrázek 5.23 Vzhled karty Celkový přehled - podle SAIFI

Z legendy sloupcového grafu vyplývá, že některé podskupiny technologických celků byly z analýzy vyloučeny. Jedná se například o nezařazené události, kabel 0,4 kV, rozváděč NN nebo například události mimo PREDi. Dále je sestava defaultně nastavená na události kategorie 11, tj. události, které se započítávají do komponenty Q. Samozřejmě je možné zobrazit také události ostatních kategorií, avšak při každém spuštění nástroje se obnoví toto základní nastavení filtrování.

Filtry
👁️ ➡️

Filtry na této stránce ...

Podskupina tech. ... 📌 🔒

není 0, Kabel 0.4 kV, R... 🗑️ 👁️

Příčina události
je (Vše)

Technologie
je (Vše)

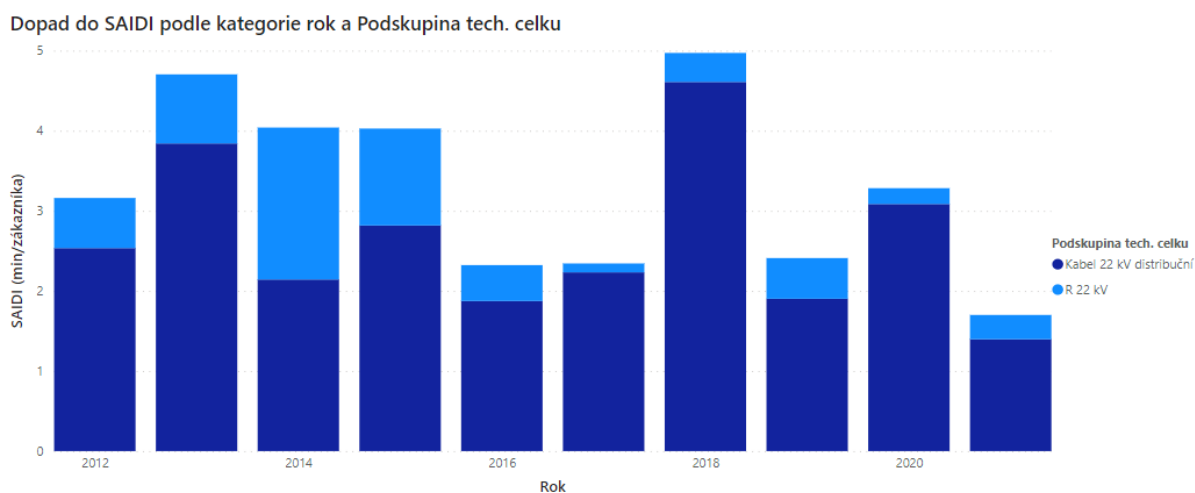
TR 110/22 kV
je (Vše)

Typ události
je 11

Obrázek 5.24 Základní nastavení filtrů karty Celkový přehled

Ve zmíněné možnosti filtrování spočívá univerzálnost nástroje analýzy poruch. Často nastává situace, kdy potřebujeme informace s konkrétními parametry. Například pokud chceme zjistit vývoj příspěvků do komponenty od konkrétní technologie nebo vyobrazit dopady konkrétní příčiny v průběhu let. Díky vytvořenému modelu, který zajišťuje propojení dat, můžeme data libovolně filtrovat. Na Obrázku 5.24 vidíme základní kategorie, podle kterých provádíme filtrování, přičemž pokud je kategorie tučným písmem a zvýrazněná šedě, indikuje to aktivní filtr. Tento seznam lze podle potřeby rozšířit o další kategorie filtrování.

Pro ilustraci bude uveden příklad. Pokud chceme zjistit roční příspěvky do SAIDI v rámci distribuční sítě, je potřeba udělat několik úprav filtrů. Do distribuční sítě řadíme distribuční kabely 22 kV a rozváděč 22 kV v distribučních transformačních stanicích. Distribuční kabely 22 kV je jednoduché vyfiltrovat, stačí nám k tomu upravit kategorii Podskupina technologického celku. V případě rozváděče 22 kV je nutné rozlišit, zda jde o transformační či rozpínací stanici. Pro tento účel přidáme k filtrům na této stránce kategorii technologický celek. Takto získáme informaci o příspěvcích distribuční sítě PREDistribuce do ukazatele SAIDI⁴.



Obrázek 5.25 Ukázka filtrování - distribuční síť

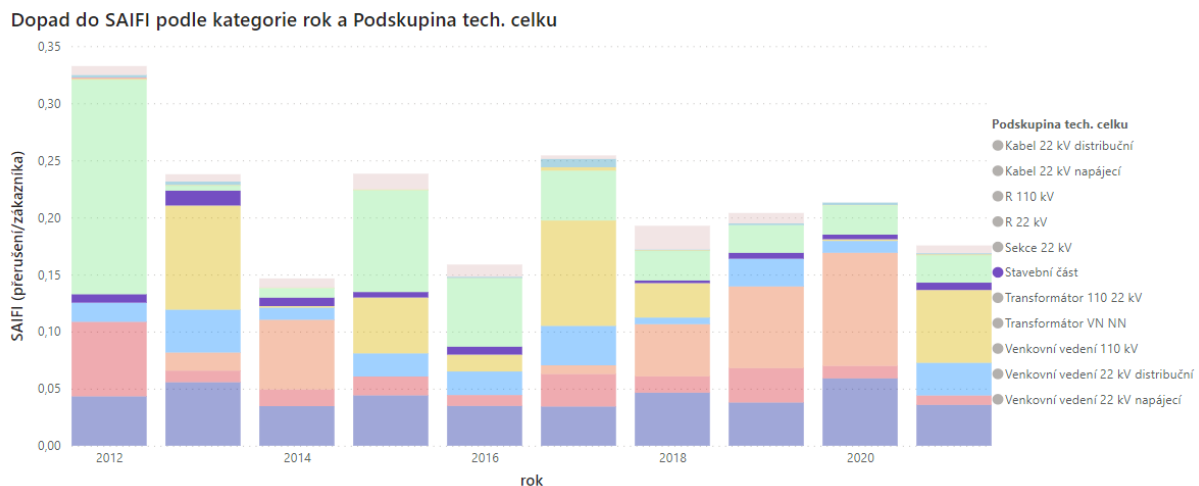
Nastavení filtrů je tedy následující – v podskupině technologického celku je potřeba zaškrtnout pole pro Kabel 22 kV distribuční a R 22 kV, v kategorii technologického celku označíme prvky TS a Vedení. Posledním aktivním filtrem je kategorie Typ události, který můžeme podle potřeby měnit. Nastavení filtrů je patrné z následujícího obrázku.

⁴ Díky defaultnímu nastavení Typu události na kategorii 11 jde ve skutečnosti o příspěvky do SAIDI_Q.



Obrázek 5.26 Ukázka filtrování - nastavení filtrů

V Power BI obecně také platí, že podle toho, jak vyfiltrujeme jeden vizuál, vyfiltrují se také všechny ostatní vizuály na této stránce. Pokud nám stačí informace o příspěvku určité podskupiny technologického celku v kontextu ostatních podskupin, můžeme využít filtrování přímo ve vizuálu. Stačí v pravé části vizuálu v legendě označit požadovanou podskupinu technologického celku, následně dojde ke zvýraznění této podskupiny v grafu a zároveň k vyfiltrování v tabulce se seznamem událostí. Pokud potřebujeme získat seznam všech událostí v dané podskupině technologického celku, je toto nejjednodušší způsob, jelikož tabulku lze vyexportovat v podobě souboru .csv.



Obrázek 5.27 Ukázka filtrování přímo ve vizuálu – příklad pro Stavební část

5.3.3. Oblasti TR

Posledním přehledem v nástroji je karta Oblasti TR. Přehled nabízí velmi podobné informace jako předešlá sestava Celkový přehled, v tomto případě však nejsou data dělena podle roku, nýbrž podle oblasti TR 110/22 kV, do které spadají. Můžeme si také všimnout, že vizuály na této stránce kombinují 3 zdroje dat – hodnotu příspěvku do jednotlivých ukazatelů

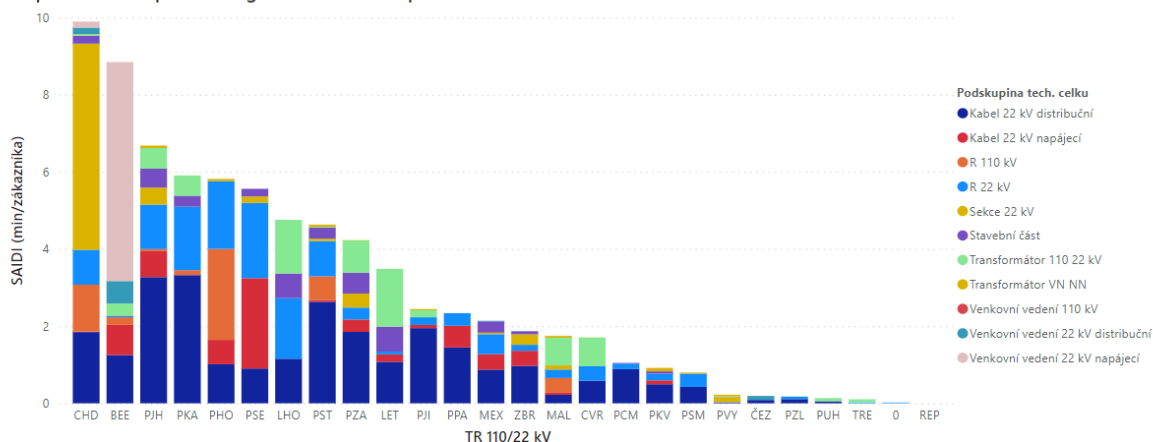
z výkazů pro ERÚ, zařazení do podskupiny technologického celku ze zatříděných dat a informací o oblasti TR 110/22 kV z původního dokumentu poruchovostní komise.

Oblasti TR

podle SAIDI

podle SAIFI

Dopad do SAIDI podle kategorie rok a Podskupina tech. celku



SAP	Datum	Podskupina tech. celku	Technologie	Postiženézařízení	TR 110/22 kV	Příčina události	dopad do SAIDI
10600875	12.10.2020	R 110 kV	Ochrana	K 109	PHO	Ztráta komunikace/chybná komunikace	2,36
10419745	28.05.2017	Sekce 22 kV	Přístrojový transformátor a měnič	TR 9907	CHD	Chybná technologie	2,04
10456912	14.01.2018	Kabel 22 kV distribuční	Kabel	1139-1926	PKA	Nezjištěna/nelze určit	2,00
10213790	23.09.2012	Kabel 22 kV napájecí	Kabel	9901-2480	PSE	Chybná technologie	1,87
10427114	23.06.2017	Sekce 22 kV	Přístrojový	TR 9907	CHD	Chybná technologie	1,73

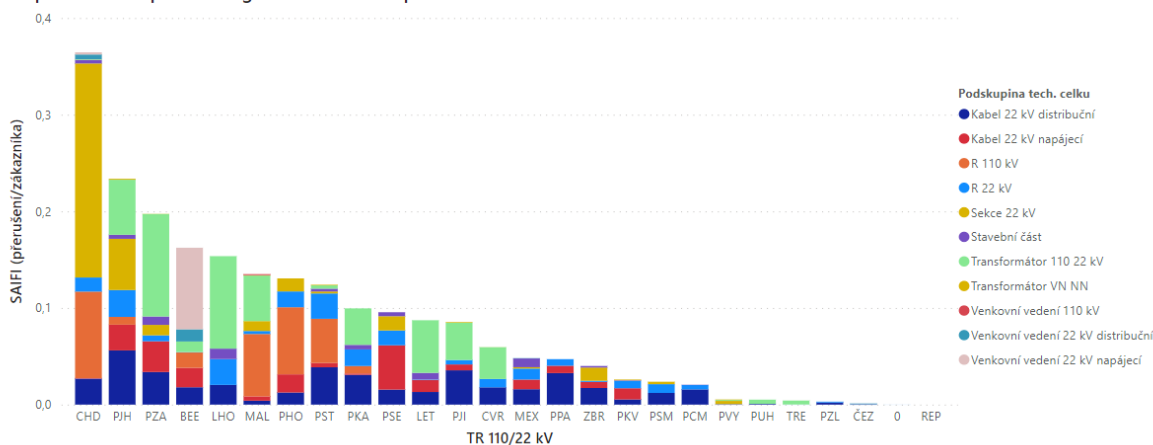
Obrázek 5.28 Vzhled karty Oblasti TR - podle SAIDI

Oblasti TR

podle SAIDI

podle SAIFI

Dopad do SAIFI podle kategorie rok a Podskupina tech. celku



SAP	Datum	Podskupina tech. celku	Technologie	Postiženézařízení	TR 110/22 kV	Příčina události	dopad do SAIFI
10600875	12.10.2020	R 110 kV	Ochrana	K 109	PHO	Ztráta komunikace/chybná komunikace	0,07
10247737	23.07.2013	Sekce 22 kV	Přístrojový transformátor a měnič	T 103	CHD	Chybná technologie	0,05
10203152	13.03.2012	Transformátor 110 22 kV	Svodiče a uzemnění	T 101	LET	Lidský faktor	0,05
10558920	26.11.2019	R 110 kV	Izolátor	TR 9907	CHD	Prěskok	0,05
10638526	09.09.2021	Sekce 22 kV	Přístrojový	T 103	PJH	Chybná technologie	0,05

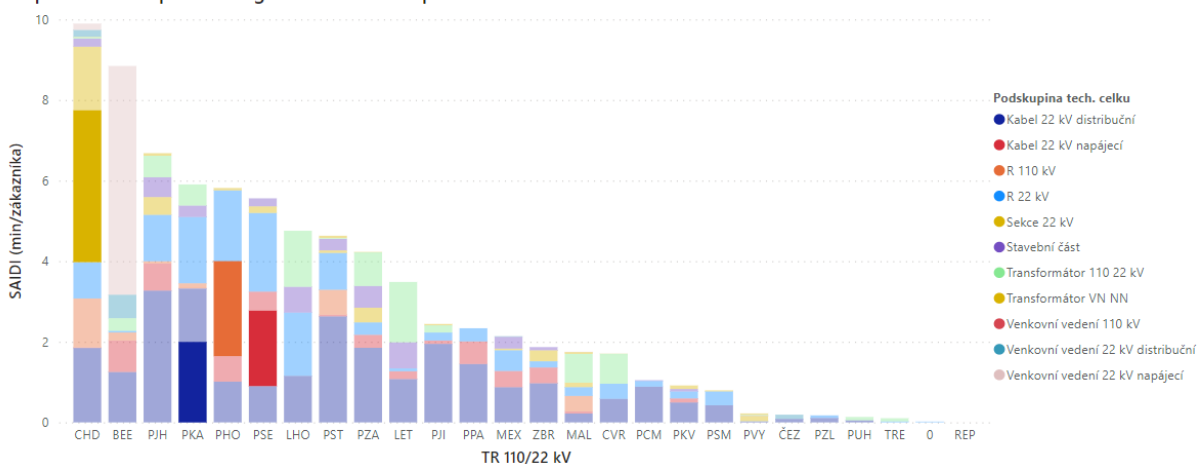
Obrázek 5.29 Vzhled karty Oblasti TR - podle SAIFI

Podobně jako předchozí přehled obsahuje stránka tlačítka, pomocí kterých volíme, zda se zobrazí ukazatel SAIDI nebo SAIFI. Rovněž jde o sloupcový skládaný graf, který je dělen podle podskupin technologických celků. Pod grafem se nachází tabulka se seznamem právě zobrazených událostí a detailnějšími informacemi o událostech. I pro tento vizuál platí stejná

pravidla filtrování jako v případě přehledu Celkový přehled. Můžeme využít filtrování přímo v grafu nebo filtrování pomocí kategorií v záložce Filtry. Přehled má také stejné defaultní nastavení filtrů, tj. Typ události je kategorie č. 11 a podskupiny technologických celků jsou bez nezařazených událostí, kabelu 0,4 kV atd.

Tato karta slouží především k lokalizaci určitých slabých míst sítě PREDistribuce. Pomocí tabulky můžeme určit, zda šlo v dané oblasti o mimořádnou událost, nebo jde o častější poruchy, které mohou v některých případech signalizovat problém v oblasti. Můžeme využít propojení filtrování vizuálů na stránce a označit 5 událostí s největším dopadem do SAIDI v tabulce. Pozorujeme například, že hned 2 z těchto událostí se staly v sekci 22 kV v transformovně Chodov a v obou případech šlo o vadný přístrojový transformátor nebo měnič.

Dopad do SAIDI podle kategorie rok a Podskupina tech. celku



Obrázek 5.30 Označení 5 událostí s největším příspěvkem do SAIDI - graf

SAP	Datum	Podskupina tech. celku	Technologie	Postižené zařízení	TR 110/22 kV	Příčina události	dopad do SAIDI
10600875	12.10.2020	R 110 kV	Ochrana	K 109	PHO	Ztráta komunikace/chybná komunikace	2,36
10419745	28.05.2017	Sekce 22 kV	Přístrojový transformátor a měnič	TR 9907	CHD	Chybná technologie	2,04
10456912	14.01.2018	Kabel 22 kV distribuční	Kabel	1139-1926	PKA	Nezjištěna/nelze určit	2,00
10213790	23.09.2012	Kabel 22 kV napájecí	Kabel	9901-2480	PSE	Chybná technologie	1,87
10427114	23.06.2017	Sekce 22 kV	Přístrojový transformátor a měnič	TR 9907	CHD	Chybná technologie	1,73

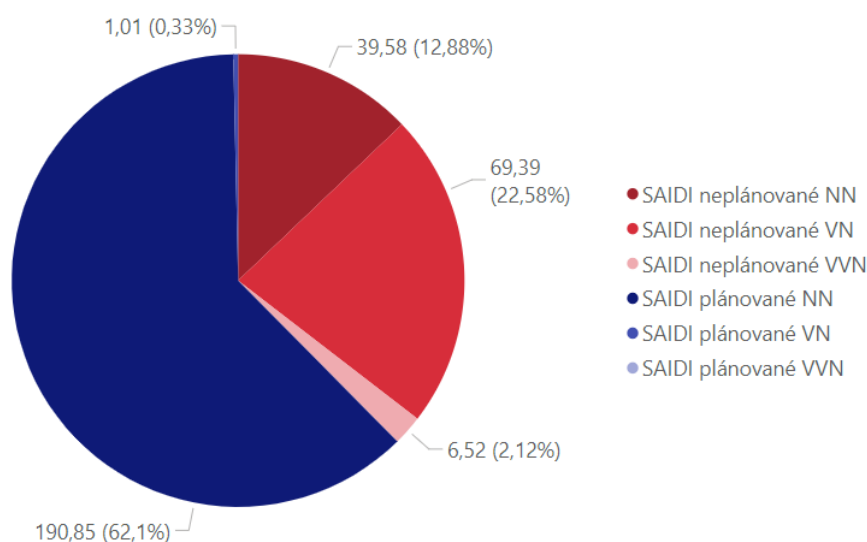
Obrázek 5.31 Označení 5 událostí s největším dopadem do SAIDI - tabulka

6. Návrh opatření pro posílení spolehlivosti

Společnost PREdistribuce v současnosti aplikuje hned několik opatření pro zvýšení spolehlivosti dodávek elektřiny. Používá klasická technická opatření jako je automatický záskok nebo implementace tzv. chytrých distribučních stanic, které jsou dálkově ovládané. Zároveň používá i analytické nástroje založené na statistice, které spočívají v určení míry rizika poruchy pro určitá zařízení. Nástroj vytvořený v rámci této práce by měl zlepšit přehled provozovatele o vývoji komponenty Q jako nejdůležitějšího ukazatele z pohledu PDS. Dále by měl zprostředkovat podrobné informace o dění v síti PREdistribuce za posledních 10 let a pomoci při rozhodování o akcích spojených s asset managementem⁵. Společnost PREdistribuce tedy podniká aktivní kroky ke zlepšení ukazatelů spolehlivosti a plnění cílů daných Energetickým regulačním úřadem.

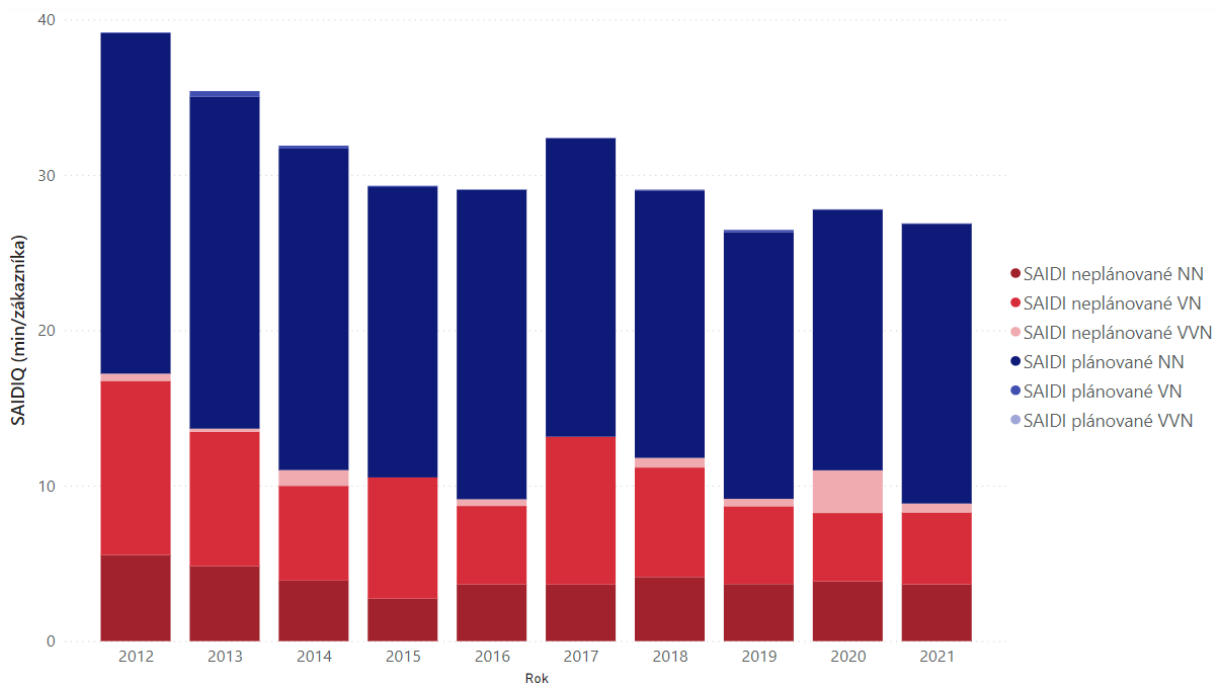
V této kapitole nástroj použijeme k nalezení možností posílení spolehlivosti, přičemž nástroj se zaměřuje na poruchové události hladiny VN a VVN. Chceme-li navrhnout opatření pro posílení spolehlivosti, je důležité nejprve určit vliv těchto událostí na komponentu Q. Ve vytvořených grafikách jsou modře označeny plánované události a červeně neplánované události. Napětíové hladiny jsou potom rozlišeny odstínem dané barvy.

Z vytvořených grafů plyne, že plánovaná přerušení za posledních 10 let tvořila více než 60 % příspěvku do ukazatele SAIDI_Q. Tento fakt vyplývá z toho, že plánovaná přerušení obvykle postihnou pouze malé množství zákazníků, ale mohou trvat i několik hodin. Pokud dojde k poruše zařízení na napětíových hladinách VVN a VN, obvykle je výpadkem postihnuto velké množství zákazníků, avšak zároveň se provozovatelé snaží o co nejrychlejší ukončení přerušení. Navíc na napětíových hladinách VN a VVN mají provozovatelé k dispozici opatření jako například již zmíněný automatický záskok nebo dálkové ovládání stanic. Tato opatření jim pomáhají délku bezproudí zkracovat, tj. minimalizovat dopad přerušení do SAIDI_Q.



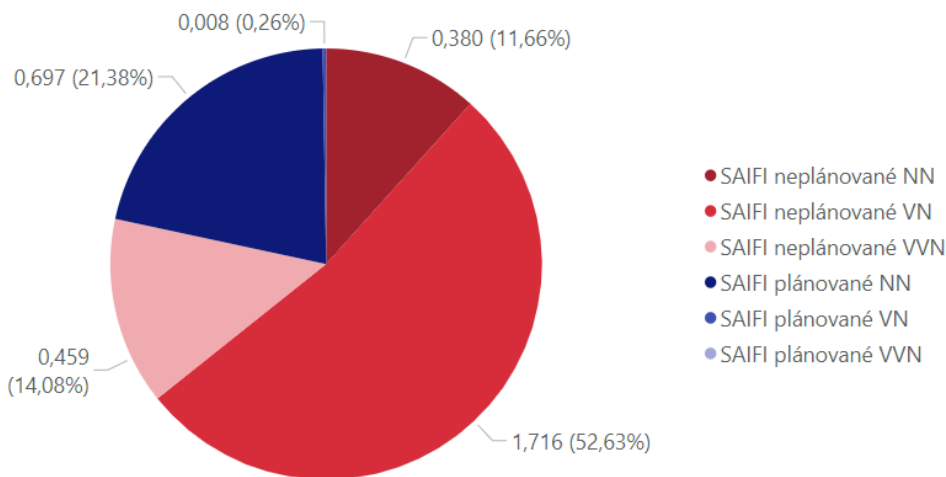
Obrázek 6.1 Podíl jednotlivých úrovní napětí a typů přerušení na ukazateli SAIDI_Q za posledních 10 let

⁵ Asset management, tj. správa majetku, se zabývá procesem pořizování, provozování, údržby, obnovy a vyřazování majetku společnosti, snaží se o minimalizaci souvisejících nákladů a rizik. [38]

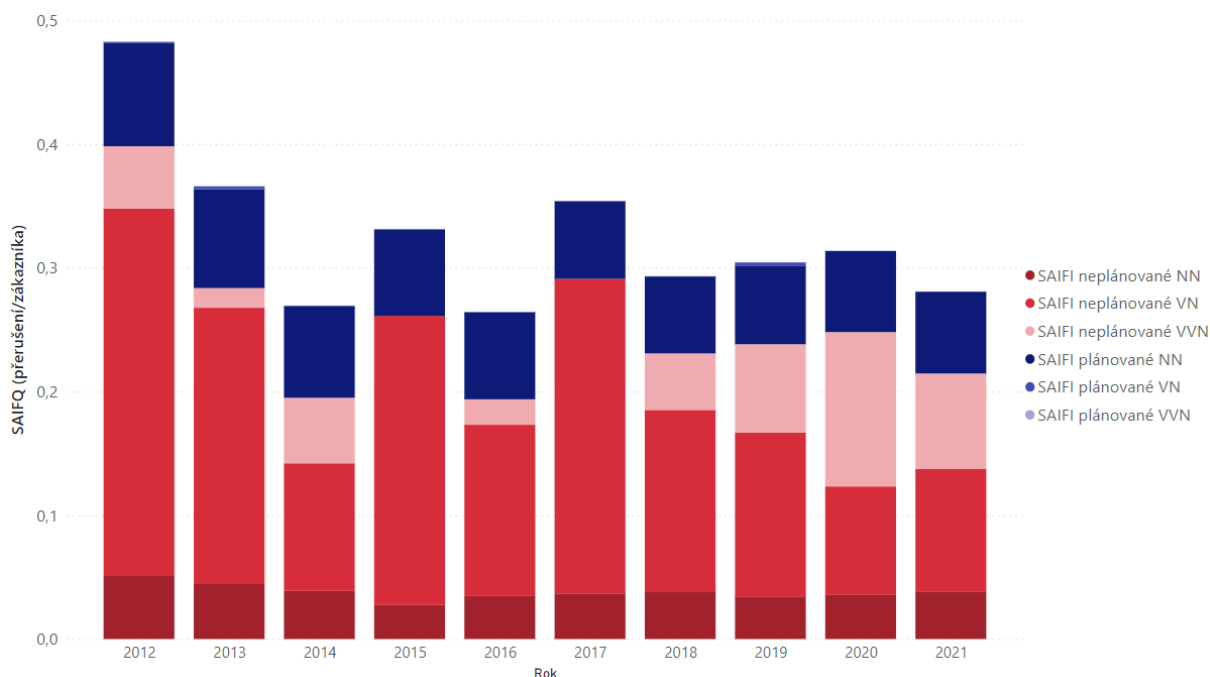


Obrázek 6.2 Vývoj ukazatele SAIDI_Q a podíl přerušení podle napěťové hladiny a typu přerušení

U ukazatele SAIFI_Q je situace odlišná, více než 50 % tvoří neplánované události na hladině VN. Celkem tvoří neplánované události více než 75 % ukazatele SAIFI_Q. Z uvedených grafů je také zřejmé, že v posledních letech jsou příspěvky od napěťové hladiny NN víceméně konstantní, a to nejen v případě přerušení plánovaných, ale i neplánovaných. Příspěvky od hladiny VN a VVN vykazují o poznání větší rozptyl.



Obrázek 6.3 Podíl jednotlivých úrovní napětí a typů přerušení na ukazateli SAIFI_Q za posledních 10 let



Obrázek 6.4 Vývoj ukazatele SAIFI_Q a podíl přerušení podle napěťové hladiny a typu přerušení

Z uvedených grafů plyne, že má smysl se poruchami na hladině vysokého a velmi vysokého napětí zabývat. Grafiky také napovídají, že pokud chceme pomocí nástroje nalézt opatření na posílení spolehlivosti, největší dopad budou mít opatření týkající se ukazatele SAIFI_Q. Zároveň je nutné v rámci posilování spolehlivosti neopomíjet také hladinu nízkého napětí a plánované poruchy, což však již není předmětem této práce.

6.1. Identifikace možných opatření

Pro identifikaci opatření pro posílení spolehlivosti sítě je nutné se na strukturu ukazatelů SAIDI_Q a SAIFI_Q podívat z několika úhlů. Prvním krokem je vytipování segmentů sítě s největšími příspěvky do komponenty Q a tuto problematiku je potřeba hodnotit hned v několika úrovních. Pokud zkoumáme strukturu ukazatelů spolehlivosti v úrovni technologie, musíme mít na paměti, že se daná technologie může nacházet v několika podskupinách technologických celků. Jako příklad lze uvést izolátor. Jde o technologii s poměrně velkým příspěvkem do komponenty Q, avšak nachází se téměř ve všech podskupinách technologických celků. Nalézt efektivní a ekonomicky smysluplné opatření týkající se celé skupiny technologie Izolátor by tedy bylo velmi obtížné. Pokud zkoumáme strukturu z pohledu podskupin technologických celků, musíme brát v úvahu složitost těchto skupin. Skupina Transformátor 110/22 kV má sice největší příspěvek do SAIFI_Q, nicméně obsahuje velké množství technologií, což je potřeba zohlednit v dalších úvahách.

V dalším postupu je důležité ověřit, zda jde o ojedinělý jev, který má sice nadprůměrný příspěvek, ale nastane jednou za deset let, nebo jde o opakující se poruchu. Tuto skutečnost můžeme jednoduše ověřit v již vytvořeném přehledu, konkrétně v kartě *Celkový přehled*. Pomocí tohoto přehledu můžeme také zhodnotit vývoj daného typu poruch v průběhu let. Pokud k danému typu události v posledních několika letech nedošlo, je pravděpodobné, že jde o již vyřešený problém. Pro analýzu můžeme rovněž využít druhou kartu přehledu – *Oblasti TR*, pomocí které lze lokalizovat potenciálně problematická místa distribuční soustavy.

V posledním kroku analýzy se soustředíme na rozlišení příčin poruch. Při volbě opatření je třeba rozlišit, na jaké události má provozovatel distribuční soustavy prakticky vliv a je možné je skutečně eliminovat. V případě chybné technologie je nutné zvážit vliv na komponentu Q a zda jde o nestandardní události. Poruchovost prvků můžeme pouze minimalizovat volbou výrobce a typu, což dává ekonomicky smysl jen v několika konkrétních případech.

Vzhledem k počtu grafik potřebných k nalezení segmentů sítě s potenciálním prostorem pro zlepšení spolehlivosti byla pro přehlednost práce vytvořena Příloha A. Zároveň je však důležité podotknout, že samotná práce s grafy ve vytvořeném nástroji je velice jednoduchá a ve většině grafik jde o jeden vizuál s různě nastavenými filtry. Jinými slovy není třeba vytvářet pro každou variantu nový graf.

Na základě této prvotní analýzy byly identifikovány následující segmenty sítě s potenciálem opatření pro posílení spolehlivosti:

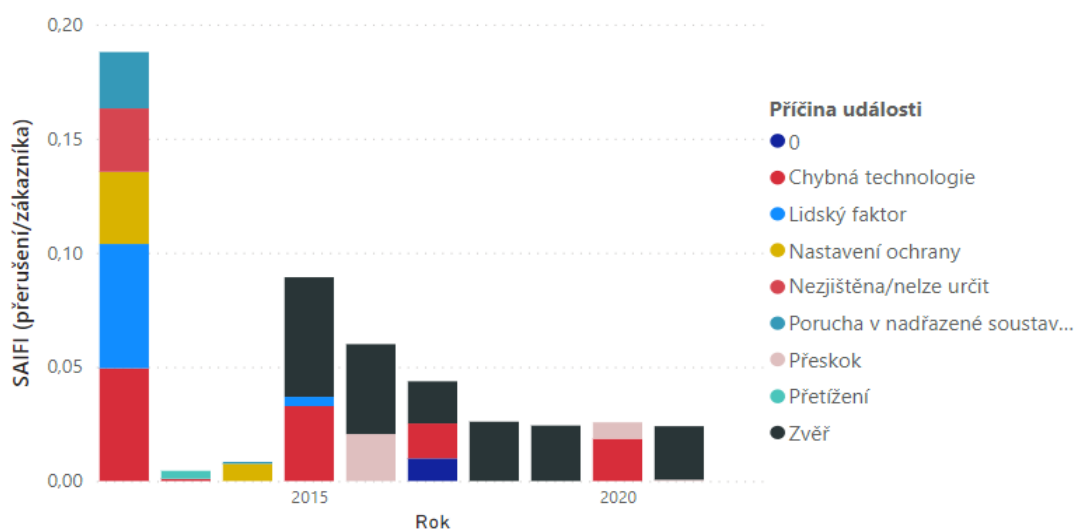
- **Kabel 22 kV – nahrazení olejových kabelů**

Z vytvořených grafů v nástroji vyplývá, že napájecí a distribuční kabely 22 kV mají každoročně poměrně velký příspěvek do obou ukazatelů spolehlivosti. V posledních 10 letech tvořila kabelová vedení 29,5 % příspěvku do ukazatele SAIFI_Q a 43,6 % ukazatele SAIDI_Q, viz Příloha A. Jde o segment sítě, který představuje největší potenciál pro posílení spolehlivosti.

V současnosti se v síti PREDistribuce nachází dva hlavní druhy kabelů – s PILC izolací (tzv. olejové) a s XLPE izolací. Izolaci PILC kabelů tvoří olejem impregnovaný papír, oproti tomu XLPE kabely mají izolaci ze zesíťovaného polyetyleny. Jedním z opatření, jak posílit spolehlivost sítě, je nahrazení olejových kabelů těmi ze zesíťovaného polyetyleny vzhledem k jejich lepšímu technickým vlastnostem. Toto opatření je v současné době již aktivně uplatňované a PILC kabely jsou postupně nahrazovány těmi s XLPE izolací.

- **Transformátor 22/110 kV – minimalizace přerušeni způsobených zvěří**

Transformátor 110/22 kV má z pohledu podskupin technologických celků největší podíl na ukazateli SAIFI_Q⁶ s necelými 23 %. Pakliže se podíváme na příčiny těchto událostí s dopadem do komponenty Q, na prvním místě se nachází události způsobené zvěří. Z následujícího grafu také vyplývá, že v posledních několika letech jde o opakující se událost.



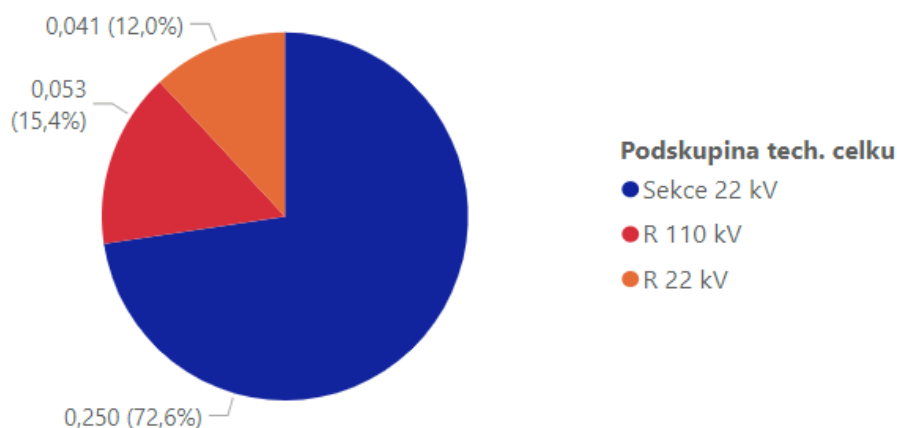
Obrázek 6.5 Příspěvky podskupiny Transformátor 110/22 kV do SAIFI_Q dle příčiny události

⁶ Pokud oddělujeme příspěvky od distribučních a napájecích kabelů

Z tohoto důvodu bylo zařazeno opatření, které by tyto události mohlo minimalizovat, čímž je izolace vývodu 22 kV.

- **Sekce 22 kV – poruchy přístrojových transformátorů**

Z pohledu technologie mají druhý největší příspěvek do ukazatelů SAIDI_Q a SAIFI_Q přístrojové transformátory, konkrétně je to 11,5 % v případě SAIDI_Q a 15,9 % v případě SAIFI_Q. Samozřejmě je třeba rozlišit, kde se přístrojový transformátor nachází, zda v R 110 kV, sekci 22 kV nebo R 22 kV.



Obrázek 6.6 Příspěvek poruch přístrojových transformátorů do ukazatele SAIFI_Q dle umístění

Přístrojové transformátory v sekcích 22 kV tvoří téměř tři čtvrtiny celkového příspěvku do ukazatele SAIFI_Q a této technologii by se tedy mělo týkat opatření posílení spolehlivosti sítě.

- **Venkovní vedení 22 kV – kabelizace vedení v oblasti TR Běchovice**

Toto opatření bylo identifikováno na základě vytvořeného přehledu v rámci kapitoly 5.3. V oblasti TR Běchovice dochází velmi často k výpadkům venkovního vedení a jedním z možných řešení je jeho kabelizace. Vliv poruch venkovního vedení 22 kV v oblasti Běchovic dobře ilustruje Obrázek 5.28 a Obrázek 5.29.

- **Kabel 22 kV – nahrazení spojek Barnier**

Dalším opatřením se týká spojek typu Barnier (BA), které mají vyšší poruchovost než ostatní typy spojek. Toto opatření neplyne přímo z navrženého nástroje, ale bylo do vyhodnocení zařazeno na základě konzultací se zaměstnanci PREdistribuce.

7. Vyhodnocení opatření

Vyhodnocení opatření provádíme tak, že pro každé opatření stanovíme průměrný roční příspěvek do komponenty Q, z čehož následně určíme, kolik procent tvoří tento příspěvek z průměrné hodnoty komponenty Q. Pomocí vytvořeného nástroje byly určeny tyto průměrné roční hodnoty SAIDI_Q a SAIFI_Q jako aritmetický průměr dosažených hodnot za posledních 10 let.

Průměrné SAIFI _Q (přeruš./zákazníka)	0,309
Průměrné SAIDI _Q (min/zákazníka)	29,8

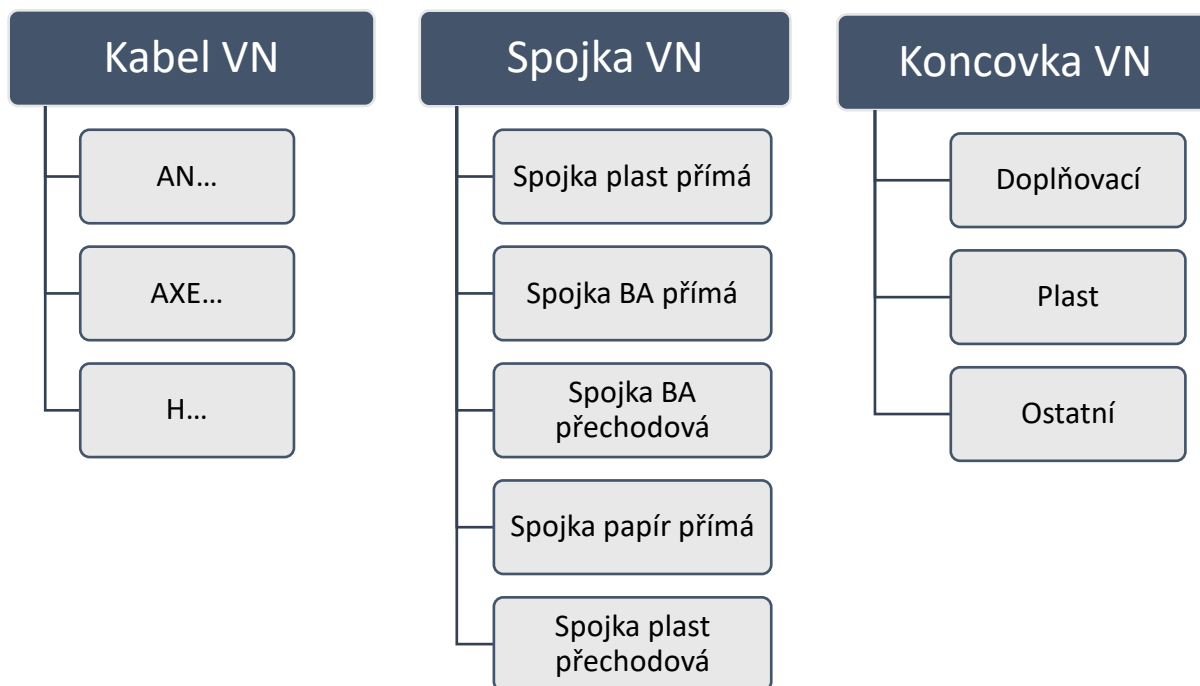
Tabulka 7.1 Průměrné hodnoty ukazatelů SAIDI_Q a SAIFI_Q za posledních 10 let

Z dosažených hodnot ukazatelů komponenty Q v průběhu let (Obrázek 6.2 a Obrázek 6.4) je jasně viditelné, že oproti stanovené průměrné hodnotě vykazují velký rozptyl. V tomto případě je však průměrná hodnota použita spíše jako referenční a umožňuje porovnávat vliv jednotlivých opatření.

Je zřejmé, že příspěvky od událostí typu chybná technologie nikdy nebude možné eliminovat úplně a vypočítané průměrné roční příspěvky spíše vyjadřují, jak velkému příspěvku šlo teoreticky zavedením opatření předejít.

7.1. Nahrazení olejových kabelů

Aby bylo možné v nástroji analyzovat vliv jednotlivých druhů kabelů, do modelu byl připojen soubor s veškerými poruchami kabelových vedení za posledních 10 let a k nim připojená kategorie technologie. Tento soubor byl poskytnut společností PREdistribuce. Soubor obsahuje veškeré poruchy kabelů, spojek a koncovek, které dělí do následujících kategorií:



Obrázek 7.1 Kategorie VN kabelů, spojek a koncovek, převzato z [37]

Kategorie prvků kabelové sítě jsou sestaveny tak, aby si zařazené typy technologií byly co nejvíce technologicky a poruchovostně podobné. V současnosti se v síti PREdistribuce nachází

přes 40 typů kabelů, které jsou zaříděny do kategorií AN, AXE a H, přičemž toto rozřídění je uvedeno v Příloze B. Kategorie H jsou nejstarší typy olejových kabelů, kategorie AN představuje novější typ olejových kabelů a kabely s XLPE izolací spadají do kategorie AXE. Pro tyto kategorie také společnost PREdistribuce poskytla potřebné údaje, jako je pravděpodobnost poruchy prvku pp, počet daného typu prvku v síti nebo délky jednotlivých kategorií kabelů v síti.

Společnosti PREdistribuce poskytla následující údaje k jednotlivým kategoriím kabelů, spojek a koncovek.

	Průměr pp (poruch/km*rok)	Délky kabelů v roce 2021 (km)	Počet poruch (2012-2021)
AN	$84 \cdot 10^{-4}$	1389	146
AXE	$79 \cdot 10^{-5}$	2548	17
H	$13 \cdot 10^{-2}$	7	14

Tabulka 7.2 Informace o jednotlivých kategoriích kabelů VN

	Průměr pp (poruch/spojkoviště*rok)	Počet spjkovišť v roce 2021 (km)	Počet poruch (2012-2021)
Spojka plast přímá	$62 \cdot 10^{-6}$	7958	4
Spojka BA přímá	$13 \cdot 10^{-4}$	935	9
Spojka BA přech	$82 \cdot 10^{-4}$	702	90
Spojka papír přímá	$43 \cdot 10^{-5}$	6848	38
Spojka plast přechodová	$47 \cdot 10^{-5}$	5366	21

Tabulka 7.3 Informace o jednotlivých kategoriích spojek VN

	Průměr pp (poruch/koncovkoviště*rok)	Počet koncovkovišť v roce 2021 (km)	Počet poruch (2012-2021)
Koncovka doplňovací	$1 \cdot 10^{-3}$	2134	29
Koncovka plast	$12 \cdot 10^{-5}$	9409	10

Tabulka 7.4 Informace o jednotlivých kategoriích koncovek VN

Veličina pp je pravděpodobnost poruchy a ve společnosti PREdistribuce je používána jako veličina popisující poruchovost prvků kabelového vedení. Pravděpodobnost poruchy je pro každý prvek kabelového vedení definována jako počet poruch daného typu zařízení za rok dělený celkovým rozsahem provozovaného zařízení příslušného typu (km či ks) v daném roce. Z hodnot pp pro jednotlivé roky již můžeme určit průměr pp pro danou kategorii prvku. U kabelů VN pozorujeme, že nejstarší typ kabelů kategorie H má o několik řádů vyšší pravděpodobnost poruchy, v síti se však nachází posledních 7 km. Naopak nejnižší poruchovost mají plastové kabely, kterých v síti přibývá. Mezi kategoriemi spojek mají o řád vyšší poruchovost spojky Barnier (BA), kterých je v síti poměrně malé množství. Pravděpodobnost poruchy plastové koncovky je menší než pravděpodobnost poruchy staršího typu doplňovacích koncovek. Jak již bylo zmíněno, opatření nahrazování olejových kabelů je v současné době aktivně uplatňováno a poměr olejových a XLPE kabelů v síti se v průběhu let mění. Proto počítáme se stavem v roce 2021 a podle toho také počítáme náklady na nahrazení zbývajících délek olejových kabelů.

	Příspěvek do SAIFI _Q 2012-2021 (přeruš./zákazníka)	Průměrný příspěvek dSAIFI _Q (přeruš./poruchu *zákazníka)	Příspěvek do SAIDI _Q 2012-2021 (min/zákazníka)	Průměrný příspěvek dSAIDI _Q (min/poruchu *zákazníka)
AN	0,2700	0,0018	12,667	0,087
AXE	0,0150	0,0009	0,501	0,029
H	0,0184	0,0013	0,977	0,070
Spojka plast přímá	0,0100	0,0025	0,316	0,079
Spojka BA přímá	0,0330	0,0037	1,117	0,124
Spojka BA přech	0,1487	0,0017	9,379	0,104
Spojka papír přímá	0,0347	0,0009	1,937	0,051
Spojka plast přechodová	0,0332	0,0016	1,987	0,095
Koncovka doplňovací	0,0271	0,0009	1,252	0,043
Koncovka plast	0,0162	0,0016	0,853	0,085

Tabulka 7.5 Příspěvky jednotlivých typů prvků do komponenty Q za roky 2012-2021 a vypočítané průměrné příspěvky na jednu poruchu

V prvním kroku výpočtu nejprve určíme průměrný roční příspěvek, pokud by došlo k nahrazení všech olejových kabelů. Po nahrazení olejových kabelů se v síti budou nacházet pouze kabely kategorie AXE, spojky kategorie spojka plast přímá a koncovky kategorie plast. Výslednou délku kabelového vedení a počty spojkovišť a koncovkovišť získáme součtem délek, resp. počtů, jednotlivých kategorií. Tento výpočet vychází z několika předpokladů. Při úplném nahrazení olejových kabelů je zachována celková délka kabelového vedení, počet koncovkovišť i počet spojkovišť. Ve skutečnosti bude počet spojkovišť o něco nižší, jelikož několikrát opravované úseky s mnoha spojkovišti se nahradí novým spojeným úsekem XLPE kabelu. Zanedbáme také, že v síti zůstane malý počet přímých spojek Barnier na XLPE kabelech, u kterých ve výpočtu uvažujeme pp přímě spojky plast. Poněvadž jsme si předchozím předpokladem o počtu spojkovišť vytvořili určitou rezervu ve výsledném příspěvku do ukazatelů, můžeme toto zjednodušení použít.

Z těchto údajů můžeme určit průměrný počet poruch za rok, jelikož známe průměr pp pro všechny kategorie prvků. Pomocí nástroje v Power BI určíme příspěvky do komponenty Q od každého z typu prvku. Protože známe počet poruch za roky 2012-2021, můžeme také určit průměrný příspěvek do ukazatelů spolehlivosti za jednu poruchu daného typu prvku. Odtud už můžeme určit předpokládaný průměrný roční příspěvek kabelového vedení do komponenty Q po nahrazení olejových kabelů. Výsledná hodnota předpokládaného ročního příspěvku do SAIFI_Q je 0,0084 přerušení/zákazníka a do ukazatele SAIDI_Q 0,32 min/zákazníka.

	Délka kabelů (km) / Počet spojkovišť / Počet koncovkovišť	Průměrný počet poruch (poruch/rok)	Průměrný roční příspěvek do SAIFI _Q (přeruš./rok)	Průměrný roční příspěvek do SAIDI _Q (min/rok)
Kabely VN	3944	3,1	0,0027	0,091
Spojkoviště VN	21809	1,4	0,0034	0,107
Koncovkoviště VN	11543	1,4	0,0022	0,118
Celkem:			0,0084	0,317

Tabulka 7.6 Hodnoty pro určení průměrného příspěvku do komponenty Q po nahrazení olejových kabelů

Příklady výpočtu pro kabely VN jsou následující (výpočet pro spojky a koncovky je obdobný):

$$\text{Délka kabelů} = \text{délka}_{AN} + \text{délka}_{AXE} + \text{délka}_H = 1389 + 2548 + 7 \text{ km} = \mathbf{3944 \text{ km}}$$

$$\text{Průměrný počet poruch}_{kabely\ VN} = pp_{AXE} \cdot \text{Délka kabelů} = 0,000785167 \cdot 3944 \text{ poruch/rok} \\ = \mathbf{3,1 \text{ poruch/rok}}$$

$$\text{Prům. roční příspěvek do SAIFI}_{Q\ kabely\ VN} \\ = \text{průměrný počet poruch}_{kabely\ VN} \cdot \text{průměrný příspěvek } dSAIFI_{Q\ AXE} \\ = 3,1 \cdot 0,0009 \text{ přeruš./rok} = \mathbf{0,0027 \text{ přeruš./rok}}$$

V druhém kroku výpočtu určíme, jaký je současný příspěvek poruch kabelového vedení do komponenty Q. Průměrné roční příspěvky do komponenty Q vypočítáme jednoduše jako aritmetický průměr, tj. součet sloupce Příspěvek do SAIFI_Q 2012-2021 z Tabulky 7.5 vydělený počtem let v případě SAIFI_Q a obdobně v případě SAIDI_Q. Výsledné průměrné příspěvky poruch kabelového vedení do komponenty Q jsou následující - SAIFI_Q je 0,0606 přeruš./rok a SAIDI_Q je rovno 3,099 min/rok.

Posléze můžeme určit přínos tohoto opatření, který je rozdílem příspěvku do komponenty Q před opatřením a po opatření. Výsledné hodnoty se nachází v následující tabulce.

	Průměrný roční příspěvek v současnosti	Průměrný roční příspěvek po opatření	Přínos opatření	% komponenty Q
SAIFI _Q (přeruš./rok)	0,0606	0,0084	0,0523	16,9 %
SAIDI _Q (min/rok)	3,10	0,32	2,78	9,3 %

Tabulka 7.7 Přínos opatření nahrazení olejových kabelů

7.2. Přístrojové transformátory sekce 22 kV

V posledních letech docházelo k haváriím přístrojových transformátorů v sekci 22 kV hned v několika transformovnách. V posledních 10 letech došlo k 7 poruchám přístrojových transformátorů s dopadem do komponenty Q, z toho k 5 v TR Chodov. K ostatním dvěma poruchám došlo v roce 2014 v TR Měcholupy a v roce 2021 v TR Západ. Tyto události se dějí opakovaně a ve většině případů mají velký dopad do ukazatelů spolehlivosti. Havárie přístrojových transformátorů jsou tedy z pohledu provozovatele distribuční sítě velmi problematické.

Vzhledem k charakteru odběratelů, které TR Chodov napájí, bylo nutné k výměně přístrojových transformátorů přistoupit již v roce 2018, kdy došlo k výměně PTP a PTN v 1. a 2. sekci 22 kV. Celkem bylo vyměněno 90 ks PTP a 93 ks PTN, přičemž obnova se zaměřila na přístrojové transformátory určitého typu a stáří, které stanovila poruchovostní komise na základě analýzy havárií v TR Chodov.

Nahrazení přístrojových transformátorů sekce 22 kV v TR Chodov by mělo mít následující přínos:

	Průměrný roční příspěvek	% komponenty Q
SAIFI _Q (přeruš./rok)	0,0185	6,0 %
SAIDI _Q (min/rok)	0,51	1,7 %

Tabulka 7.8 Přínos opatření výměny přístrojových transformátorů v sekci 22 kV TR Chodov

Hodnota příspěvku přerušení způsobených poruchami přístrojových transformátorů v TR Chodov byla získána pomocí funkce filtrování ve vytvořeném nástroji pro analýzu poruch. Výsledný roční průměrný příspěvek byl potom vypočítán jako aritmetický průměr z hodnot za posledních 10 let.

7.3. Transformátory 110/22 kV – zvěř

Zvěři, která způsobuje výpadky transformátorů 110/22 kV, jsou kuny, které se dostanou k vývodům 22 kV a spojením fází způsobí zkrat. V některých případech dochází k výpadkům kvůli ptactvu, které se dostane na vývody transformátorů. Řešením výpadků způsobených kunami je izolace vývodů 22 kV.

K zavedení tohoto opatření lze přistupovat dvěma způsoby. V prvním případě uvažujeme příspěvek do komponenty Q, kterému se dalo opatřením předejít, tj. opatření aplikujeme pouze na problémové transformovny, ve kterých k událostem došlo. V druhém přístupu bychom se pomocí zavedeného opatření snažili úplně těmto typům událostí předcházet a opatření bychom aplikovali na všechny transformátory, ke kterým se kuny mohou teoreticky dostat. Výsledné hodnoty vlivu na komponentu Q budou stejné, změni se nám pouze náklady na zavedené opatření. V této práci byl po konzultaci s odborníky společnosti PREDistribuce zvolen první přístup. Z nástroje v Power BI vyplývá, že v letech 2012-2021 došlo celkem k 9 událostem tohoto typu, přičemž 6 s dopadem do komponenty Q. Postiženy byly transformovny: TR Západ, TR Lhotka, TR Jinonice, TR Východ, TR Jih a v těchto transformovnách uplatníme opatření izolace vývodů 22 kV. Celkem jde o 14 transformátorů.

Data o příspěvcích a příslušných transformovnách byla získána z nástroje vytvořeného v rámci této diplomové práce. Výsledné hodnoty jsou následující:

	Průměrný roční příspěvek	% komponenty Q
SAIFI _Q (přeruš./rok)	0,0114	3,7 %
SAIDI _Q (min/rok)	0,09	0,3 %

Tabulka 7.9 Přínos opatření izolace vývodů 22 kV

Za posledních 10 let došlo k výpadkům transformátorů kvůli ptactvu ve 4 případech, z toho 3 měly dopad do komponenty Q. K těmto 3 událostem došlo v transformovně TR Západ, čtvrtá událost bez dopadu proběhla v TR Běchovice. Opatření pro minimalizaci výpadků způsobených ptactvem se liší podle druhu stání, v některých případech je vhodné použít síť nad transformátorem. Dalším opatřením je využití bodáků tak, aby se ptactvu zamezilo sedat na trámy a jiné konstrukce ve stání transformátoru. Pokud by se podařilo minimalizovat výpadky transformátorů 110/22 kV vlivem zvěře obecně, tj. způsobené kunami i ptactvem, vliv na komponentu Q by byl následující:

	Průměrný roční příspěvek	% komponenty Q
SAIFI _Q (přeruš./rok)	0,0184	6,0 %
SAIDI _Q (min/rok)	0,12	0,4 %

Tabulka 7.10 Přínos minimalizace přerušení způsobených zvěří

7.4. Kabelizace vedení – Běchovice

Problém týkající se častých výpadků venkovního vedení, které vede z transformovny Běchovice, lze vyřešit kabelizací tohoto vedení. Kabelové vedení totiž nepodléhá přírodním vlivům, jako je vítr nebo vegetace ve vedení, což jsou nejčastější příčiny výpadků v této oblasti. Ve výpočtu předpokládáme, že venkovní vedení nahradíme kabelem typu AXE stejné délky. Ve skutečnosti bude kabelové vedení o něco delší, jelikož není možné ho vést přímo přes zemědělské pozemky, jako je tomu u venkovního vedení. Zároveň pro zjednodušení výpočtu zanedbáváme poruchy plastových spojek a koncovek. Vzhledem k malému počtu koncovek oproti délce kabelového vedení a o řád menší poruchovosti plastových spojek, považují tuto aproximaci za možnou.

Celkový příspěvek venkovního vedení vedoucího z TR Běchovice do komponenty Q za posledních 10 let získáme pomocí vytvořeného nástroje a vhodného filtrování. Dalším potřebným údajem je délka venkovního vedení, přičemž tento údaj poskytla společnost PREDistribuce. Základní údaje se nachází v následující tabulce.

SAIFI _Q 2012-2021 (přeruš/zákazníka)	0,096988
SAIDI _Q 2012-2021 (min/zákazníka)	6,25858
Počet poruch	99
Délka vedení (km)	86

Tabulka 7.11 Základní údaje týkající se opatření kabelizace Běchovic

Průměrný roční příspěvek do komponenty Q po kabelizaci určíme pomocí hodnoty pp kabelu typu AXE a průměrného příspěvku jedné poruchy tohoto typu kabelu, viz Tabulka 7.2 a Tabulka 7.5. Vzorec pro průměrný roční příspěvek do ukazatele SAIFI_Q po opatření je následující (výpočet pro ukazatel SAIDI_Q je obdobný):

$$dSAIFI_Q = pp_{AXE} \cdot \text{délka vedení} \cdot dSAIFI_Q \text{ na 1 poruchu}_{AXE}$$

Výsledné hodnoty pro opatření kabelizace venkovního vedení vedoucího z TR Běchovice se nachází v následující tabulce.

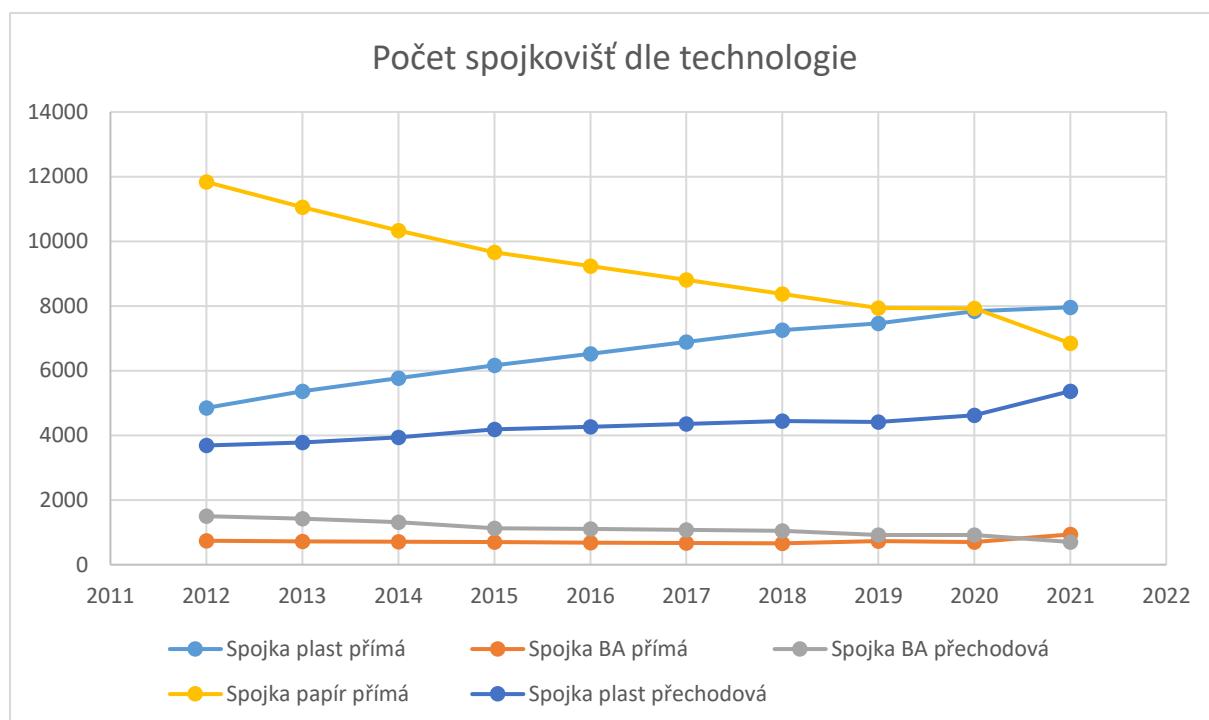
	Průměrný roční příspěvek v současnosti	Průměrný roční příspěvek po opatření	Přínos opatření	% komponenty Q
SAIFI _Q (přeruš./rok)	0,0097	0,0001	0,0096	3,1 %
SAIDI _Q (min/rok)	0,63	0,03	0,59	2,0 %

Tabulka 7.12 Přínos opatření kabelizace venkovního vedení z TR Běchovice

7.5. Nahrazení spojek Barnier

V případě tohoto opatření se postupuje podobným způsobem a využívají se stejné údaje, jako v případě nahrazení olejových kabelů. Pro výpočet tedy použijeme údaje poskytnuté společností PREDistribuce v Tabulce 7.3 a Tabulce 7.5. Podíl BA spojek v síti je patrný z následujícího obrázku. Zde můžeme také pozorovat vliv nahrazování olejových kabelů těmi s XLPE izolací, které se projevuje na snižování počtu spojek kategorie Spojka papír přímá a zvyšování počtu spojek typu Spojka plast přímá. Počet přechodových spojek Barnier v průběhu let klesá, zatímco počet přímých spojek Barnier v posledních letech dokonce mírně stoupá.

Tento nárůst je však způsoben pouze postupným zpřesňováním dat v systému GIS, nikoli skutečným zvyšováním počtu těchto spojek v síti.



Obrázek 7.2 Počet spojkovišť dle technologie v průběhu let podle dat společnosti PREdistribuce

V prvním kroku výpočtu určíme, jaký je průměrný roční příspěvek do komponenty Q způsobený poruchami spojek Barnier. Data pro tento výpočet získáme z vytvořeného nástroje v Power BI.

	Příspěvek do SAIFI _Q 2012-2021 (přeruš./zákazníka)	Průměrný roční příspěvek SAIFI _Q (přeruš./rok)	Příspěvek do SAIDI _Q 2012-2021 (min/zákazníka)	Průměrný roční příspěvek SAIDI _Q (min/rok)
BA přímá	0,0330	0,0033	1,117	0,112
BA přechodová	0,1487	0,0149	9,379	0,938

Tabulka 7.13 Současný průměrný roční příspěvek poruch spojek BA do komponenty Q

V druhém kroku vypočítáme, jaký bude předpokládaný roční příspěvek do komponenty Q po nahrazení spojek Barnier. Jelikož spojka BA přímá se může nacházet na XLPE i PILC kabelu, je nutné rozlišit, jakou spojkou ji nahradíme. Dle informací společnosti PREdistribuce bylo v roce 2018 60 % přímých spojek Barnier na kabelu s izolací ze zesíťovaného polyetylenu a zbývajících 40 % na olejovém kabelu. Předpokládáme tedy, že tento poměr byl zachován a počet spojkovišť v roce 2021 určíme pomocí tohoto poměru. Pro výpočet průměrného ročního příspěvku použijeme stejný postup jako v případě opatření nahrazování olejových kabelů, tj. nejprve určíme počet spojek, který je potřeba nahradit, tento počet vynásobíme pp příslušného typu spojek, čímž získáme předpokládaný průměrný počet poruch za rok. Pokud tento počet poruch vynásobíme průměrným příspěvkem do ukazatelů na jednu poruchu, dostaneme výsledný průměrný roční příspěvek do ukazatelů spolehlivosti po nahrazení všech spojek BA. V případě nahrazení spojek BA přímá XLPE použijeme pp

spojky plast přímá, pro spojku BA přímá PILC počítáme s pp spojky papír přímá a spojku BA přechodová nahrazujeme spojkou plast přechodová, jejíž pp použijeme ve výpočtu.

	Počet spojko­višť	Průměrný počet poruch (poruch/rok)	Průměrný roční příspěvek do SAIFI _Q (přeruš./rok)	Průměrný roční příspěvek do SAIDI _Q (min/rok)
BA přímá XLPE	561	0,035	0,000088	0,0028
BA přímá PILC	374	0,159	0,000145	0,0081
BA přechodová	702	0,330	0,000522	0,0312
Celkem:			0,000755	0,0421

Tabulka 7.14 Hodnoty pro určení průměrného příspěvku do komponenty Q po nahrazení spojek BA

Výsledné hodnoty pro opatření posílení spolehlivosti se nachází v následující tabulce. Přínos opatření je rovný rozdílu průměrných ročních příspěvků před opatřením a po opatření.

	Průměrný roční příspěvek v současnosti	Průměrný roční příspěvek po opatření	Přínos opatření	% komponenty Q
SAIFI _Q (přeruš./rok)	0,0182	0,0008	0,0174	5,6 %
SAIDI _Q (min/rok)	1,05	0,04	1,01	3,4 %

Tabulka 7.15 Přínos opatření nahrazení spojek Barnier

7.6. Odhad nákladů na opatření

V následující tabulce jsou porovnávána všechna opatření vzhledem k jejich vlivu na komponentu Q. Vidíme, že největší vliv má opatření nahrazení olejových kabelů, nejmenší naopak kabelizace venkovního vedení v oblasti Běchovic. Je zřejmé, že jednotlivá opatření musíme porovnávat také z hlediska jejich rozsahu, náročnosti na provedení a v neposlední řadě také dle nákladů na jejich provedení. Opatření nahrazení olejových kabelů je v tabulkách uvedeno zvlášť, jelikož se jedná o probíhající opatření a slouží tedy jako referenční varianta pro hodnocení ostatních opatření.

	Průměrný roční příspěvek do SAIFI _Q (přeruš./zákazníka)	% SAIFI _Q	Průměrný roční příspěvek do SAIDI _Q (min/zákazníka)	% SAIDI _Q
Přístrojové transformátory sekce 22 kV TR Chodov	0,0185	6,0 %	0,51	1,7 %
Transformátor 110/22 kV – kuny	0,0114	3,7 %	0,09	0,3 %
Transformátor 110/22 kV – kuny i ptactvo	0,0184	6,0 %	0,12	0,4 %
Kabelizace vedení – Běchovice	0,0096	3,1 %	0,59	2,0 %
Nahrazení spojek BA	0,0174	5,6 %	1,01	3,4 %
Nahrazení olejových kabelů	0,0523	16,9 %	2,78	9,3 %

Tabulka 7.16 Porovnání opatření dle vlivu na komponentu Q

Veškeré měrné náklady byly poskytnuty společností PREdistribuce a jedná se o orientační hodnoty. Měrné náklady na kabelizaci venkovního vedení jsou menší než měrné náklady na nahrazení olejových kabelů zejména proto, že venkovní vedení se nachází v méně náročném terénu. V případě již proběhlého opatření výměny přístrojových transformátorů v TR Chodov byly použity měrné náklady v současných cenách, které jsou v případě těchto zařízení dle odborníků společnosti PREdistribuce až o 100 % vyšší oproti roku 2018. Celkové náklady na opatření tedy byly ve skutečnosti o poznání nižší, současné ceny jsou však použity proto, abychom mohli opatření porovnávat s ostatními variantami.

Opatření	Měrné náklady	Délka/počet kusů nahrazené technologie	Náklady (mil. Kč)
Výměna přístrojových transformátorů	29,9 tis Kč/PT	90 PTP a 93 PTN	5,5
Izolace vývodu 22 kV	350 tis. Kč/vývod	14 transformátorů	4,9
Kabelizace venkovního vedení	5400 Kč/m	86 km	464
Nahrazení spojek BA	170 tis. Kč/spojku	2238 ks	380
Nahrazení olejových kabelů	6440 Kč/m	1396 km	8990

Tabulka 7.17 Přehled měrných nákladů a celkových nákladů pro jednotlivá opatření

Z tabulek vyplývá, že nahrazení olejových kabelů má sice ze všech opatření největší vliv, avšak vzhledem k rozsahu opatření se náklady blíží 9 miliardám Kč. Srovnatelné, co se týče nákladů, jsou opatření výměny spojek Barnier a kabelizace venkovního vedení v oblasti Běchovic. Z předešlých podkapitol však vyplývá, že opatření nahrazení spojek BA by mělo výrazně větší vliv na komponentu Q. Podobné srovnání můžeme provést také pro výměnu přístrojových transformátorů a izolaci vývodu 22 kV. V tomto případě je dražší a zároveň dle výpočtu méně účinné opatření izolace vývodu u transformátorů 110/22 kV. Ovšem zároveň je nutné podotknout, že v případě izolace vývodu 22 kV se jedná o opatření, kterým lze výpadkům tohoto typu skutečně předcházet. Pokud se v případě výbuchů přístrojových transformátorů nenalezne skutečná příčina, může k podobné situaci, jako byla v TR Chodov dojít znovu. Z tohoto důvodu lze izolaci vývodu 22 kV považovat za spolehlivější opatření pro posílení spolehlivosti sítě. Abychom mohli porovnávat všechna opatření, použijeme poměr přínosu opatření (% SAIFI_Q) a nákladů. Pořadí opatření je potom následující:

Opatření	Přínos/náklady (%/mil. Kč)
Izolace vývodu 22 kV	1,2152
Výměna přístrojových transformátorů	1,1681
Nahrazení spojek Barnier	0,0148
Kabelizace venkovního vedení	0,0068
Nahrazení olejových kabelů	0,0019

Tabulka 7.18 Porovnání opatření podle poměru přínos/náklady

Tento poměr v zásadě popisuje, jaké zlepšení ukazatele SAIFI_Q přinese 1 milion Kč investovaný do daného opatření. Z Tabulky 7.18 plyne, že opatření izolace vývodu 22 kV

a výměna přístrojových transformátorů v TR Chodov jsou srovnatelná a v porovnání s ostatními opatřeními vychází nejlépe. Nahrazení olejových kabelů má sice ze všech opatření největší dopad, náklady jsou však tak vysoké, že je toto opatření z pohledu poměr přínos/náklady na posledním místě.

8. Závěr

Předmětem této diplomové práce bylo hodnocení poruch v distribuční soustavě společnosti PREdistribuce na hladině vysokého a velmi vysokého napětí. Součástí práce bylo také vytvoření nástroje pro analýzu dopadu poruch a návrh optimálního opatření pro posílení spolehlivosti sítě.

Práce se nejprve zabývá legislativním rámcem spolehlivosti v České republice a představuje základní vyhlášky a legislativní dokumenty. Úvodní kapitoly také zavádí základní pojmy a popisují systém vykazování přerušení Energetickému regulačnímu úřadu a s tím související rozdělení typů přerušení. Jelikož spolehlivostní ukazatele, které jsou ústřední částí této práce, signifikantně závisí na charakteru sítě, jsou v této práci podrobně popsány všechny tři regionální distribuční soustavy v ČR a jejich zásadní odlišnosti. Dále zde byla provedena také analýza vývoje spolehlivostních ukazatelů, z které mimo jiné vyplývá, že k výraznějšímu zlepšení ukazatelů dochází pouze u sítě společnosti PREdistribuce, a.s.

Následující část práce se zabývá přístupy k hodnocení a analýze poruch na hladině VN a VVN v distribuční soustavě. Pro provozovatele distribučních soustav je nejdůležitější hodnocení poruch z hlediska motivační regulace kvality, proto je této problematice věnována zvýšená pozornost a princip motivační regulace kvality je podrobně vysvětlen.

Za účelem splnění hlavního cíle práce, kterým bylo vytvoření nástroje na analýzu poruch a návrh optimálního opatření pro posílení spolehlivosti sítě, byla nejprve nutná revize stávajícího systému. Následně byla provedena identifikace nedostatků současného systému, která stanovila cíle pro nový systém hodnocení poruch na hladině VN a VVN. Z této analýzy vyplynul postup návrhu nástroje na analýzu poruch, kdy nejprve bylo nutné sestavit novou vhodnější kategorizaci poruch, dále bylo nezbytné dle této kategorizace zpracovat dostatečné množství poruch a až poté bylo možné začít vytvářet analytický nástroj. Kategorizace poruch byla vytvořena s ohledem na vybavení sítě v posledních 10 letech, nicméně do budoucna nabízí možnost ji upravit tak, aby vždy odpovídala aktuálnímu vybavení sítě.

V rámci hodnocení poruch na hladině VN a VVN v síti PREdistribuce bylo zpracováno více než 3000 záznamů, které slouží jako vstupní data pro vytvořený nástroj v Power BI. Samotný nástroj umožňuje propojení hned několika zdrojů dat, snadnou vizualizaci a libovolné filtrování, které lze přizpůsobit právě řešenému problému. Nástroj zprostředkovává provozovateli distribuční soustavy kromě přehledného a podrobného monitorování dění v síti také průběžné sledování vývoje komponenty Q včetně odhadu výsledných hodnot pro současný rok. Aby však informace v nástroji byly vždy aktuální, je nezbytné každý měsíc aktualizovat kartu týkající se komponenty Q a průběžně zpracovávat poruchy dle nové kategorizace. Rovněž bude vhodné každý rok provést revizi nástroje tak, aby byly odladěny případné nesrovnalosti a systém byl připraven na aktuální události a problémy vyskytující se v síti.

Poslední část práce byla zaměřena na návrh opatření pro posílení spolehlivosti sítě. Nejprve bylo ověřeno, že poruchy na hladině VN a VVN mají zásadní vliv na spolehlivostní ukazatele a opatření v této oblasti budou skutečně účinná. Z této analýzy vyplynulo, že poruchy VN a VVN ovlivňují především ukazatel SAIFI_Q, a proto je vhodné hledat opatření zejména na základě tohoto parametru. Identifikace možných opatření byla provedena dle zpracovaných dat a již vytvořených přehledů. Z navržených opatření má na ukazatele SAIDI_Q a SAIFI_Q největší vliv varianta nahrazení PILC kabelů, které by mělo ukazatel SAIFI_Q zlepšit o necelých 17 % oproti referenční průměrné hodnotě a ukazatel SAIDI_Q o přibližně 9 %. Pokud se však

na opatření podíváme z pohledu poměru přínosu opatření (% SAIFI_Q) a nákladů, nahrazení tzv. olejových kabelů vychází vzhledem k obrovským nákladům nejhůře. Tento poměr vychází nejlépe pro opatření izolace vývodů 22 kV transformátorů 110/22 kV a výměnu přístrojových transformátorů v TR Chodov. Z analýzy vyplývá, že u obou variant zlepší každý investovaný milion Kč ukazatel SAIFI_Q o více než procento. Z pohledu nákladů jsou srovnatelná opatření kabelizace vedení v okolí Běchovic a nahrazení spojek Barnier. Pokud však porovnáme jejich vliv na komponentu Q, je zřejmé, že opatření nahrazení spojek BA by mělo výrazně větší vliv.

Nástroj vytvořený v rámci této diplomové práce tedy poskytuje ucelený a komplexní pohled na dění v síti PREdistribuce. Zároveň lze s jeho pomocí spolehlivě identifikovat problematická místa v soustavě a navrhnout opatření pro posílení spolehlivosti, která jsou založená na datech. Výsledná analýza navíc umožňuje optimalizovat opatření nejen z technického, ale také z ekonomického hlediska.

Do budoucna by nástroj vytvořený v rámci této diplomové práce mohl být dále rozvíjen v oblasti zpřesňování predikce výsledné hodnoty ukazatelů SAIDI_Q a SAIFI_Q. Jeden z možných způsobů zpřesnění, konkrétně zakomponování dat z databáze SAP, byl představen v rámci práce. Dalším z možných směrů vývoje tohoto nástroje by mohlo být zařazení poruch hladiny nízkého napětí. U těchto neplánovaných přerušení je však velmi často problematické určit skutečnou příčinu a vstupní data pro analýzu by tak mohla být značně zkreslená. V rámci posilování spolehlivosti dojistě nemůžeme ignorovat ani plánovaná přerušení a jejich zásadní vliv na ukazatel SAIDI_Q. Analýza plánovaných přerušení a systém jejich provádění by mohl být dalším směrem, kterým lze nástroj rozvíjet.

Literatura

- [1] ERÚ. *Zásady cenové regulace pro regulační období 2021-2025 pro odvětví elektroenergetiky, plynárenství, pro činnosti operátora trhu v elektroenergetice a plynárenství a pro povinně vykupující: Strategický kontext* [online]. s. 11-13 [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/eru-zverejnil-zasady-cenove-regulace-pro-regulacni-obdobi-2021-2025#soubory>
- [2] SIMSON, Kadri. Delivering the Green Deal in the European energy sector. In: *The European Files* [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.europeanfiles.eu/climate/delivering-the-green-deal-in-the-european-energy-sector>
- [3] RADA EU. *Evropský právní rámec pro klima: Rada a Parlament dosáhly předběžné dohody: Tisková zpráva* [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/press/press-releases/2021/05/05/european-climate-law-council-and-parliament-reach-provisional-agreement/>
- [4] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Zásady cenové regulace pro regulační období 2021-2025 pro odvětví elektroenergetiky, plynárenství, pro činnosti operátora trhu v elektroenergetice a plynárenství a pro povinně vykupující* [online]. s. 50-53 [cit. 2022-10-15]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/eru-zverejnil-zasady-cenove-regulace-pro-regulacni-obdobi-2021-2025>
- [5] TŮMA, Jiří. *Spolehlivost v elektroenergetice*. Praha: Conte, 2006. ISBN 80-239-6483-6.
- [6] Příloha 2: Metodika určování spolehlivosti dodávek elektřiny a prvků distribučních sítí a přenosové soustavy. In: *Pravidla provozování distribučních soustav* [online]. Prosinec 2016. [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/Files/legislativa/ppds-priloha-2/>
- [7] Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). In: *Sbírka zákonů*. 2000. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458?text=458%2F2000>
- [8] O ERÚ. In: *Energetický regulační úřad* [online]. [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/o-eru>
- [9] PREDISTRIBUCE, A.S. *Pravidla provozování distribučních soustav* [online]. [cit. 2022-08-08]. Dostupné z: https://www.predistribuce.cz/Files/legislativa/ppds_2016/
- [10] Vyhláška č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. In: *Sbírka zákonů*. 2005. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-540?text=540%2F2005>
- [11] Distribuční síť: Technické informace. In: *PREdistribuce* [online]. [cit. 2022-07-28]. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/cs/distribucni-sit/technicke-informace/>

- [12] *Roční zpráva o provozu ES České republiky za rok 2021* [online]. s. 1-64 [cit. 2022-10-07]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/rocní-zprava-o-provozu-es-cr-pro-rok-2021>
- [13] Technická data. In: *ČEZ Distribuce* [online]. [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/distribucni-soustava/technicka-data>
- [14] PREDISTRIBUCE, A.S. Výroční zpráva 2021. In: *Výroční zprávy* [online]. s. 2 [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/Files/vyrocní-zpravy/vz-2021-cz/>
- [15] Technické informace o distribuční soustavě elektřiny: Popis distribuční soustavy. In: *EG.D* [online]. [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: https://www.egd.cz/sites/default/files/2020-08/332_Popis_DS_elektro_2020.pdf
- [16] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2008* [online]. s. 1 [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/zprava-o-dosazene-urovni-dodrzovani-standardu-plynulosti-prenosu-distribuce-elektřiny-za-rok-2008>
- [17] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2009* [online]. s. 1 [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/zprava-o-dosazene-urovni-nepretrzitosti-prenosu-nebo-distribuce-elektřiny-za-rok-2010-0>
- [18] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2010* [online]. s. 1 [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/zprava-o-dosazene-urovni-nepretrzitosti-prenosu-nebo-distribuce-elektřiny-za-rok-2010>
- [19] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2011* [online]. s. 1-4 [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/zprava-o-dosazene-urovni-nepretrzitosti-prenosu-nebo-distribuce-elektřiny-za-rok-2011>
- [20] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2013* [online]. s. 1-4 [cit. 2022-10-07]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/zprava-o-dosazene-urovni-nepretrzitosti-prenosu-nebo-distribuce-elektřiny-za-rok-2013>
- [21] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2014* [online]. s. 3 [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/zprava-o-dosazene-urovni-nepretrzitosti-prenosu-nebo-distribuce-elektřiny-za-rok-2014>
- [22] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2015* [online]. s. 3 [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/zprava-o-dosazene-urovni-nepretrzitosti-prenosu-nebo-distribuce-elektřiny-za-rok-2015>
- [23] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2017* [online]. s. 3 [cit. 2022-10-

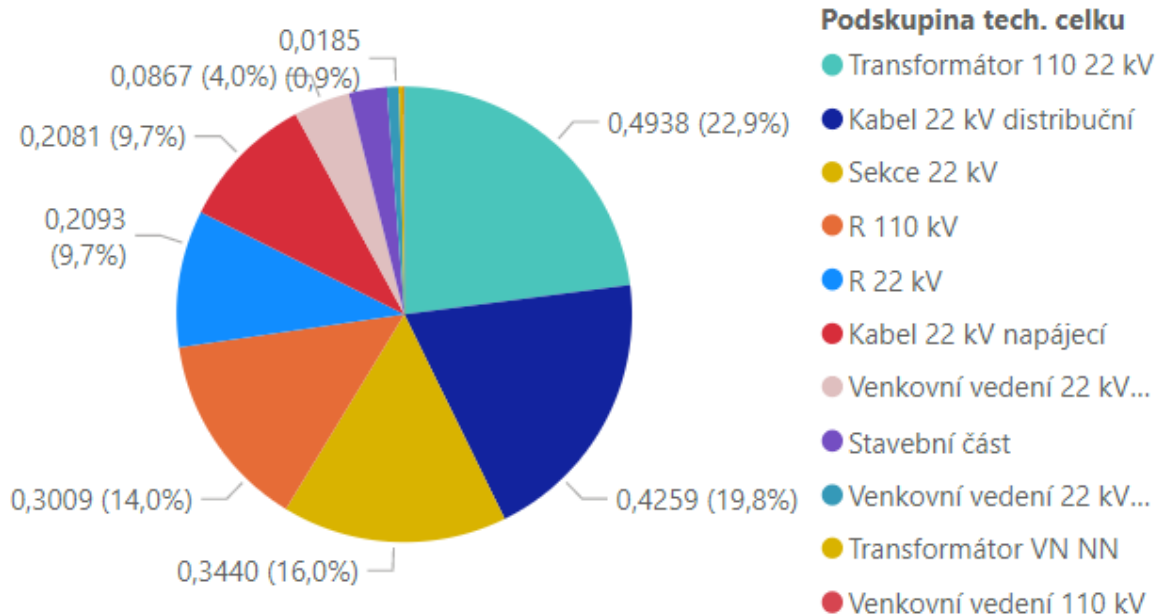
- 29]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/zprava-o-dosazene-urovni-nepretrzitosti-prenosu-nebo-distribuce-elektřiny-za-rok-2017>
- [24] ČEZ DISTRIBUCE, A.S. *Výroční zpráva společnosti ČEZ Distribuce, a.s., 2009* [online]. s. 22 [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/webpublic/file/edee/dist/fileotherexport/distribuce/o-spolecnosti/vyrocni-zprava-2009-cz.pdf>
- [25] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2021* [online]. s. 5-7 [cit. 2022-10-29]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/kopie-z-zprava-o-dosazene-urovni-nepretrzitosti-prenosu-nebo-distribuce-elektřiny-za-rok-2021>
- [26] CEER. 6th CEER Benchmarking Report on the Quality of Electricity and Gas Supply. In: *CEER: Council of European Energy Regulators* [online]. s. 35-49 [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/d064733a-9614-e320-a068-2086ed27be7f>
- [27] CEER. CEER Benchmarking Report 6.1 on the Continuity of Electricity and Gas Supply: Data update 2015/2016. In: *CEER: Council of European Energy Regulators* [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.ceer.eu/documents/104400/-/-/963153e6-2f42-78eb-22a4-06f1552dd34c>
- [28] CEER, a ECRB. 7th CEER-ECRB Benchmarking Report on the Quality of Electricity and Gas Supply. In: *CEER: Council of European Energy Regulators* [online]. [cit. 2022-12-28]. Dostupné z: <https://www.ceer.eu/documents/104400/7324389/7th+Benchmarking+Report/15277cb7-3ffe-8498-99bb-6f083e3ceecb>
- [29] BILLINTON, Roy a Ronald ALLAN. *Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques*. 1st edition. New York: Plenum Press, 1983. ISBN 978-1-4615-7730-0.
- [30] BILLINTON, Roy a Ronald ALLAN. *Reliability Evaluation of Power systems*. 2nd ed. New York: Plenum Press, 1996. ISBN 0-306-45259-6.
- [31] ŠEFRÁNEK, Jan. *Spolehlivost a kvalita dodávek elektřiny a možnosti jejich ovlivňování*. Praha, 2014. Disertační práce. ČVUT.
- [32] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Zásady cenové regulace pro období 2016-2018 pro odvětví elektroenergetiky, plynárenství, a pro činnosti operátora trhu v elektroenergetice a plynárenství s prodlouženou účinností do 31. prosince 2020* [online]. s. 1-171 [cit. 2022-10-19]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/zasady-cenove-regulace-pro-obdobi-2016-2018-pro-odvetvi-elektroenergetiky-plynarenstvi-pro-cinnosti>
- [33] LIŠKA, Jan. *Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny za rok 2021: Příspěvek na konferenci ČK CIRED 2022*. Tábor, 2022.
- [34] Co je to SCADA?. In: *SCADA/HMI systém PROMOTIC* [online]. [cit. 2022-10-31]. Dostupné z: <https://www.promotic.eu/cz/pmdoc/WhatIsPromotic/WhatIsScada.htm>

- [35] What is SAP?. In: *Podnikové informační systémy SAP* [online]. [cit. 2022-10-31]. Dostupné z: <https://www.sap.com/cz/about/company/what-is-sap.html>
- [36] SIEGL, Pavel a Jiří HRADECKÝ. *AMÚ - Analýza mimořádné události č. 1/2022: TR CHODOV výpadek 400 kV*. Praha, 2022.
- [37] HEJHAL, Martin. *Metodika výpočtu pravděpodobnosti poruchy prvku pp (interní dokument společnosti PREdistribuce)*. Praha, 2019.
- [38] The Definitive Guide to Asset Management [With 7 Best Practices]. In: *Kissflow* [online]. [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: <https://kissflow.com/finance/asset-management/what-is-asset-management/>

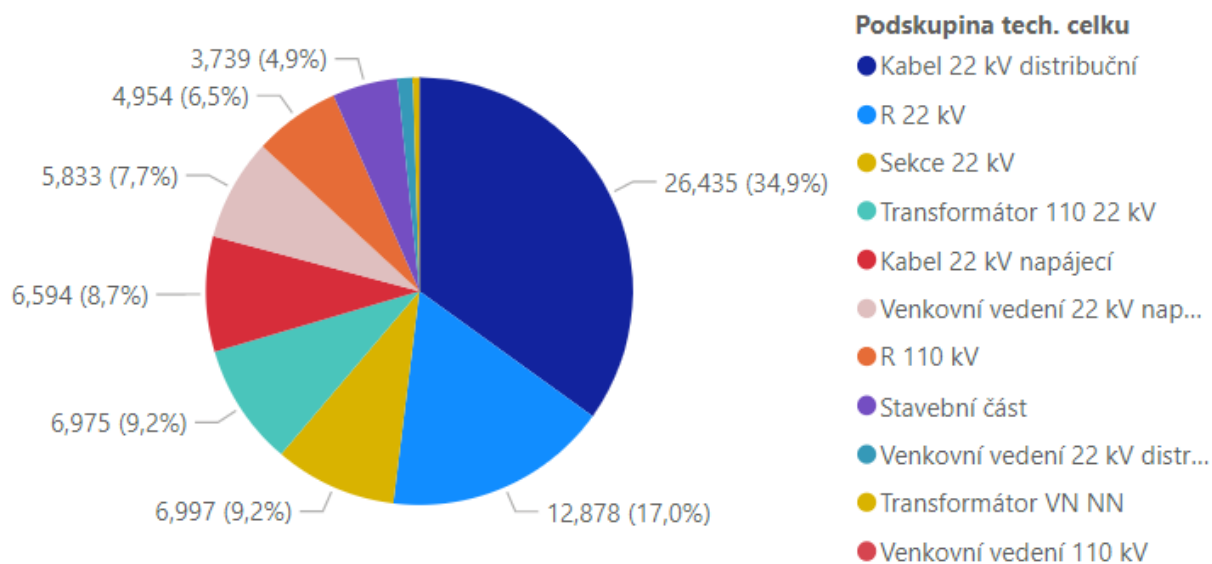
Seznam příloh

Příloha A

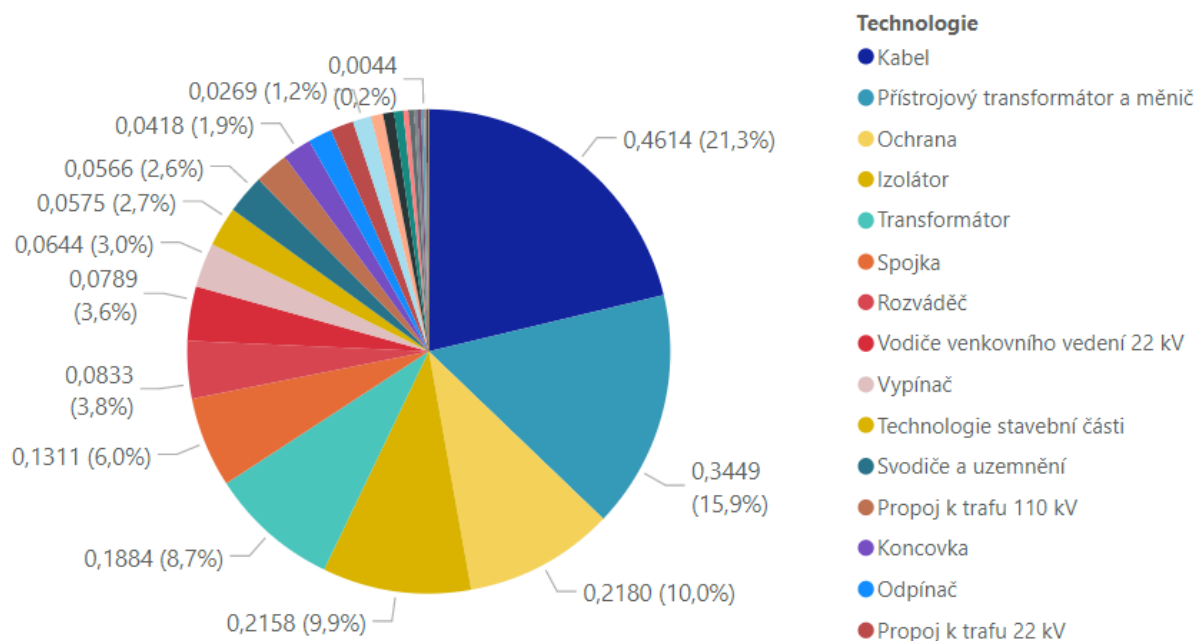
- Podíl jednotlivých podskupin tech. celku na SAIFI_Q (za roky 2012-2021):



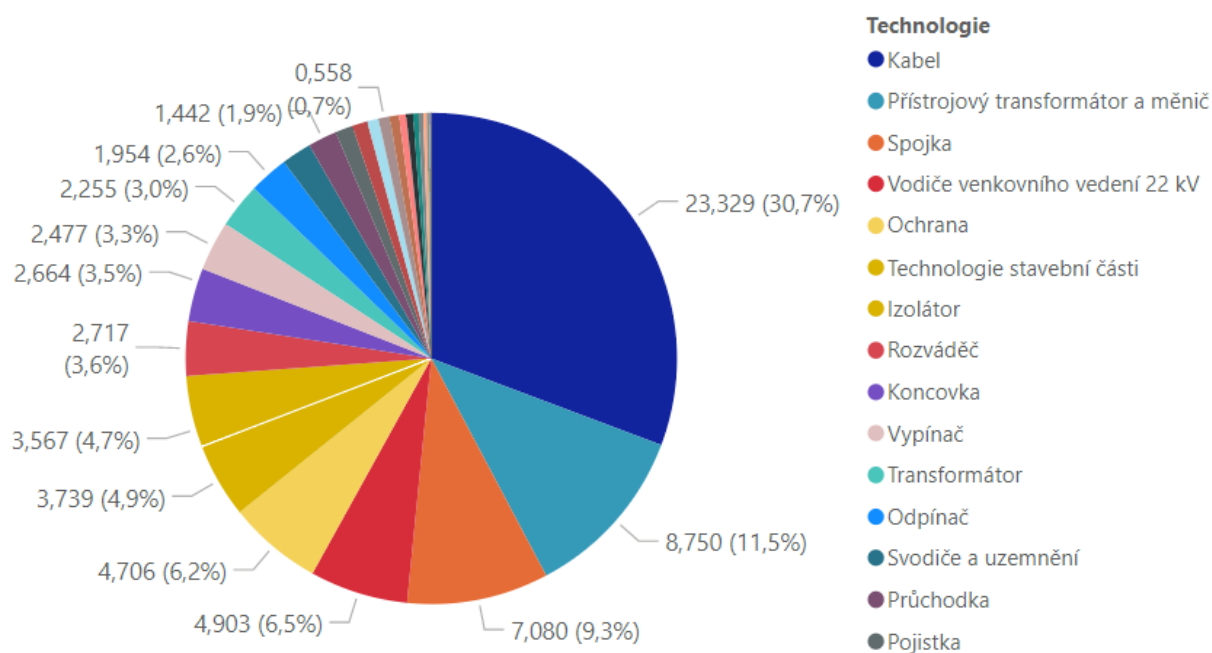
- Podíl jednotlivých podskupin tech. celku na SAIDI_Q (za roky 2012-2021):



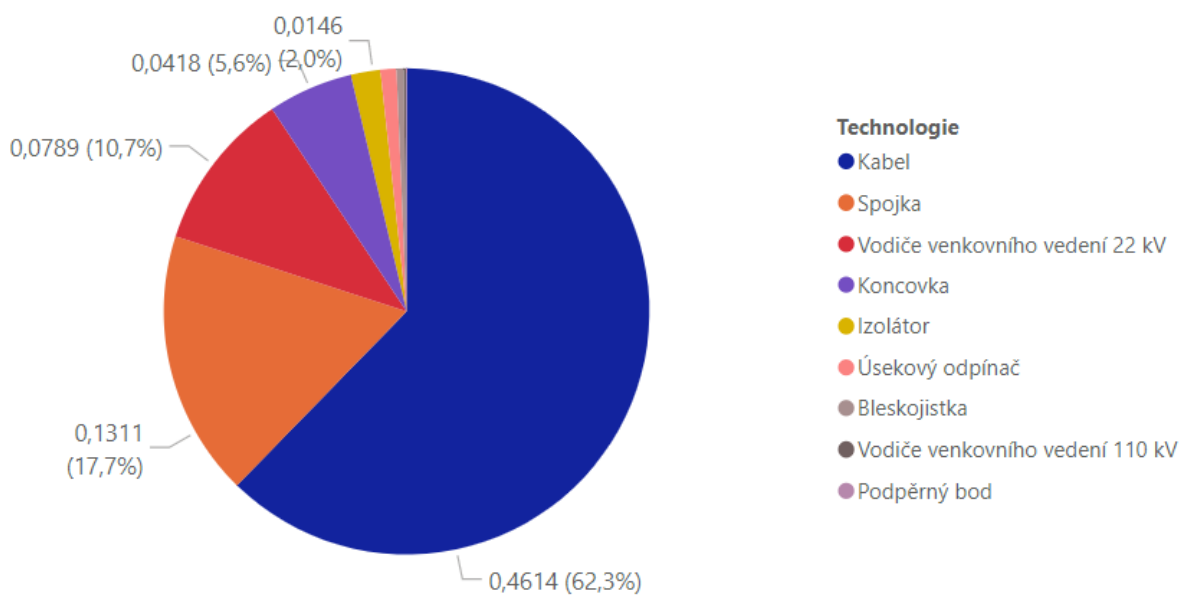
- Podíl jednotlivých technologií na SAIFI_Q (za roky 2012-2021):



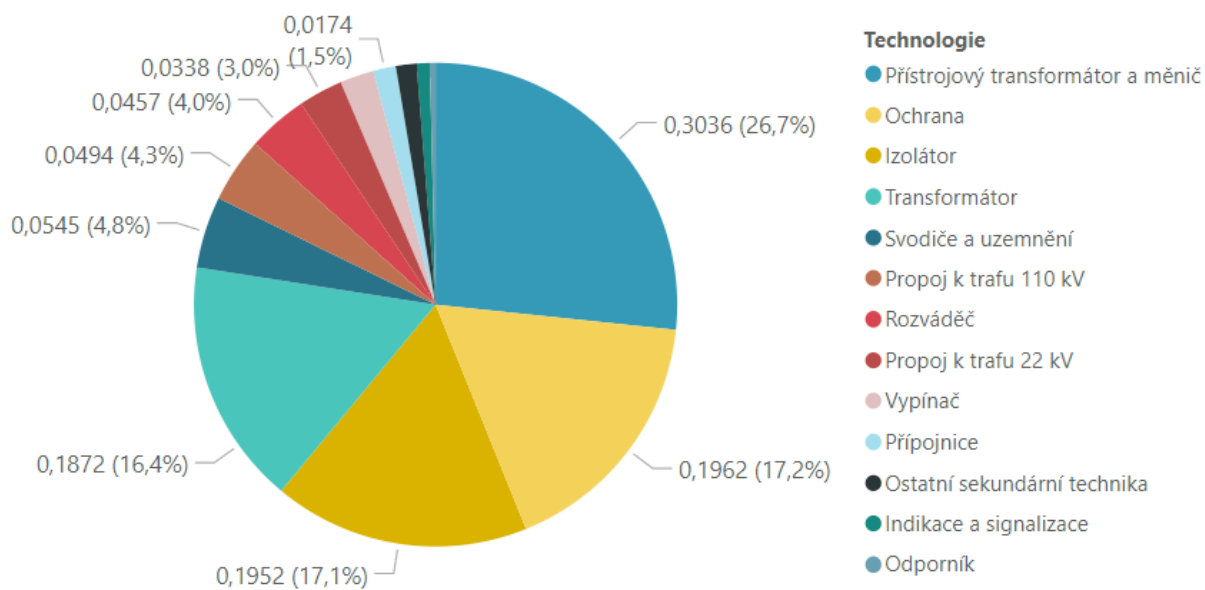
- Podíl jednotlivých technologií na SAIDI_Q (za roky 2012-2021):



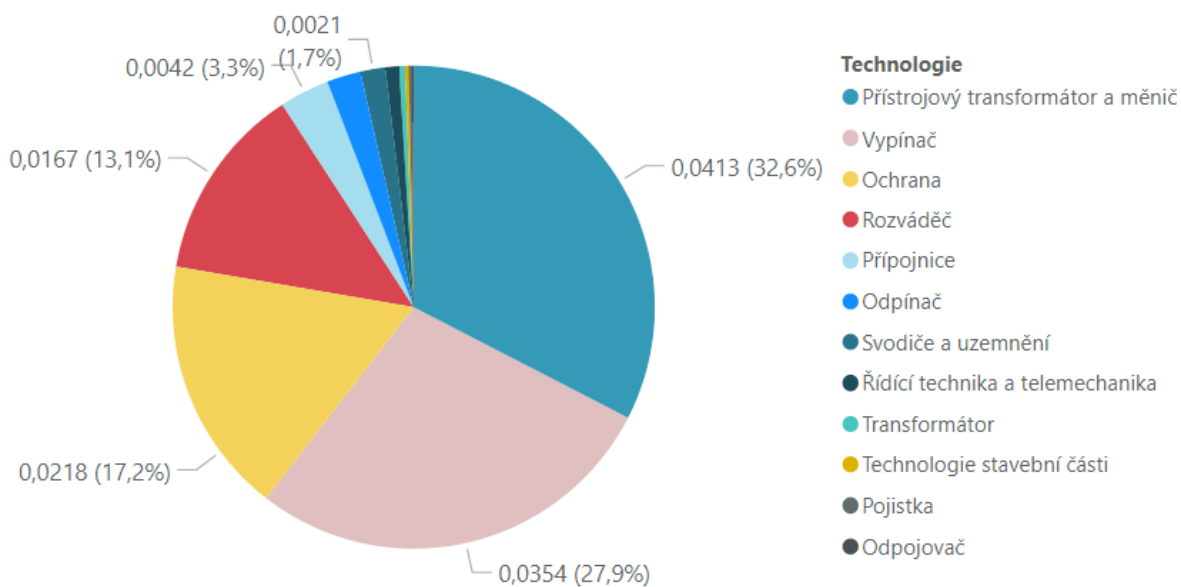
- Podíl jednotlivých technologií tech. celku Vedení na SAIFI_Q (za roky 2012-2021):



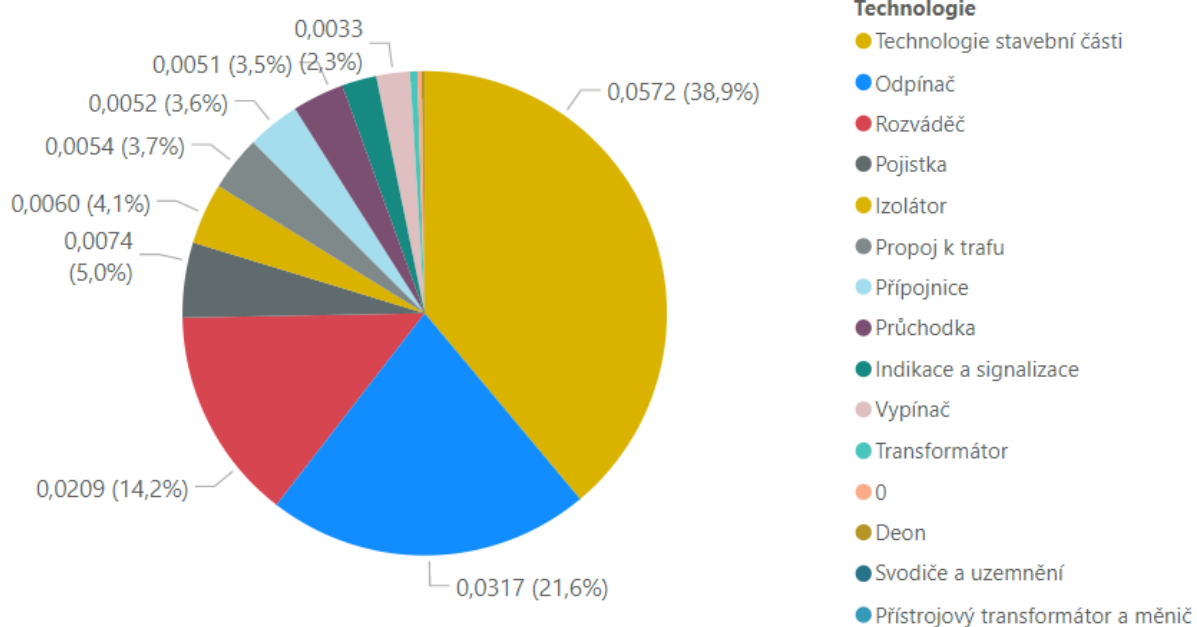
- Podíl jednotlivých technologií tech. celku TR na SAIFI_Q (za roky 2012-2021):



- Podíl jednotlivých technologií tech. celku RS na SAIFI_Q (za roky 2012-2021):



- Podíl jednotlivých technologií tech. celku TS na SAIFI_Q (za roky 2012-2021):



Příloha B

Zatřídění všech typů kabelů v síti PREdistribuce, a.s. [37]:

Typ kabelu v GIS	Kategorie pp
AXEKVCEY	AX
ANKTOYPVs	AN
AXEKCEY	AX
ANKTOYPV	AN
AMKTOYPVs	AN
AlFe	ost
AXEKVCER	AX
AXEKCY	AX
CXEKVCEY	AX
CMKTQYPV	AN
AMKQZY	AN
HATPs	H
ANKTOPV	AN
CMKTQPv	AN
ANKAY	AN
AMKTOYPV	AN
Cu	ost
CNKTOYPVs	AN
AYKCY	AN
CMKTQYPVs	AN
HSO	H
NAEKYBA	AN
ANKTQYPVs	AN
ANKOY	AN
ANKTOPVs	AN
AXEKVCE	AX
CXEKVCH-R	AX
NHERBA	AN
NHEKBA	AN
CMKTOYPV	AN
HATP	H
CNKTOYPV	AN
ANKTQYPYs	AN
AXEKVCEY-OT-2F	AX
ANKTQYPY	AN
AXEKVCEZY	AX
CUNKTO	AN
HTPs	H
ANKTOPY	AN
HAKAS	H
ANKTQYPV	AN
ANKQY	AN
CMKTOYPVs	AN
HAKAYs	H
CMKQY	AN
HAKAYHs	H