

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

---

Fakulta elektrotechnická  
Katedra elektroenergetiky

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh mřížové sítě nn pro optimalizaci provozních poměrů v lokalitě Plzeň

Autor práce: **Bc. Filip Dvořák**  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Miloslava  
Tesařová, Ph.D.**  
Konzultant práce: **Ing. Jaromír Eybl**

---

2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2022/2023

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Filip DVOŘÁK**  
Osobní číslo: **E21N0007P**  
Studijní program: **N0713A060013 Výkonové systémy a elektroenergetika**  
Specializace: **Elektroenergetika**  
Téma práce: **Návrh mřížové sítě nn pro optimalizaci provozních poměrů v lokalitě Plzeň**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky**

## Zásady pro vypracování

1. Popište topologie distribučních sítí a možnosti provozu mřížových sítí, specifikujte jejich provozní vlastnosti a porovnejte je s jinými typy sítí.
2. V dané lokalitě navrhnete přepojení stávající zauzlené radiálně provozované sítě nn na mřížovou síť.
3. Provedte výpočty pro různé provozní stavy sítě, na jejich základě navrhnete potřebné změny v síti a odhadnete nutné náklady.
4. Porovnejte provozní parametry stávající zauzlené radiálně provozované sítě nn s navrženou mřížovou sítí.
5. Posuďte přínos provozu mřížové sítě k rozvoji e-mobility.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60**  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. PAVLOVSKÝ, Bohumír. Elektrické sítě v městech a sídlištích, Praha: SNTL, 1975.
2. SOUČEK, Jan. Perspektivy mřížových sítí. časopis Energetika, 12/2013, ISSN 0375-8842.
3. PNE 33 3430-0 Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav, 2015.
4. Provozně technická pravidla společnosti ČEZ.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.**  
Katedra elektroenergetiky

Datum zadání diplomové práce: **7. října 2022**  
Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2023**

  
**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan

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

V Plzni dne 7. října 2022

# Abstrakt

Řešená práce se zabývá návrhem přepojení stávající sítě nízkého napětí v lokalitě Plzeň-Slovany na mřížovou síť. Toto přepojení by mohl být způsob, jak připravit nejen zvolenou síť, ale obecně všechny distribuční sítě nízkého napětí na rozvoj elektromobility. Úvod práce se věnuje trendům, na které bude muset reagovat energetika, převážně distribuční sítě. V teoretické části jsou nejprve popsány jednotlivé topologie sítí, kde je důraz kladen na topologii mřížové sítě. Dále je popsáno, jak jsou provozovány distribuční sítě v České republice. V praktické části je analyzována a popsána současná provozovaná paprsková síť. Následuje samotný návrh přepojení na mřížovou síť a jeho analýza. Přínos je ověřen na pěti scénářích s připojenými dobíjecími stanicemi pro elektromobily. Návrh přepojení a simulace byly prováděny v softwaru Daisy Pas Bison. V závěru jsou zhodnoceny výsledky ze simulací provozu obou topologií bez dobíjecích stanic a jednotlivých scénářů s dobíjecími stanicemi.

## Klíčová slova

Distribuční síť nn, topologie distribučních sítí, mřížová síť, provoz mřížové sítě, dobíjecí stanice elektromobilů

# Abstract

This thesis deals with the design of the reconfiguration of the existing low-voltage network in the locality of Plzeň-Slovany to the grid network. This reconfiguration could be a way to prepare not only the selected network, but in general all low-voltage distribution networks for the development of electromobility. The introduction of the thesis is devoted to the trends to which the energy sector, mainly distribution networks, will have to respond. In the theoretical part, the different network topologies are first described, where the emphasis is on the grid topology. Next, how distribution networks are operated in the Czech Republic is described. In the practical part, the current operating radial network is analysed and described. This is followed by the actual design of the grid connection and its analysis. The benefit is verified on five scenarios with connected charging stations for electric vehicles. The reconfiguration design and simulations were performed in the Daisy Pas Bizon software. Finally, results from simulations of the operation of both topologies without charging stations and individual scenarios with charging stations are evaluated.

## Keywords

Power network topologies, grid topology, grid topology operation, grid topology design, electromobility charging station

## Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce, doc. Ing. Miloslavě Tesařové PhD., a konzultantovi, Ing. Jaromíru Eyblovi ze společnosti ČEZ Distribuce, za jejich vstřícný přístup, metodické pokyny a cenné profesionální rady, které vedly k vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu během celé doby studia a nakonec společnosti ČEZ Distribuce, která umožnila vznik zadání práce samotné.

# Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk	vi
Seznam obrázků	vii
Seznam tabulek	ix
<b>1 Distribuční sítě a elektromobilita</b>	<b>2</b>
<b>2 Topologie a provoz distribučních sítí nn</b>	<b>5</b>
2.1 Charakteristika distribučních sítí . . . . .	5
2.2 Topologie distribučních sítí . . . . .	6
2.2.1 Paprsková síť . . . . .	6
2.2.2 Okružní síť . . . . .	7
2.2.3 Mřížová síť . . . . .	8
2.3 Provozování distribučních sítí . . . . .	10
2.3.1 Provozování distribučních mřížových sítí . . . . .	10
2.3.2 Využití mřížových sítí v ČR . . . . .	12
<b>3 Praktická část</b>	<b>14</b>
3.1 Analýza stávajícího zapojení sítě nn . . . . .	14
3.1.1 Výpočet ustáleného chodu sítě . . . . .	19
3.1.2 Vyhodnocení zatížení transformátorů vn/nn . . . . .	21
3.1.3 Zhodnocení transformátorů . . . . .	22
3.1.4 Provozní stav plánovaná odstávka . . . . .	22
3.1.5 Zhodnocení stávajícího zapojení . . . . .	23
3.2 Návrh mřížového zapojení . . . . .	23
3.2.1 Výpočet ustáleného chodu mřížové sítě . . . . .	25
3.2.2 Vyhodnocení zatížení transformátorů vn/nn . . . . .	27
3.2.3 Zhodnocení transformátorů . . . . .	28
3.2.4 Provozní stav plánovaná odstávka . . . . .	29
3.2.5 Zhodnocení mřížového zapojení . . . . .	34
3.3 Připojení dobíjecích stanic . . . . .	34
3.3.1 Scénář 1 . . . . .	35
3.3.2 Scénář 2 . . . . .	38
3.3.3 Úpravy sítě pro scénář 2 . . . . .	42
3.3.4 Scénář 3 . . . . .	44
3.3.5 Scénář 4 . . . . .	47

---

3.3.6 Scénář 5 . . . . .	51
<b>4 Závěr</b>	<b>55</b>
<b>Seznam použité literatury</b>	<b>58</b>
<b>Přílohy</b>	<b>A</b>



# Seznam použitých symbolů a zkratek

<b>ČR</b>	Česká republika
<b>DC</b>	stejnoseměrný proud
<b>DTS</b>	distribuční transformační stanice
<b>FVE</b>	fotovoltaická elektrárna
<b>I</b>	elektrický proud (A)
<b>i</b>	poměrný elektrický proud (%)
<b>nn</b>	nízké napětí
<b>OZE</b>	obnovitelné zdroje energie
<b>P<sub>dod</sub></b>	dodávaný činný výkon (W)
<b>RIS</b>	rozvodná instalační skříň
<b>S<sub>inst</sub></b>	instalovaný zdánlivý výkon (VA)
<b>S<sub>N</sub></b>	jmenovitý zdánlivý výkon (VA)
<b>SP</b>	skříň přípojková
<b>SR</b>	skříň rozpojovací
<b>SV</b>	slabá vazba
<b>TS</b>	transformační stanice
<b>U<sub>avg</sub></b>	průměrná hodnota napětí (V)
<b>u<sub>avg</sub></b>	průměrná hodnota napětí (%)
<b>U<sub>max</sub></b>	maximální hodnota napětí (V)
<b>u<sub>max</sub></b>	maximální hodnota napětí (%)
<b>U<sub>min</sub></b>	minimální hodnota napětí (V)
<b>u<sub>min</sub></b>	minimální hodnota napětí (%)
<b>vn</b>	vysoké napětí
<b>vvn</b>	velmi vysoké napětí
<b>γ</b>	poměrné zatížení (%)

# Seznam obrázků

1	Počet elektromobilů v ČR [4] . . . . .	2
2	Příklad dobíjení DC na hladině nn [9] . . . . .	3
3	Množství energie vyrobené z OZE v ČR [11] . . . . .	4
4	Provozovaná kabelová a venkovní vedení v ČR (převzato z [12]) . . . . .	5
5	Paprsková (radiální) síť . . . . .	6
6	Schéma okružní sítě . . . . .	7
7	Příklad návrhu sítě - sídlištní zástavba (převzato z [14]) . . . . .	8
8	Jednoduchá mřížová síť . . . . .	9
9	Napájení mřížové sítě z jedné rozvodny . . . . .	11
10	Napájení mřížové sítě ze dvou rozveden . . . . .	12
11	Zjednodušené schéma napájení zvolené sítě z rozvodny 22 kV . . . . .	15
12	Vyznačení zvolené lokality . . . . .	16
13	Napájení stávající sítě z napaječů VN 1 (zelený) a VN 2 (modrý) . . . . .	17
14	Vyznačení oblastí napájených jednotlivými transformátory ve stávajícím zapojení sítě . . . . .	18
15	Četnost poměrného napětí ve stávající síti . . . . .	20
16	Četnost poměrného proudového zatížení kabelů ve stávající síti . . . . .	21
17	Poměrné zatížení transformátorů . . . . .	22
18	Vyznačení rozpojovacích skříní, kde došlo k přepojení na mřížovou síť . . . . .	24
19	Porovnání četnosti napětí ve stávající a v mřížové síti . . . . .	26
20	Porovnání četnosti poměrného zatížení ve stávající síti a v mřížové síti . . . . .	27
21	Poměrné zatížení transformátorů v mřížové síti . . . . .	28
22	Četnost poměrného napětí ve scénáři 1 . . . . .	37
23	Četnost poměrného zatížení ve scénáři 1 . . . . .	38
24	Porovnání četnosti poměrného napětí ve scénáři 2 . . . . .	41
25	Porovnání četnosti poměrného zatížení ve scénáři 2 . . . . .	42
26	Porovnání četnosti poměrného napětí ve scénáři 3 . . . . .	47
27	Porovnání četnosti poměrného zatížení ve scénáři 3 . . . . .	47
28	Porovnání četnosti poměrného napětí ve scénáři 4 . . . . .	50
29	Porovnání četnosti poměrného zatížení ve scénáři 4 . . . . .	51
30	Porovnání četnosti poměrného napětí ve scénáři 5 . . . . .	53
31	Porovnání četnosti poměrného zatížení ve scénáři 5 . . . . .	54
32	Vybraná místa pro měření napětí . . . . .	A

---

33	Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku Tr0029 . . . . .	C
34	Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku Tr0029 . . . . .	C
35	Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku Tr0031 . . . . .	E
36	Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku Tr0031 . . . . .	E
37	Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku Tr0057 . . . . .	G
38	Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku Tr0057 . . . . .	G
39	Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku Tr0054 . . . . .	I
40	Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku Tr0054 . . . . .	I
41	Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku Tr0055 . . . . .	K
42	Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku Tr0055 . . . . .	K
43	Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku Tr0037 . . . . .	M
44	Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku Tr0037 . . . . .	M
45	Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku Tr0056 . . . . .	O
46	Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku Tr0056 . . . . .	O
47	Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku VN1 . . . . .	P
48	Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku VN1 . . . . .	Q
49	Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku VN2 . . . . .	R
50	Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku VN2 . . . . .	R

# Seznam tabulek

1	Porovnání vlastností topologií (převzato z [15]) . . . . .	9
2	Hodnoty napětí v ustáleném stavu . . . . .	19
3	Vybrané hodnoty napětí - stávající zapojení . . . . .	19
4	Vybrané hodnoty proudu - stávající zapojení . . . . .	20
5	Přehled zatížení transformátorů . . . . .	22
6	Hodnoty napětí v ustáleném stavu mřížové sítě . . . . .	25
7	Vybrané hodnoty napětí v ustáleném stavu mřížové sítě . . . . .	25
8	Vybrané hodnoty proudu v ustáleném stavu pro mřížové zapojení . . . . .	26
9	Přehled zatížení transformátorů v mřížovém zapojení . . . . .	28
10	Zatížení transformátorů při odstávce Tr0029 . . . . .	29
11	Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0029 . . . . .	29
12	Zatížení transformátorů při odstávce Tr0031 . . . . .	30
13	Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0031 . . . . .	30
14	Zatížení transformátorů při odstávce Tr0057 . . . . .	30
15	Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0057 . . . . .	30
16	Zatížení transformátorů při odstávce Tr0054 . . . . .	31
17	Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0054 . . . . .	31
18	Zatížení transformátorů při odstávce Tr0037 . . . . .	31
19	Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0037 . . . . .	32
20	Zatížení transformátorů při odstávce VN1 . . . . .	32
21	Vybrané hodnoty proudu při odstávce VN1 . . . . .	32
22	Porovnání zatížení transformátorů při odstávkách . . . . .	33
23	Porovnání zatížení transformátorů při odstávkách - sjednocený výkon 400 kVA . . . . .	34
24	Scénář 1 - počet dobíjecích stanic v jednotlivých oblastech . . . . .	35
25	Scénář 1 - zatížení transformátorů v mřížovém zapojení . . . . .	35
26	Scénář 1 - vybrané hodnoty napětí v mřížovém zapojení . . . . .	36
27	Scénář 1 - vybrané hodnoty proudu v mřížovém zapojení . . . . .	36
28	Scénář 1 - přehled hodnot při odstávce . . . . .	36
29	Scénář 2 - počet dobíjecích stanic v jednotlivých oblastech . . . . .	38
30	Scénář 2 - zatížení transformátorů v paprskovém zapojení . . . . .	39
31	Scénář 2 - vybrané hodnoty napětí v paprskovém zapojení . . . . .	39
32	Scénář 2 - vybrané hodnoty proudu v paprskovém zapojení . . . . .	39
33	Scénář 2 - zatížení transformátorů v mřížovém zapojení . . . . .	40
34	Scénář 2 - vybrané hodnoty napětí v mřížovém zapojení . . . . .	40

35	Scénář 2 - vybrané hodnoty proudu v mřížovém zapojení . . . . .	40
36	Scénář 2 - přehled hodnot při odstávce . . . . .	41
37	Scénář 2 - porovnání zatížení vyměněných transformátorů, paprskové zapojení . .	42
38	Scénář 2 - porovnání zatížení vyměněných transformátorů, mřížové zapojení . . .	43
39	Scénář 2 - porovnání zatížení vyměněných transformátorů 2, mřížové zapojení . .	43
40	Scénář 3 - počet dobíjecích stanic v jednotlivých oblastech . . . . .	44
41	Scénář 3 - zatížení transformátorů v paprskovém zapojení . . . . .	44
42	Scénář 3 - vybrané hodnoty napětí v paprskovém zapojení . . . . .	44
43	Scénář 3 - vybrané hodnoty proudu v paprskovém zapojení . . . . .	45
44	Scénář 3 - zatížení transformátorů v mřížovém zapojení . . . . .	45
45	Scénář 3 - vybrané hodnoty napětí v mřížovém zapojení . . . . .	45
46	Scénář 3 - vybrané hodnoty proudu v mřížovém zapojení . . . . .	46
47	Scénář 3 - přehled hodnot při odstávce . . . . .	46
48	Scénář 4 - počet dobíjecích stanic v paprskovém zapojení . . . . .	48
49	Scénář 4 - zatížení transformátorů v paprskovém zapojení . . . . .	48
50	Scénář 4 - vybrané hodnoty napětí v paprskovém zapojení . . . . .	49
51	Scénář 4 - počet dobíjecích stanic v mřížovém zapojení . . . . .	49
52	Scénář 4 - zatížení transformátorů v mřížovém zapojení . . . . .	49
53	Scénář 4 - vybrané hodnoty napětí v mřížové zapojení . . . . .	50
54	Scénář 5 - počet dobíjecích stanic v paprskovém zapojení . . . . .	51
55	Scénář 5 - zatížení transformátorů, paprskové zapojení . . . . .	52
56	Scénář 5 - vybrané hodnoty napětí v paprskovém zapojení . . . . .	52
57	Scénář 5 - zatížení transformátorů, mřížové zapojení . . . . .	52
58	Scénář 5 - vybrané hodnoty napětí v mřížovém zapojení . . . . .	53
59	Plošné hodnoty napětí při odstávce Tr0029 . . . . .	B
60	Vybrané hodnoty napětí při odstávce Tr0029 . . . . .	B
61	Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0029 . . . . .	B
62	Plošné hodnoty napětí při odstávce Tr0031 . . . . .	C
63	Vybrané hodnoty napětí při odstávce Tr0031 . . . . .	D
64	Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0031 . . . . .	D
65	Plošné hodnoty napětí při odstávce Tr0057 . . . . .	E
66	Vybrané hodnoty napětí při odstávce Tr0057 . . . . .	F
67	Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0057 . . . . .	F
68	Plošné hodnoty napětí při odstávce Tr0054 . . . . .	G
69	Vybrané hodnoty napětí při odstávce Tr0054 . . . . .	H
70	Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0054 . . . . .	H
71	Plošné hodnoty napětí při odstávce Tr0055 . . . . .	I
72	Vybrané hodnoty napětí při odstávce Tr0055 . . . . .	J
73	Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0055 . . . . .	J
74	Plošné hodnoty napětí při odstávce Tr0037 . . . . .	K
75	Vybrané hodnoty napětí při odstávce Tr0037 . . . . .	L
76	Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0037 . . . . .	L
77	Plošné hodnoty napětí při odstávce Tr0056 . . . . .	M

---

78	Vybrané hodnoty napětí při odstávce Tr0056 . . . . .	N
79	Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0056 . . . . .	N
80	Plošné hodnoty napětí při odstávce VN1 . . . . .	O
81	Vybrané hodnoty napětí při odstávce VN1 . . . . .	P
82	Plošné hodnoty napětí při odstávce VN2 . . . . .	Q
83	Vybrané hodnoty napětí při odstávce VN2 . . . . .	Q

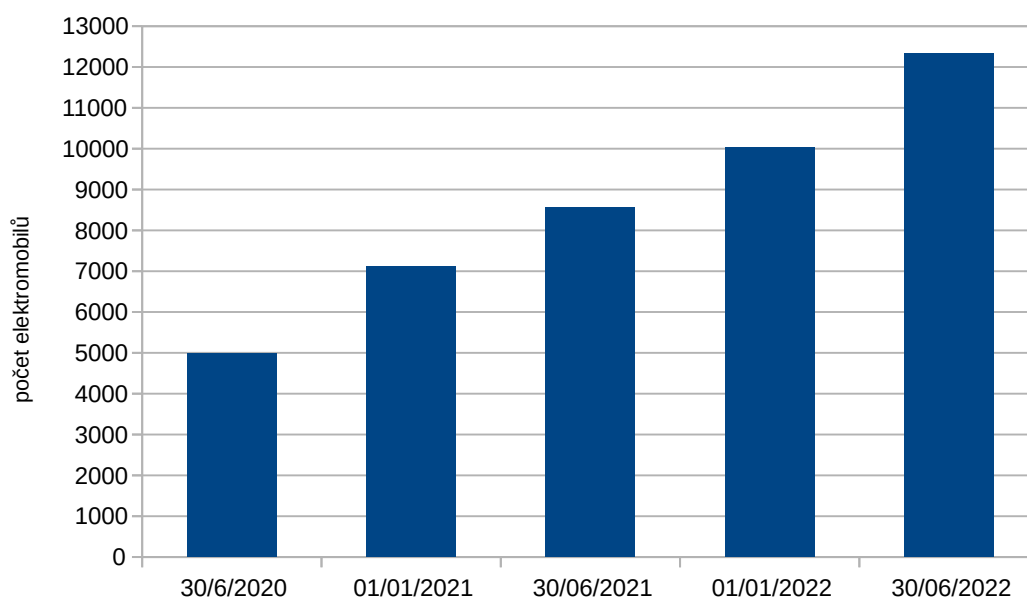
# Úvod

Takzvaná „Zelená dohoda“ [1] stanovuje od roku 2030 podíl vyrobené energie z obnovitelných zdrojů a nasazení elektromobility. Tomu bude potřeba přizpůsobit distribuční sítě, jelikož se zvýší jejich zatížení postupnou implementací veřejných nabíjecích stanic. Toto zatížení nebude konstantní, ale bude se měnit a nárazově zvyšovat. Rozložení zatížení v čase nebude rovnoměrné a projeví se jako vyšší nárazové zatížení sítě (nebo jejích částí). Rychlé změny zatížení se projeví zpětným vlivem na napájecí síť a dojde k ovlivnění kvality napětí. Jedním z řešení by mohla být rekonfigurace topologie stávajících sítí na mřížovou síť, která je oproti stávajícím distribučním sítím tvrdší. Některé sítě byly jako mřížové navrženy, ale provozují se jako paprskové nebo okružní. Pouhou změnou topologie se docílí vyšší zatížitelnosti sítě, spolehlivosti dodávky elektrické energie a kvality elektrické energie bez toho, aby se musela celá síť rekonstruovat. Cílem této práce je navrhnout a analyzovat přepojení stávající paprskové sítě nn na mřížovou síť v lokalitě Plzeň-Slovany. Práce je rozdělena na teoretickou část, kde jsou popsány topologie distribučních sítí a popis provozu mřížové sítě, a na praktickou část, která se věnuje řešení, analýze a porovnání variant provozních stavů zvolené sítě.

# 1 Distribuční síť a elektromobilita

Evropské cíle stanovené Zelenou dohodou směřují Evropu ke snížení emisí skleníkových plynů. Do roku 2030 je plánováno snížit emise osobních automobilů o 55 % a emise dodávek o 50 % v porovnání s hodnotami emisí v roce 1990. Do roku 2035 pak snížit emise z nových automobilů na nulu, tedy od roku 2035 nebude možné koupit nový osobní automobil se spalovacím motorem. V celé Evropské unii je plánováno instalovat více obnovitelných zdrojů a zvýšit účinnost zdrojů, aby se snížily emise skleníkových plynů aspoň o 55 %. Podíl obnovitelných zdrojů z celkové vyrobené elektrické energie bude minimálně 40 %. Na obrázku 3 je vývoj OZE v České republice od roku 2003. Zvýšení účinnosti je závazně stanoveno tak, aby se celková spotřeba primární elektrické energie snížila o 36 až 39 %. [2, 3]

Jak je vidět z obrázku 1, tak se zvyšuje podíl elektromobilů a tento trend bude i nadále rostoucí [4][5]. Jak půjde vývoj dopředu, bude se zvyšovat kapacita baterií, tím pádem i nabíjecí příkon elektromobilu. Na to musí být připravena infrastruktura, aby byl dostatek veřejných dobíjecích stanic. Bude tedy nutné připravit distribuční síť na instalaci nabíjecích stanic, tedy na zvýšení zatížení v sítích. Nabíjecí stanice mohou způsobit zhoršení kvality elektrické energie. Ruku v ruce se zvyšujícím se nabíjecím příkonem (způsobeným zvýšením kapacity baterie) půjde i zlepšení technologie a řízení nabíjecího systému automobilu, čímž se částečně sníží negativní dopady na distribuční síť. Existují stejnosměrné (tzv. rychlo) nabíječky a jedno, dvou i třífázové střídavé nabíječky (pomalé). Střídavé jednofázové nabíječky se vyrábějí o výkonech 2,3 kW, 3,7 kW a 7,4 kW, třífázové 11 kW a 22 kW. Stejnosměrné nabíjecí stanice mají výkon od 50 kW do 450 kW, napájení zajišťuje zabudovaný třífázový usměrňovač. [6]



Obrázek 1: Počet elektromobilů v ČR [4]

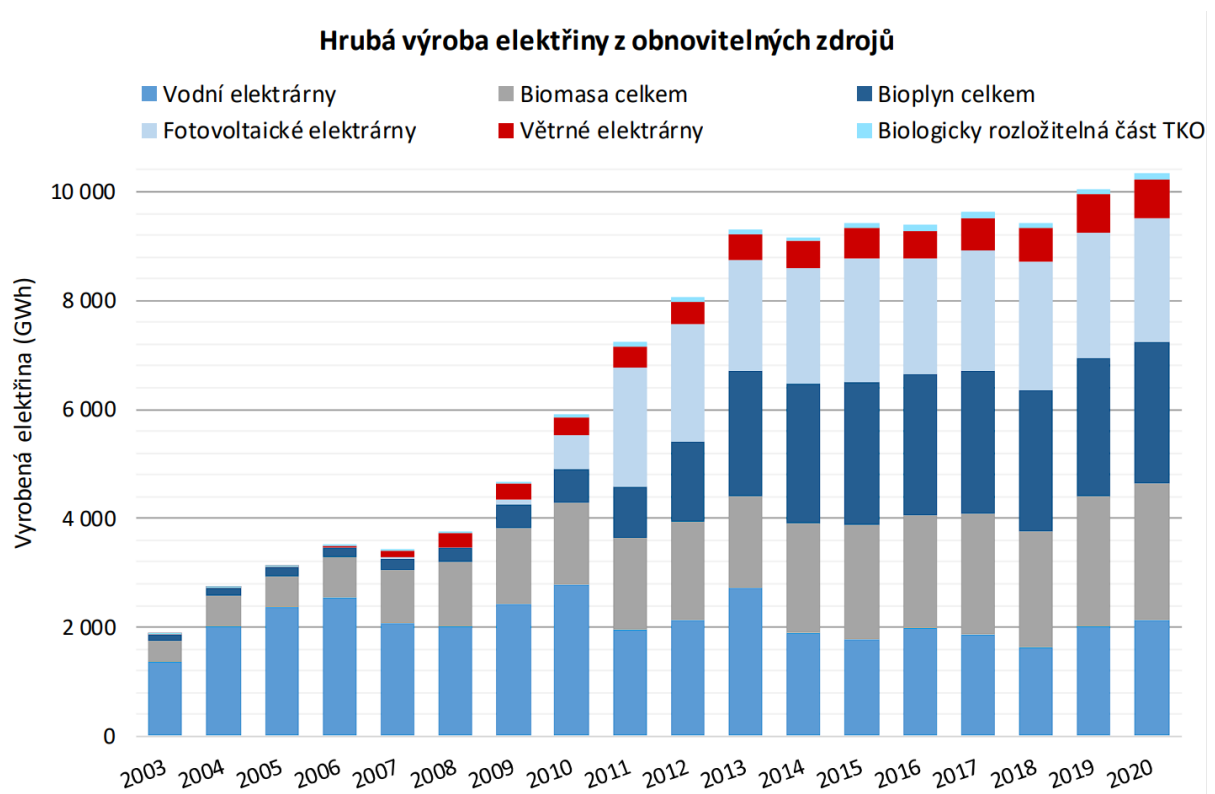


Nabíjení elektromobilu spotřebovává velké množství energie, zvláště prvotní připojení, a pokud je baterie vybitá, způsobí nežádoucí výkonové špičky, viz obrázek 2. Z pohledu provozovatele distribuční sítě je nutné minimalizovat výkonové ztráty během nabíjení elektromobilu a nesmí docházet k přetěžování vedení a transformátorů. Dále musí být zachována předepsaná kvalita elektrické energie (minimalizace vyšších harmonických, rychlých změn napětí atd.), kterou určuje norma ČSN EN 50160 (viz [7]). Dnešní elektronické spotřebiče jsou citlivé na výkyvy napětí, které mohou způsobit jejich výpadek či nesprávné fungování. Z pohledu uživatele elektromobilu je důležité, aby ráno vyjel s plnou kapacitou baterie. Tím se otevírá možnost chytrého nabíjení. Elektromobil by se nabil přes noc, čímž by se výkonové špičky posunuly do nočních hodin, kdy je výrazně nižší spotřeba elektrické energie. [8]



**Obrázek 2:** Příklad dobíjení DC na hladině nn [9]

S vybudováním velkých zdrojů byl dán jasný tok energie od zdroje ke spotřebiteli. S rozvojem elektroniky, kabelizace vedení a hlavně zvýšeného připojování decentralizovaných zdrojů (OZE) už není tok výkonů (činného  $P$  a jalového  $Q$ ) striktně od zdroje ke spotřebiteli, ale dochází k jejich nepředvídatelnému toku. Na to musí reagovat sítě, které byly vybudovány pro jednosměrný tok energie. Problém je především u regulace velikosti napětí pomocí odboček transformátorů. Regulaci mohou zastat právě decentralizované zdroje energie. Kombinací s elektromobily, jejichž baterie může sloužit jako akumulace energie, mohou podpořit kvalitu elektrické energie. [10]



**Obrázek 3:** Množství energie vyrobené z OZE v ČR [11]

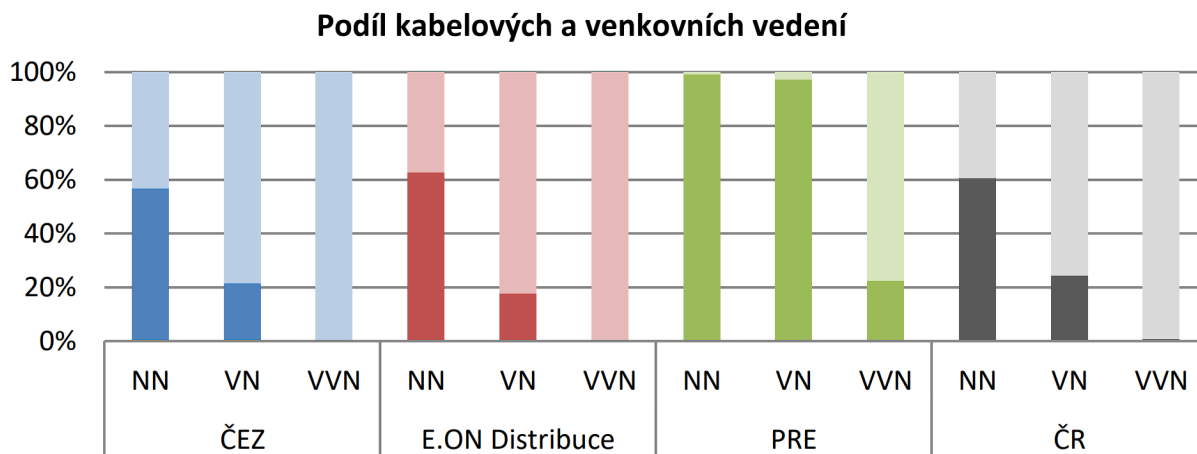
Reakcí na tento vývoj může být přepojení distribučních sítí na mřížový provoz. Výhody mřížové sítě snižují negativa způsobená dobíjecími stanicemi. Můžou být nasazeny různé smart technologie a měřicí přístroje, jako zmíněné chytré dobíjení nebo řízení decentralizovaných zdrojů energie.

## 2 Topologie a provoz distribučních sítí nn

### 2.1 Charakteristika distribučních sítí

Distribuční sítě zásobují elektrickou energií koncové odběratele. Dodávaná elektrická energie musí splňovat předepsanou kvalitu. Kvalita elektrické energie se dá rozdělit na kvalitu dodávky a kvalitu napěťové vlny a jejich zvýšení je závislé mimo jiné na zvolené topologii sítě a provedení vodičů.

Trendem v distribučních sítích je kabelizovat sítě, tj. nahradit venkovní vedení kabelovým vedením. Na obrázku 4 je vidět podíl kabelových a venkovních vzdušných vedení na jednotlivých napěťových hladinách v ČR. Největší míra kabelizace proběhla a stále probíhá na hladině 400 V. Mimo to, že kabelová vedení jsou více estetická a ekologičtější, je hlavním důvodem zvýšení kvality dodávky elektrické energie. Kabelová vedení nemají přechodné poruchy, jak je tomu u vedení venkovních.



**Obrázek 4:** Provozovaná kabelová a venkovní vedení v ČR (převzato z [12])

Ukázalo se, že kabelizace kromě výhod přináší i některé problémy. Při nízkém zatížení kabelové sítě nebo pokud je kabelové vedení naprázdno, dochází k odběru kapacitního jalového výkonu (resp. k dodávce jalového induktivního výkonu) do nadřazené sítě. Tento efekt se projevuje na hladinách vvn a vn, v menší míře i na hladinách nn.

## 2.2 Topologie distribučních sítí

Distribuční sítě zajišťují zásobování odběratelů elektrickou energií, která musí splňovat nároky na kvalitu a dodávané množství. Pro jejich splnění je možné použít různé topologie zapojení sítí, které se volí převážně podle vzdálenosti a velikosti napájecích zdrojů, velikost spotřebičů, požadavky na zajištění dodávky, nepřetržitost dodávky a vzdálenost mezi odběrateli.

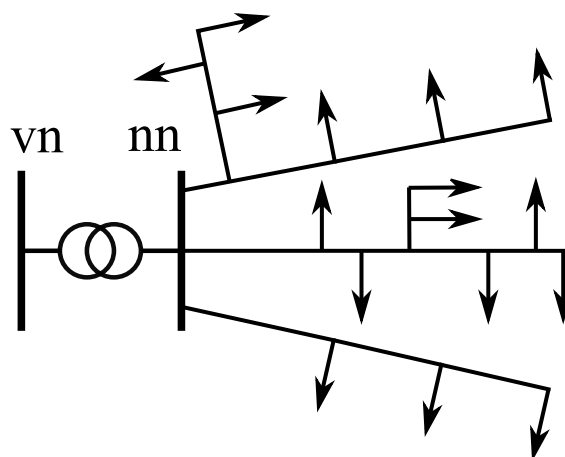
V další části budou blíže popsány jednotlivé topologie distribučních sítí, jejich specifika, výhody a nevýhody a vzájemné porovnání.

### 2.2.1 Paprsková síť

Jedná se o nejjednodušší a nejlevnější zapojení, kdy je síť napájena z jednoho místa, ze kterého vedou jednotlivé napájecí linky vedení (nazývané paprsky) napájející spotřebitele. Při poruše na jednom paprsku dojde k odpojení celé linky vedení a tedy všech spotřebitelů k lince připojených. Tuto situaci lze zlepšit vhodnou volbou chránění, čímž dojde k přerušení elektrické energie na paprsku za poruchou a tedy odpojení jen části připojených spotřebitelů.

Pokud je vývod paprsku dlouhý, můžou se pomocí odboček připojit průběžně další spotřebiče, potom se topologie nazývá paprsková s průběžným rozvodem. Často jsou takto napájeny ma-loodběratelé a pouliční osvětlení. Pokud je napájecí paprsek dlouhý, bude docházet ke kolísání napětí na jeho konci vlivem proměnného odběru.

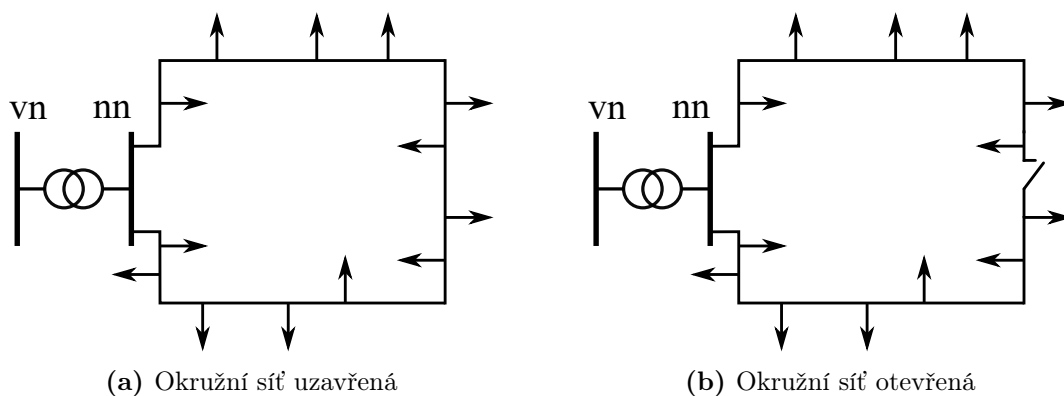
Spolehlivost dodávky lze zvýšit záložním napájením z vedlejšího vývodu. Zkratový výkon sítě je v porovnání s ostatními topologiemi malý, síť je tedy málo tvrdá.



Obrázek 5: Paprsková (radiální) síť

## 2.2.2 Okružní síť

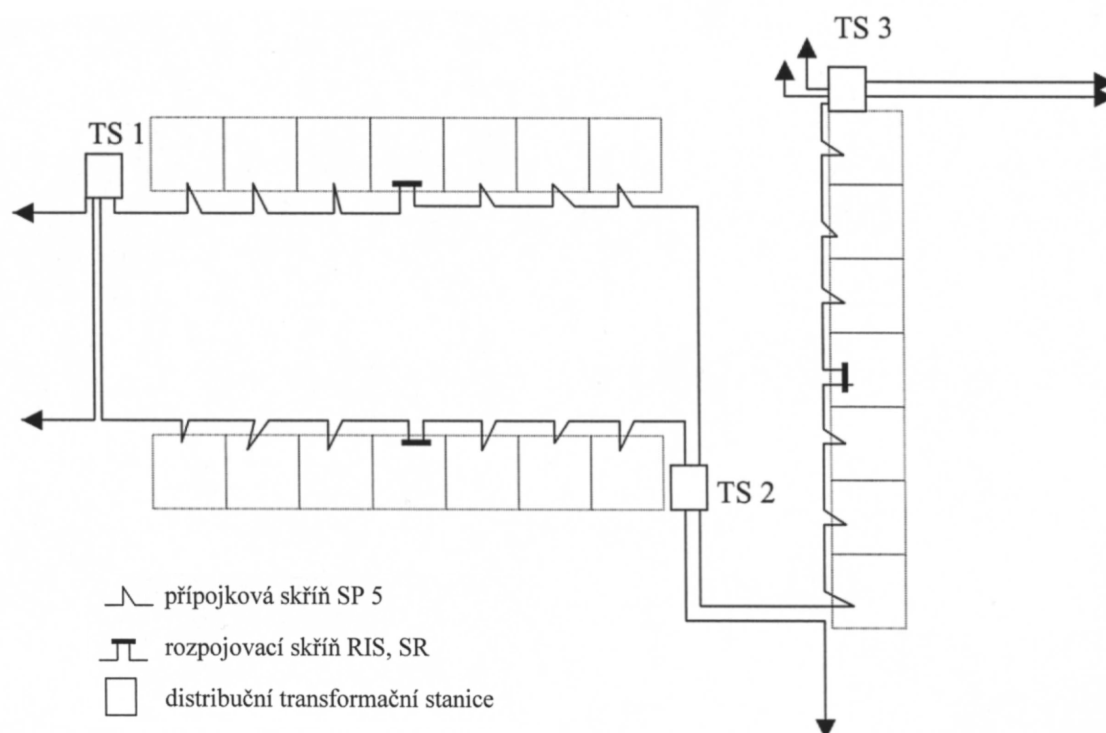
Okružní síť se od paprskové liší v tom, že konec paprsku je připojen na stejné napájecí místo jako začátek, čímž vznikne uzavřený okruh, který je vidět na obrázku 6a. To řeší problém s kolísáním napětí na konci paprsku. Největší úbytek napětí při tomto zapojení bude v polovině okruhu (při symetrickém zatížení) a kolísání napětí bude menší. Zároveň při vhodné volbě chránění dojde při vypnutí poruchy k odpojení malé části odběratelů oproti paprskovému zapojení. Okružní topologie má vyšší spolehlivost dodávky elektrické energie, jelikož poruchu lze izolovat a vzniknou tak 2 samostatné paprsky. Síť lze také provozovat jako paprskovou, kdy je smyčka v některém provozně výhodném stavu rozepnuta. Říká se jí okružní síť otevřená a je uvedena na obrázku 6b.



Obrázek 6: Schéma okružní sítě

Při porovnání paprskového a okružního napájení je z hlediska kvality dodávané elektrické energie lepší okružní, protože má nižší kolísání napětí a vyšší spolehlivost dodávky energie. Zkratový výkon (tvrdość) je vyšší než u paprskové sítě. Z hlediska ekonomického je okružní síť dražší, jelikož vodiče jsou dimenzovány na vyšší zatížení a celková délka je vyšší než u paprskové. [13]

Okružní síť je nejpoužívanější ve městech, jelikož její provoz je jednoduchý a má vyšší spolehlivost než paprsková síť. Příklad návrhu takové sítě je uveden na obrázku 7. Při koordinaci ochran zajišťuje nízké přerušování dodávky elektrické energie a jednoduché vyhledávání poruchy. Pro zvýšení spolehlivosti je možné mít záložní napájení v jiném místě, případně napájet síť ze dvou stran.



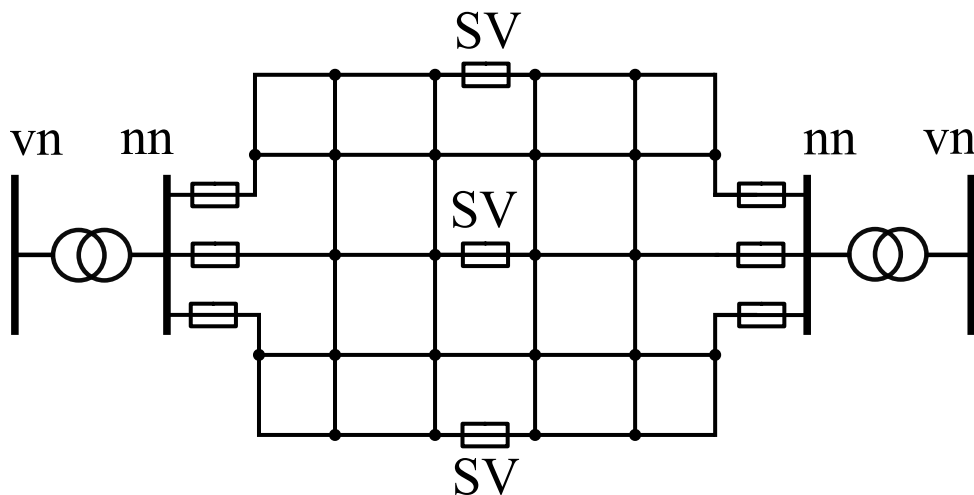
**Obrázek 7:** Příklad návrhu sítě - sídlištní zástavba (převzato z [14])

### 2.2.3 Mřížová síť

Nejdražší a nejspolehlivější je mřížová síť, která je napájena alespoň dvěma nezávislými zdroji. Toto zapojení se používá v oblastech s velkou hustotou odběru elektrické energie. Struktura mřížové sítě je jednoduchá. Kabely vedou souběžně s ulicemi a na křižovatkách jsou spojeny do uzlu (rozvodné skříň).

Vyšší spolehlivost dodávky elektrické energie lze zajistit větším počtem napájecích zdrojů v různých místech, čímž se zároveň sníží úbytky napětí a kolísání napětí v síti. Díky snížení celkové impedance sítě se sníží ztráty v síti a zvýší se zkratový výkon.

Nevýhodou je vysoká finanční náročnost vybudování sítě, jelikož se obvykle realizují jako kabelové a pokládají pod zem. Dále se zvýší zkratové poměry v síti, jelikož celková zkratová impedance se větším propojením sítě snižuje. Hledání poruchy je kvůli většímu propojení obtížné. Je složité navrhnout chránění v síti, protože směr toku výkonu se může měnit a ochrany by pak reagovaly falešně.



Obrázek 8: Jednoduchá mřížová síť

V následující tabulce je porovnání paprskové, zjednodušené mřížové a klasické mřížové sítě.

Tabulka 1: Porovnání vlastností topologií (převzato z [15])

Vlastnosti	Paprsková síť	Zjednodušená mřížová síť	Klasická mřížová síť
Pravděpodobnost výpadku	9000× vyšší	4× až 5× vyšší	1
Jistota zásobování	malá	větší	největší
Velikost napětí: <ul style="list-style-type: none"> <li>• kolísání</li> <li>• úbytek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nestabilní napětí</li> <li>• velký úbytek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• méně kolísá než v paprskové síti</li> <li>• asi poloviční úbytek napětí než v paprskové síti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stabilní napětí, neblíká světlo (flickr)</li> <li>• nejmenší úbytek napětí</li> </ul>
Připojování koncentrovaných odběrů	nelze	do 1/4 $S_N$ transformátoru	do 1/2 $S_N$ transformátoru
Využití transformátorů a vedení	malé využití, nerovnoměrné zatěžování	střední	ušetří 30 % $S_N$ transformátoru, nejlepší využití
Ztráty el. energie	velké	střední	až o 30 % menší než paprsková síť
Zkratové proudy	nejnižší	střední	nejvyšší
Přehlednost sítě	velká	střední	malá
Zpětné napětí při rozpojení	není	je	je
Poruchy v síti vn	výpadek napětí	výpadek napětí	neovlivní napájení
Poruchy v síti nn	výpadek napětí	neovlivní napájení	neovlivní napájení
Cena zařízení	nízká	vyšší	závisí na zatížení

## 2.3 Provozování distribučních sítí

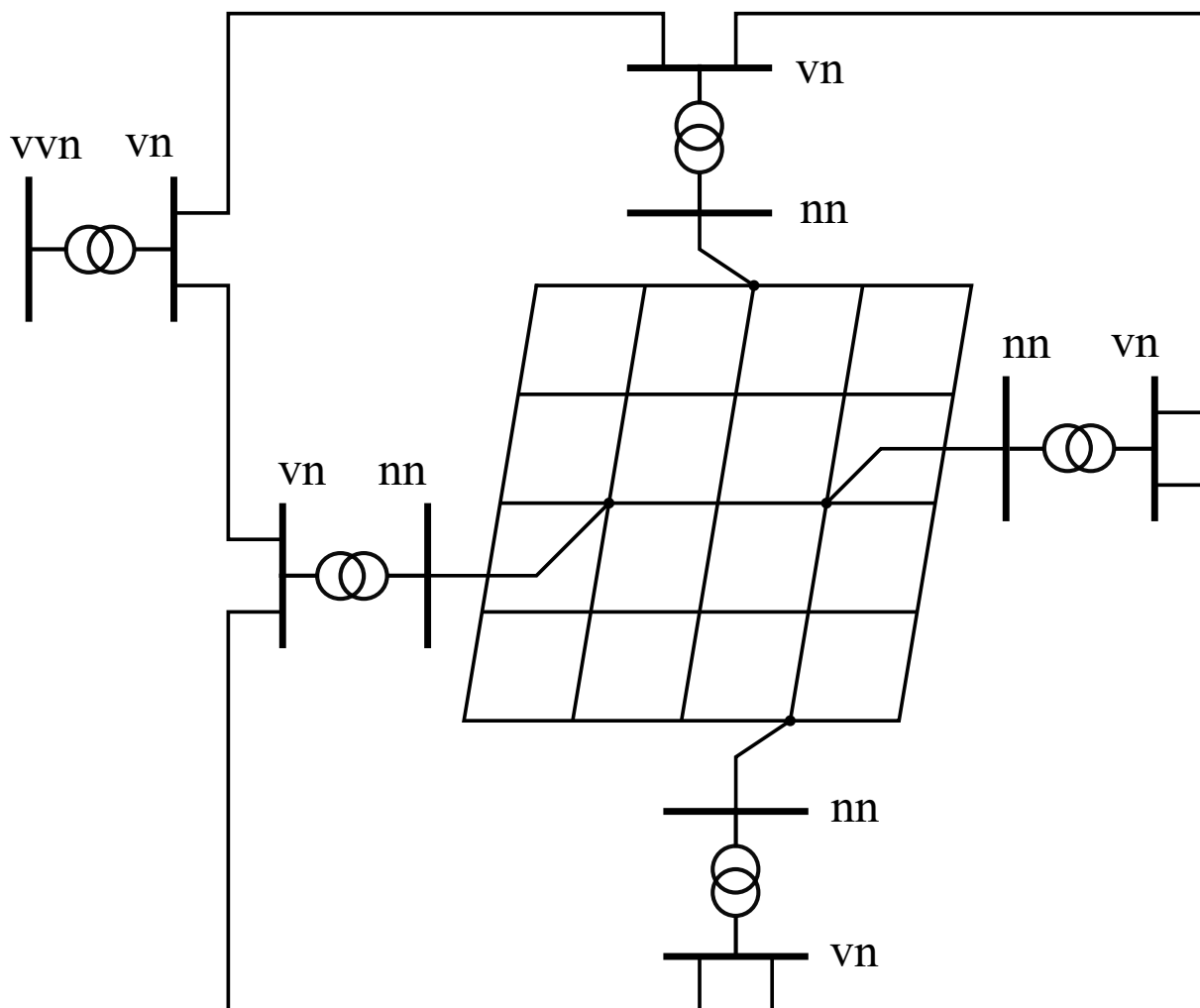
V České republice se provozují distribuční sítě podle hustoty osídlení a důležitosti dodávky elektrické energie. Na vesnicích, kde je nízká hustota osídlení, se provozují jako radiální. Ve městech se sítě provozují jako radiálně zauzlené nebo okružní. Ačkoliv byly sítě projektovány jako mřížové, hustota odběru není tak vysoká a z hlediska řízení pro operátora nejsou zcela přehledné, aby tak byly i provozovány. Nicméně lze z hlediska topologie na mřížový provoz relativně jednoduše přejít.

### 2.3.1 Provozování distribučních mřížových sítí

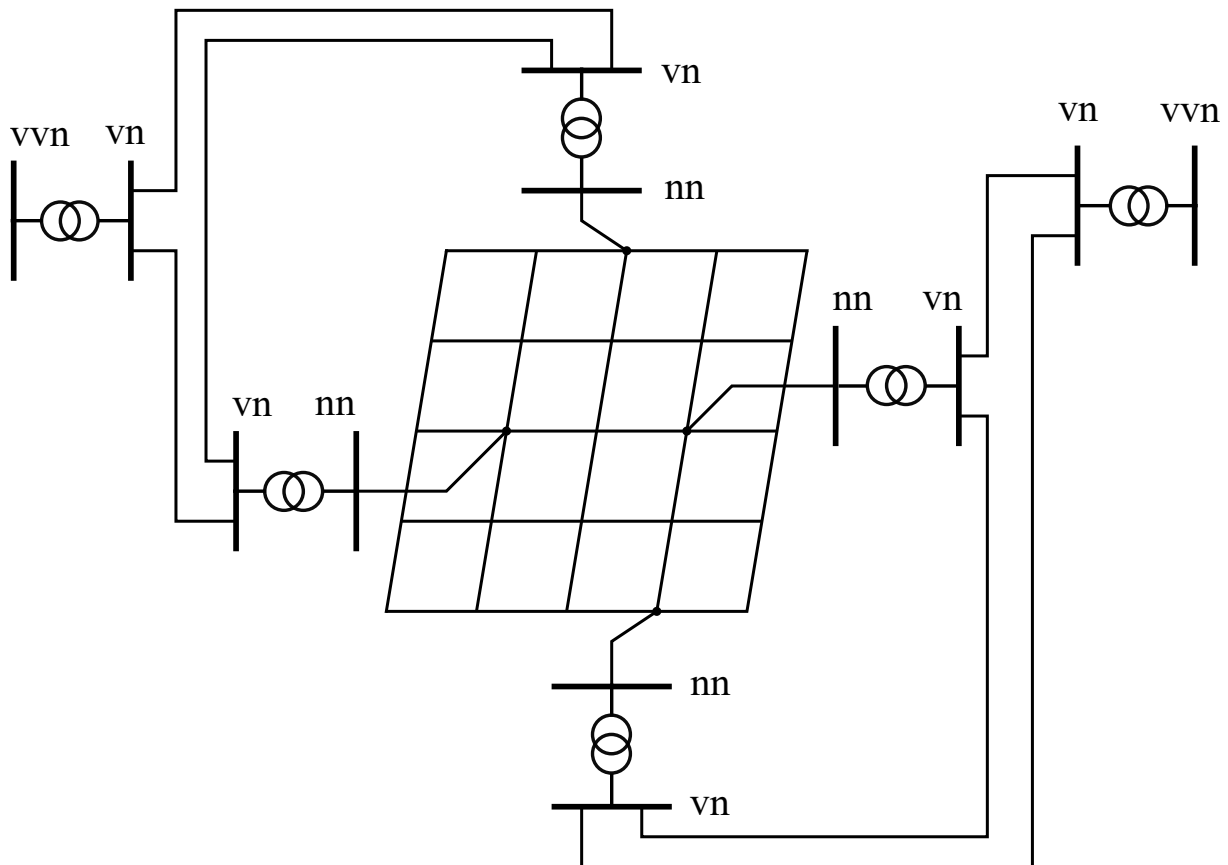
V distribučních sítích nn se k chránění používají pojistky a jističe. V každém uzlu (rozvodné skříni) mřížové sítě je každý vývod jistěn nn pojistkou. U hlavních vedení mezi transformačními stanicemi jsou navíc vytipována místa, která jsou osazena pojistkou slabé vazby (SV, viz obrázek 8). Pojistka slabé vazby má nižší proudové zatížení než hlavní pojistka. Při vzniku poruchy reaguje nejprve pojistka slabé vazby a potom hlavní pojistka. Podle zkušeností a i provozních zkoušek je vhodný poměr jmenovitých proudů hlavní pojistky ku pojistky slabé vazby 2 : 1. V mřížové síti je náročná predikce směru toku výkonu. Může se stát, že dojde k přetavení pojistky, aniž by v síti vznikla porucha. Zatížení pak převezme zdravá část sítě. Je tedy nutné, aby se pravidelně kontrolovaly pojistky ve skříních, což jsou výdaje navíc za pravidelnou údržbu. Pojistky SV je také možné nahradit jističi s automatikou, které mají i nastavitelnou proudovou mez. Stav pojistek, napětí a proudů je možné sledovat měřícími přístroji, které jsou vybaveny dálkovou signalizací. Pojistkové lišty v kompaktních rozvaděčích je možné osadit měřícími lištami. Na ty je možné připojit různé měřící přístroje. Lze tak sledovat napěťové a proudové poměry i stav pojistky. To zvýší finanční náklady na mřížovou síť, ale sníží četnost pravidelné údržby. V mřížové síti je měření velmi důležité, protože usnadňuje údržbu a řízení, případně inovace. Všechny DTS je nutné osadit směrovými ochranami, např. MEg51, které vybaví při přetocích výkonu nebo při poruše na straně nn i vn. [16]

Velkou výhodou mřížových sítí je nepřerušování dodávky elektrické energie při výpadku transformátorové stanice. To je zajištěno při návrhu sítě správným dimenzováním a také volbou napájení transformoven. Zatížení distribučních transformátorů v mřížové síti nesmí být v normálním provozním stavu vyšší než 50 %. Pokud dojde k výpadku jednoho transformátoru (kritérium  $n - 1$ ), musí zatížení převzít ostatní transformátory, aniž by došlo k jejich přetížení. Napájení nn stanic může být z jedné rozvodny, jak je vidět na obrázku 9, nebo z více rozvoden vvn/vn, obrázek 10. více rozvoden zvyšuje spolehlivost sítě. Rozvodny vvn/vn mohou být napájeny z jedné linky vvn (závislé napájení) nebo ze dvou linek vvn (nezávislé napájení). Pokud je napájení rozvoden vvn/vn nezávislé, musí být zajištěno, aby při poruše v síti nn nedošlo k propojení přenosových vvn sítí. Spolehlivost sítě z hlediska napájení je nejvyšší, pokud je napájení transformoven vn/nn realizováno z více nezávislých rozvoden vn.





Obrázek 9: Napájení mřížové sítě z jedné rozvodny



Obrázek 10: Napájení mřížové sítě ze dvou rozvodů

### 2.3.2 Využití mřížových sítí v ČR

Mřížové sítě se na území České republiky neprovozují (kromě dvou výjimek), jelikož hustota odběrů městských sítí není tak velká, aby bylo nutné realizovat mřížovou síť. Kvůli údržbě sítě a složitosti zapojení je obtížné vyhledat poruchu, proto je lepší provozovat síť jako okružní, případně radiální zauzlenou. Tyto nevýhody se dají minimalizovat měřicími a signalizačními měřicími systémy.

V České republice se provozuje mřížová síť v Šumperku a v Brno-Střed. Reálným měřením sítě Šumperk bylo ověřeno, že díky nasazení měřicí techniky lze eliminovat negativa mřížových sítí. Dálková signalizace stavu pojistek MEG72 eliminuje pravidelnou kontrolu pojistek a sníží se tak náklady na údržbu v síti. Směrová ochrana MEG51 zamezuje přetokům výkonu do nadřazené sítě. Vznik poruch v síti je velmi malý a pokud nějaká porucha nastane, tak nedojde k odpojení odběratelů. Je tedy možné provádět v síti opravy, aniž by muselo dojít k přerušení dodávky elektrické energie odběratelům. Doba vyhledávání poruchy je díky měření velmi nízká. Z měření dále vyplývá, že je příznivě ovlivněna kvalita elektrické energie. Sníží se úroveň vyšších harmonických i hodnota flikru, který je způsoben změnami zátěže. [17]

### **Mřížové sítě ČEZD**

Společnost ČEZ Distribuce provozuje jednu mřížovou síť v městské síti Šumperk v rozsahu 40 DTS. Aktuálně je modernizována novou generací přetokových ochran a signalizací stavů pojistek a hlavních jističů v DTS. Cílem aktivity je možnost on-line řízení sítě dispečerem. Probíhá zkušební provoz pro ověření paralelního propojování sítí nn s využitím indikace stavu pojistek slabých vazeb v rozsahu 6 sítí, 25 DTS a paralelního propojování sítí nn s využitím jističů s dálkovým ovládním v rozsahu jedné sítě o 3 TS. [18]

### **Mřížové sítě EG.D**

V minulosti bylo v Brně provozováno několik mřížových sítí distributorem EG.D. Jednalo se především o lokality panelových sídlišť (Líšeň, Bystrc, Bohunice aj.). Postupem času byly všechny tyto sítě překonfigurovány na paprskový provoz, kromě dodnes provozované mřížové sítě Brno-Střed. Ta zahrnuje 69 DTS a je připravováno doplnění o 7 manipulačních bodů vn a také měření vývodů nn v DTS. Tato síť je aktuálně v rámci ES4G (TAČR-Théta) podrobena podrobnější analýze (optimalizace provozu, citlivostní analýza robustnosti, stability a mezních stavů). Pilotně byla v Brně–Bohunicích provozována mřížová síť v rozsahu 6 DTS a s monitoringem nn v místech slabé vazby. [18]

### **Mřížové sítě PRE**

V minulosti byla provozována mřížová síť distributorem Pražská Energetická v lokalitách Praha Smíchov, Letná, Vinohrady. Další mřížové sítě nn se v současné době v Praze neplánují. Nyní jsou tyto sítě provozovány paprskově. PRE plánuje provoz zjednodušené mřížové sítě, kde se propojí dva distribuční transformátory napájené ze dvou různých vn vývodů. Cílem je monitoring toků v síti nn, prověření funkčnosti sekundární techniky a pojistek slabé vazby. [18]

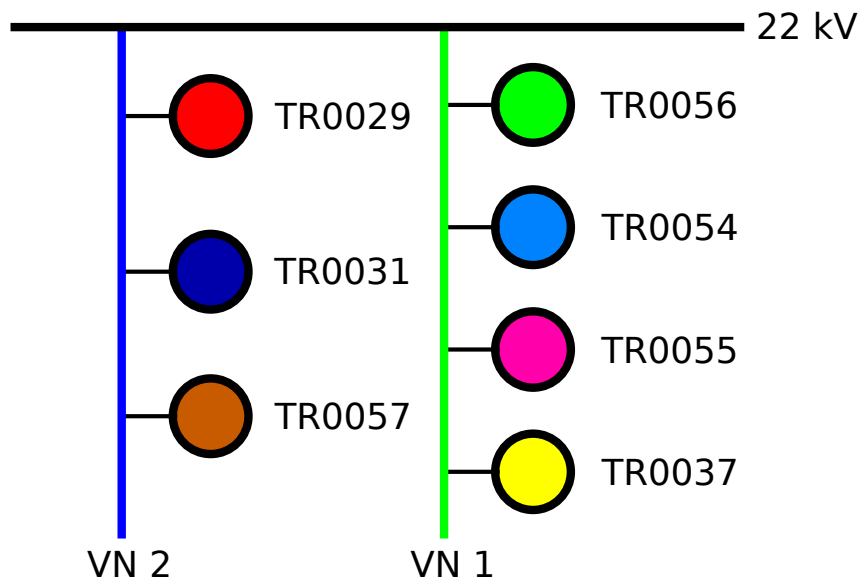
## 3 Praktická část

V této části práce se budu zabývat přínosy přepojení stávajícího zapojení sítě na síť mřížovou. Ověřím výhody, které zmiňuji v teoretické části (vyšší tvrdost, spolehlivost dodávky atd.) a také možný přínos do budoucna pro elektromobilitu. Rozvoj elektromobility vyžaduje hlavně přípravu infrastruktury pro dobíjecí stanice. Zkoumám, zda změna topologie distribuční sítě na mřížovou umožní vyšší zatížení sítě implementací dobíjecích stanic pro elektromobily.

Výpočty chodu sítě provádím v softwaru DAISY PAS Bizon, který mi zapůjčila společnost ČEZ Distribuce. Nejprve popisuji a analyzuji stávající zapojení a jeho ustálený chod. V ustáleném chodu mě zajímají napěťové poměry v síti, zda jsou napětí ve všech uzlech v povolených mezích. Dále nesmí být přetíženo žádné zařízení (transformátory a vedení). V rozpojovacích skříních jsem zvolil vhodná místa pro přepojení na mřížovou síť, kterou jsem popsal a analyzoval ustálený i poruchový chod. Dále jsem posoudil přínos mřížové topologie na rozvoj elektromobility, kdy řeším 5 scénářů s připojenými dobíjecími stanicemi.

### 3.1 Analýza stávajícího zapojení sítě nn

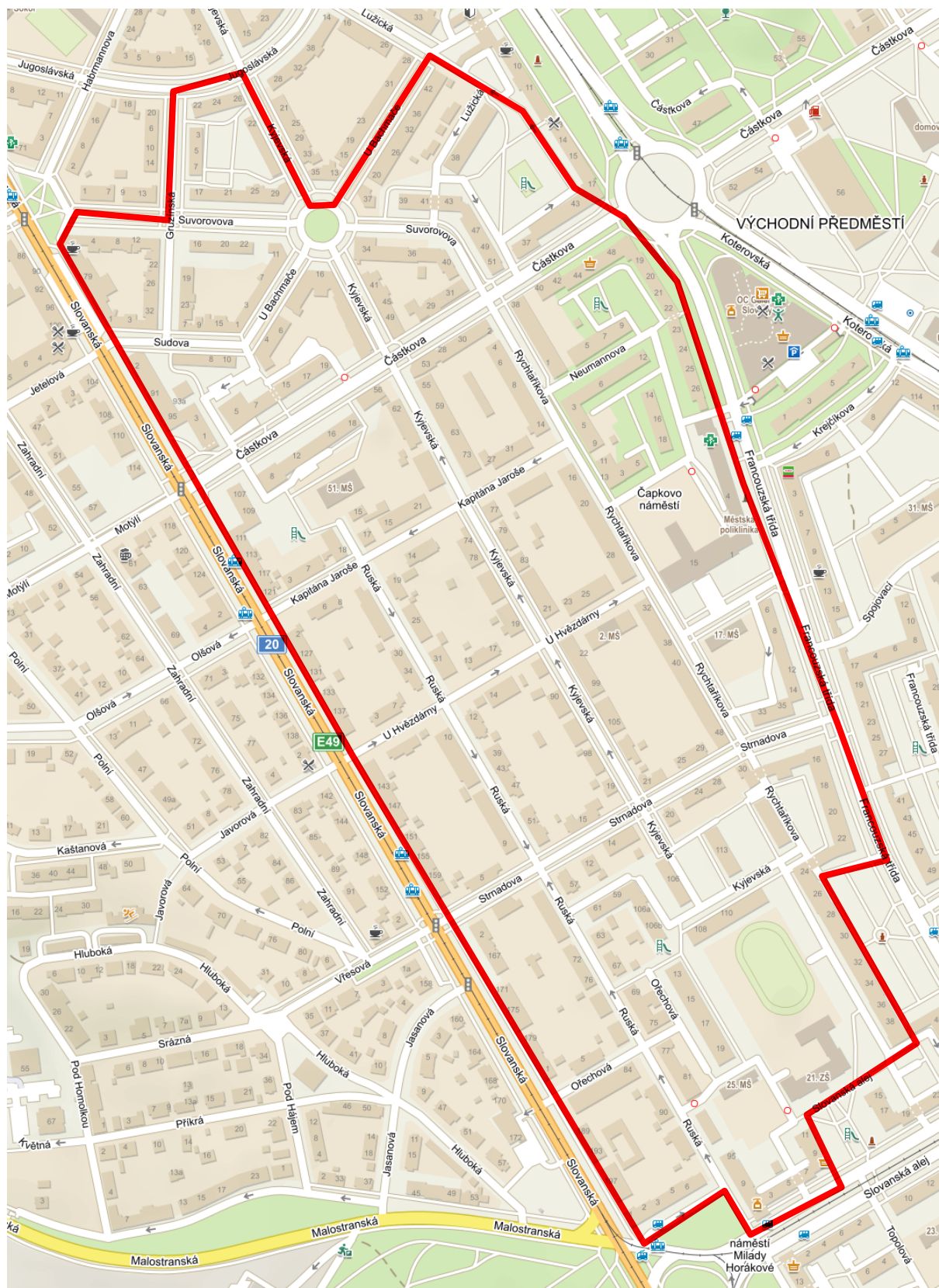
Jako vhodná síť byla vybrána část sítě v oblasti Plzeň Slovany mezi Slovanskou a Francouzskou třídou. Tato síť byla vybrána proto, že je napájena dvěma vývody vn (značenými jako VN 1 a VN 2) z rozvodny 22 kV a tyto dva napáječe mají společnou nadřazenou rozvodnu 110 kV. Zjednodušené schéma napájení je na obrázku 11. Síť nízkého napětí je napájena z celkem 7 DTS. Transformátory mají jmenovitý převod  $p = 22/0,4$  kV a je nutné, aby měly všechny stejný převod. Pokud by se převod lišil, v některých místech v síti dojde ke zvýšení napětí při přepojení na mřížovou topologii. Ještě před přechodem na mřížové zapojení je potřeba sjednotit převody transformátorů. Instalovaný výkon transformátorů je 400 kVA a 250 kVA. Celkový instalovaný výkon transformátorů je 2,75 MVA. Napájení transformátorů je ze dvou napáječů vn a každý napájí jednu polovinu sítě (jak je vidět na obrázku 13).



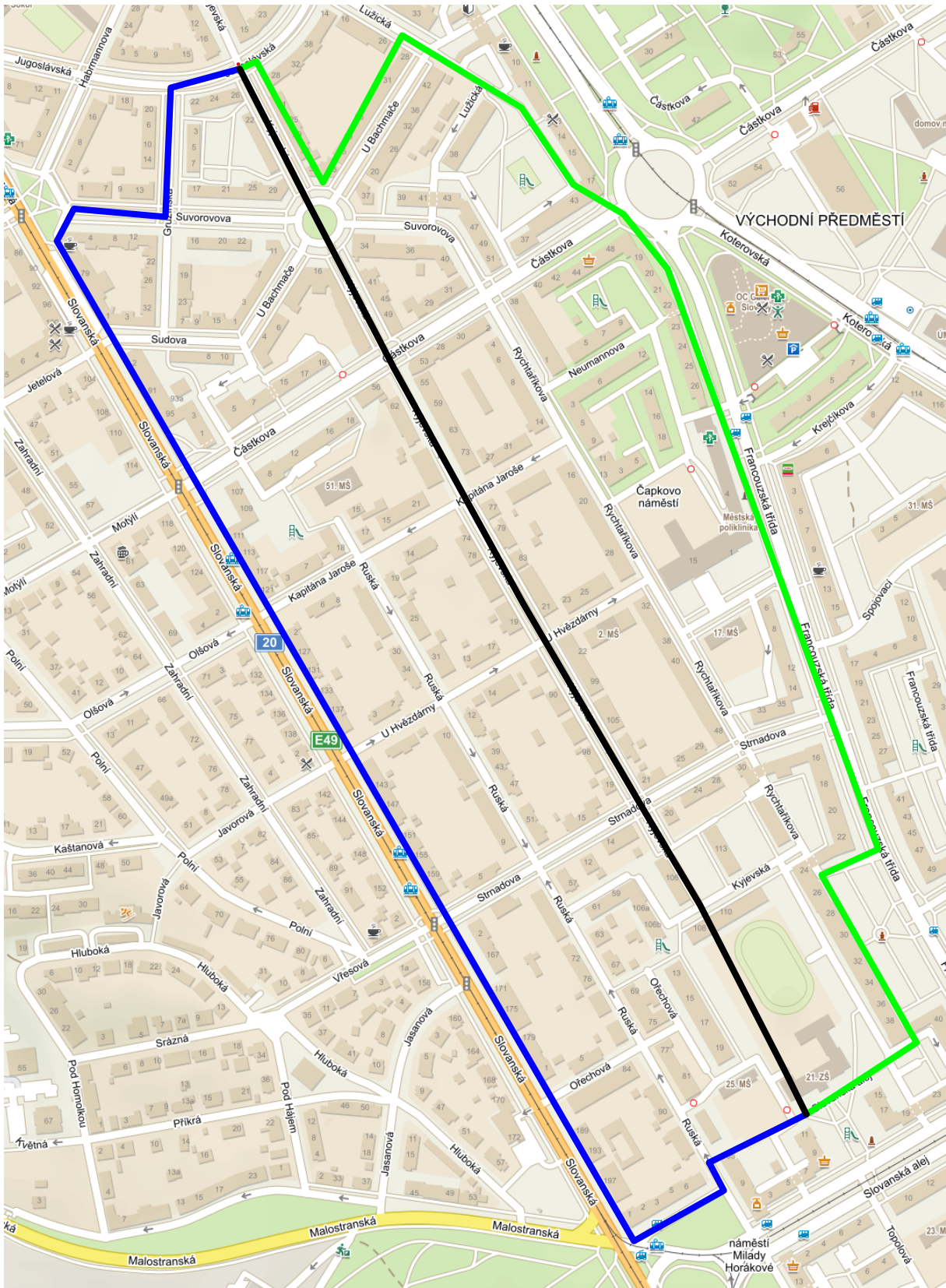
Obrázek 11: Zjednodušené schéma napájení zvolené sítě z rozvodny 22 kV

Ve stávajícím zapojení je oblast rozdělena na sedm částí, kde každou část napájí jeden transformátor. Na obrázku 14 jsou barevně vyznačené jednotlivé oblasti a transformátory. Vedení sítě nn je provedeno kabelovým vedením s různým průřezem (např.  $3 \times 70 + 70 \text{ mm}^2$ ,  $3 \times 120 + 70 \text{ mm}^2$ ,  $3 \times 240 + 70 \text{ mm}^2$ ). Celková délka kabelového vedení je 19,9 km.

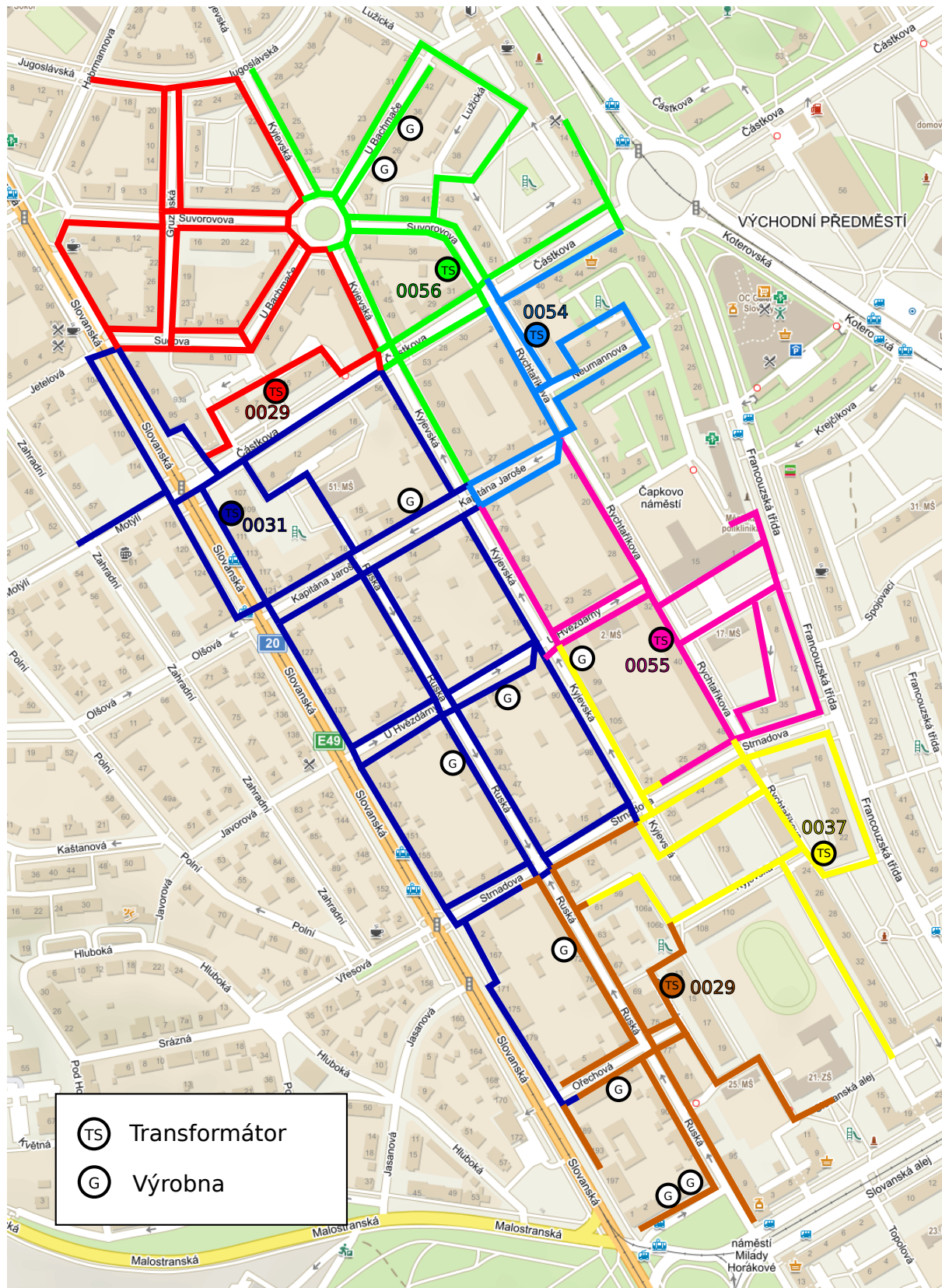
Do sítě jsou připojené i výrobní. Jedná se o fotovoltaické elektrárny umístěné na objektu (budově). Celkem je v síti 10 výroben, všechny FVE, které dodávají do sítě činný výkon  $P_{\text{dod}} = 41,5 \text{ kW}$ .



Obrázek 12: Vyznačení zvolené lokality



Obrázek 13: Napájení stávající sítě z napaječů VN 1 (zelený) a VN 2 (modrý)



Obrázek 14: Vyznačení oblastí napájených jednotlivými transformátory ve stávajícím zapojení sítě



### 3.1.1 Výpočet ustáleného chodu sítě

Abych mohl posoudit přínos mřížové sítě, musím mít data ze stávajícího zapojení, která pak budu porovnávat s navrženým mřížovým zapojením. Výpočtem ustáleného chodu získám hodnoty napětí v síti, proudové zatížení kabelů a zatížení transformátorů.

V ustáleném stavu se nevyskytuje žádná porucha a není odstaveno žádné zařízení. Zatížení sítě při simulaci je maximální zatížení v zimním období (leden), jeho hodnota je 1165 kW. Provedením výpočtu jsem získal potřebná data o napěťových a proudových poměrech v síti. Tabulka 2 ukazuje krajní a průměrné hodnoty napětí. V tabulce 3 jsou hodnoty napětí ve zvolených uzlech. V tabulce 4 jsou hodnoty proudu zvolených kabelových vedení. Hodnoty jsem zvolil takové, u kterých se předpokládá největší změna při přepojení na mřížovou síť.

**Tabulka 2:** Hodnoty napětí v ustáleném stavu

Počet uzlů	$U_{\min}$ (V)	$u_{\min}$ (%)	$U_{\max}$ (V)	$u_{\max}$ (%)	$U_{\text{avg}}$ (V)	$u_{\text{avg}}$ (%)
1034	389	97,3	420	105,0	411	102,7

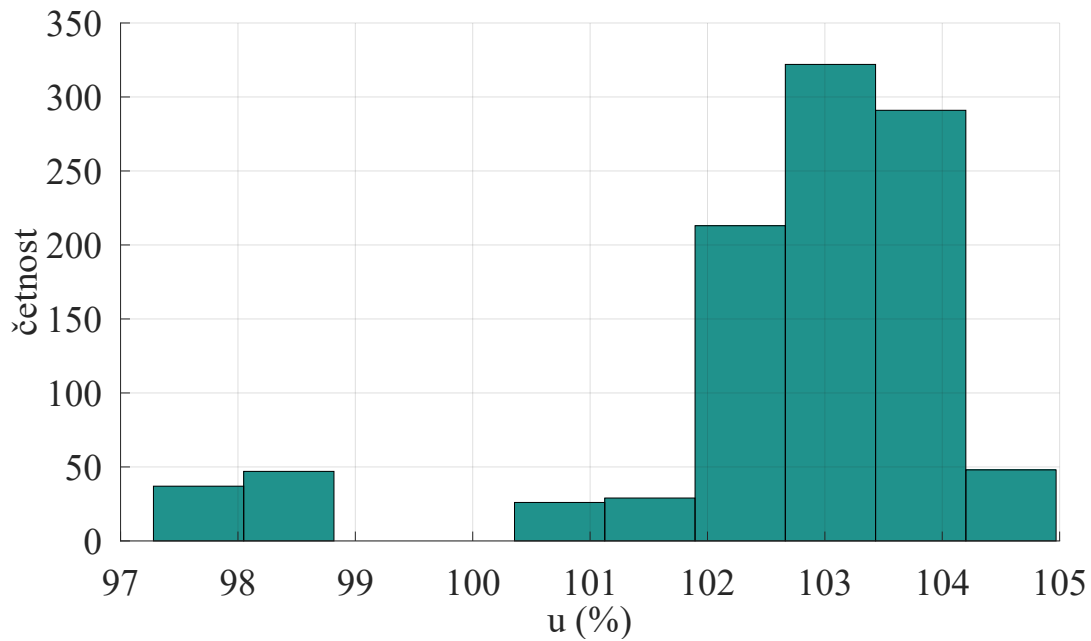
V následující tabulce 3 jsou hodnoty napětí pro vybrané uzly. Kompletní přehled o hodnotách napětí v poměrných hodnotách je v grafu 15. V tabulce 4 je proudové zatížení vybraných kabelů. Nejvíce zatížený kabel je na 58,9 %, čemuž odpovídá proud 110,7 A. Poměrné proudové zatížení kabelů v síti je pak zobrazeno v grafu 16.

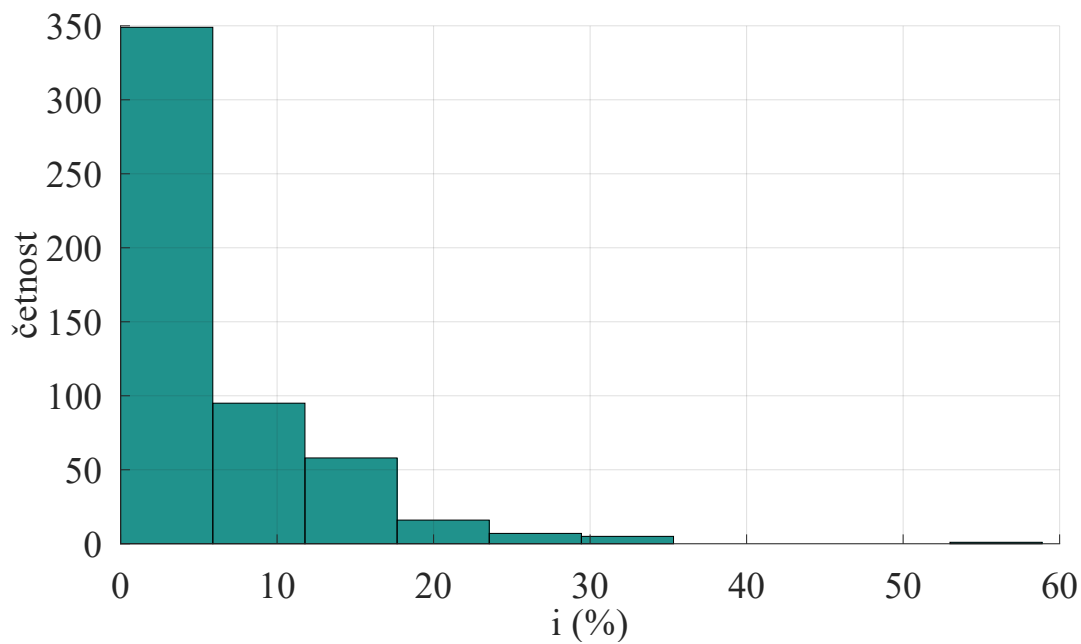
**Tabulka 3:** Vybrané hodnoty napětí - stávající zapojení

Název uzlu	Značení	U (V)	$U_f$ (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	$U_1$	404,6	233,6	101,1
01-0023_/R1194_/W1	$U_2$	390,1	225,2	97,5
001-0023_/1490_/01	$U_3$	411,1	237,3	102,8
01-0023_/B1065_/01	$U_4$	394,5	227,8	98,6
001-0023_/1610_/01	$U_5$	414,0	239,0	103,5
01-0023_/R3211_/W1	$U_6$	410,5	237,0	102,6
01-0023_/R2990_/W1	$U_7$	414,6	239,4	103,6
001-0023_/A391_/01	$U_8$	408,3	235,7	102,1
001-0023_/1017_/01	$U_9$	409,9	236,6	102,5
01-0023_/R1206_/W1	$U_{10}$	415,0	239,6	103,7
001-0023_/1030_/01	$U_{11}$	406,1	234,4	101,5
001-0023_/1178_/01	$U_{12}$	410,7	237,1	102,7

**Tabulka 4:** Vybrané hodnoty proudu - stávající zapojení

Název kabelu	$I_{\max}$ (A)	$i$ (%)
994_270818_2989641	188	58,9
994_270818_2939022	371	34,6
994_270818_4092101	252	32,9
994_270818_2577720	252	32,6
994_270818_2817102	252	30,8
994_270818_2630169	371	29,8
994_270818_6629236	252	28,5
994_270818_2602675	188	29,0
994_270818_2718100	253	14,0
994_270818_2854051	304	10,3
994_270818_2827811	188	17,8
994_270818_6629237	252	23,9
994_270818_2856460	188	15,8

**Obrázek 15:** Četnost poměrného napětí ve stávající síti



**Obrázek 16:** Četnost poměrného proudového zatížení kabelů ve stávající síti

### 3.1.2 Vyhodnocení zatížení transformátorů vn/nn

#### Transformátor 0029

Tento transformátor je na obrázku 14 znázorněn červenou barvou. Vybrané parametry transformátoru 0029:

- $S_{\text{inst}} = 400 \text{ kVA}$
- $p = 22/0,4 \text{ kV}$

Transformátor napájející oblast dodává činný výkon  $P = 199,1 \text{ kW}$  a jalový výkon  $Q = 65,2 \text{ kVAr}$ . Zatížení transformátoru  $\gamma$  je:

$$\gamma = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{S_{\text{inst}}} \cdot 100 = \frac{\sqrt{199,1^2 + 65,2^2}}{400} \cdot 100 = 52,4 \%$$

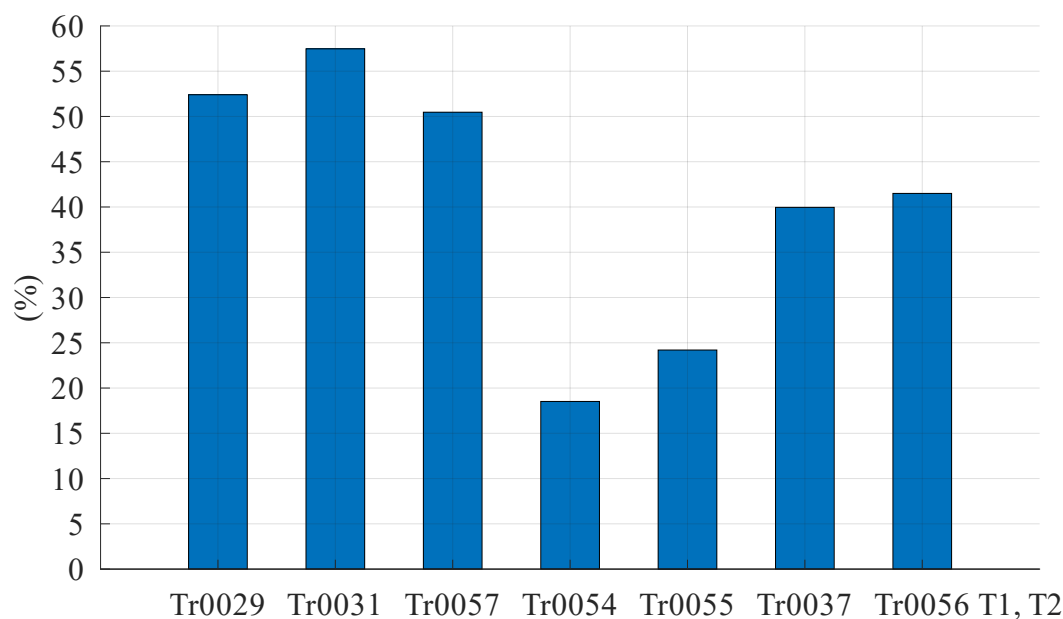
Stejným postupem byla vyhodnocena zatížení pro ostatní transformátory, přehled hodnot je v tabulce 5. Sloupec *Barva* udává barevné označení transformátoru na obrázku 14. Transformátor 0056 se od ostatních odlišuje, protože jsou to dva stejné transformátory zapojené paralelně.

**Tabulka 5:** Přehled zatížení transformátorů

Označení	Barva	$S_{inst}$ (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma$ (%)
0029	červená	400	199,1	65,2	52,4
0031	tmavě modrá	400	217,0	75,8	57,5
0057	hnědá	250	118,1	44,4	50,5
0054	světle modrá	400	70,4	23,1	18,5
0055	růžová	400	91,4	31,9	24,2
0037	žlutá	400	151,9	49,9	40,0
0056 T1	zelená	250	98,3	33,2	41,5
0056 T2	zelená	250	98,3	33,2	41,5

### 3.1.3 Zhodnocení transformátorů

V grafu na obrázku 17 je vidět, jak jsou zatíženy jednotlivé transformátory. Průměrné zatížení je  $\gamma = 40,9$  %. Nejvíce zatížený je transformátor 0031 na 57,5 %, což je z důvodu nižšího jmenovitého výkonu (250 kVA), nejméně zatížený je transformátor 0054 na 18,5 %.

**Obrázek 17:** Poměrné zatížení transformátorů

### 3.1.4 Provozní stav plánovaná odstávka

Odstavením transformátoru v paprskovém provozu dojde k přerušení dodávky elektrické energie v dané oblasti. Síť je rozdělena na 7 částí, které se vzájemně neovlivňují.

#### Odstávka transformátoru

Při odstávce transformátoru dojde k výpadku napájení celé oblasti, kterou transformátor

napájí. Napětí a proudy zůstanou ve zbytku sítě stejné.

### **Odstávka VN 1**

Jedná se o stav, kdy je jeden z napáječů rozvodny vn vyřazen z provozu buď plánovanou odstávkou nebo důsledkem poruchy (doba trvání pak záleží na charakteru poruchy). V obrázku 13 je oblast, kterou napáječ VN 1 napájí, znázorněna zelenou barvou. Dojde k výpadku energie pro transformátory 0054, 0055, 0037, 0056. Napětí a proudy ve zbytku sítě, která je napájena z druhé rozvodny, zůstanou beze změny.

### **Odstávka VN 2**

Jedná se o stejný provozní stav jako u odstávky VN 1, ale dojde k výpadku druhého napáječe vn. V obrázku 13 je oblast s výpadkem dodávky znázorněna modrou barvou. Dojde k výpadku energie pro transformátory 0029, 0031, 0057. Napětí a proudy ve zbytku sítě, která je napájena z napáječe VN 1, zůstanou beze změny.

#### **3.1.5 Zhodnocení stávajícího zapojení**

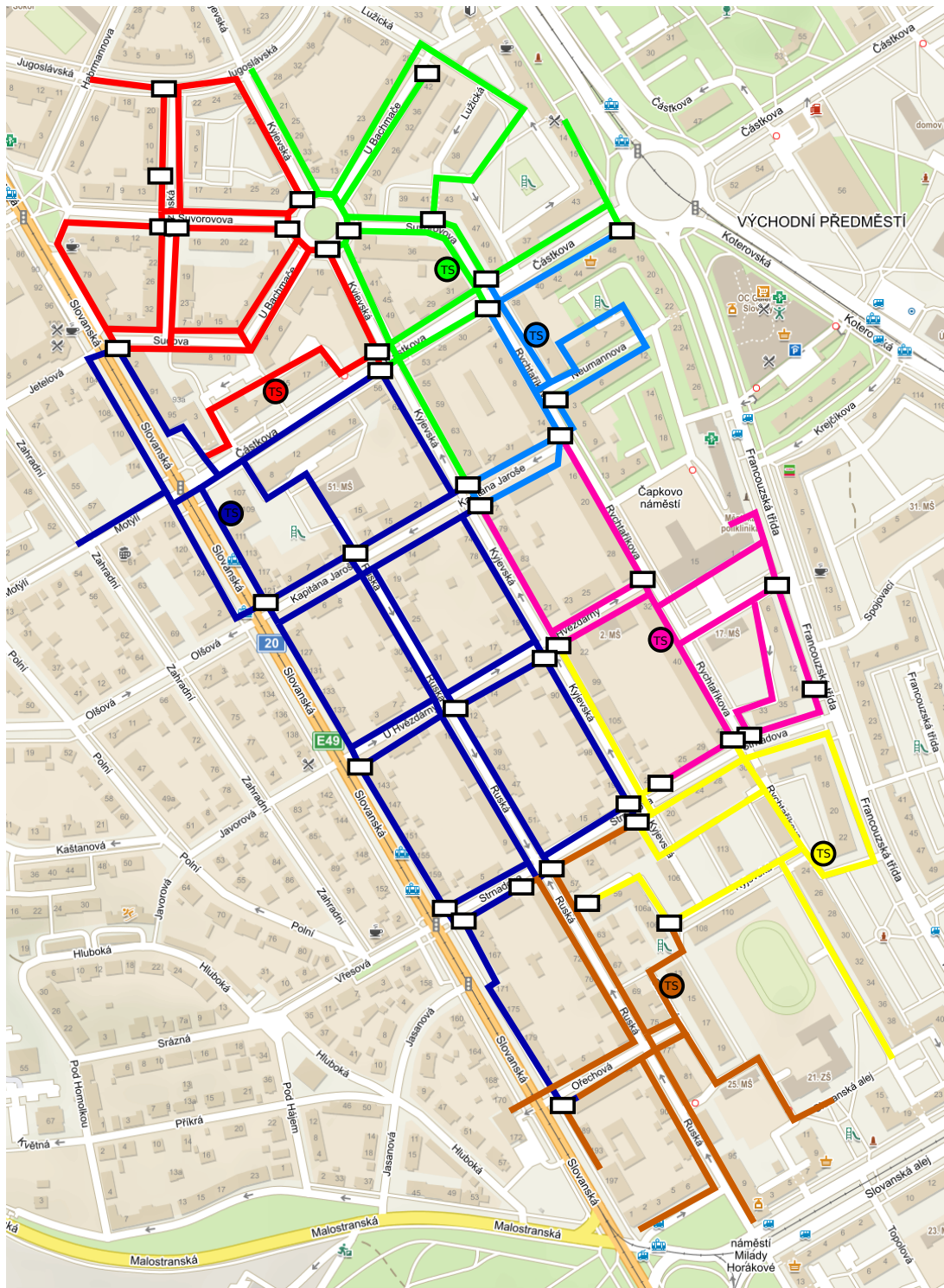
Výhodou je přehlednost sítě pro dispečera. V ustáleném stavu nedochází k přetěžování žádného prvku v síti. Nevýhodou jsou poruchové stavy z hlediska dodávky elektrické energie. Pokud dojde k výpadku transformátoru vn/nn, tak jsou všichni odběratelé v dané oblasti, kterou transformátor pokrývá, bez dodávky elektrické energie. Zároveň výhodou je hledání vzniklé poruchy. Výhoda je také při návrhu ochran a jejich selektivita, jelikož nedochází k nepředvídatelnému toku výkonu.

## **3.2 Návrh mřížového zapojení**

Aby bylo možné přejít na mřížový provoz, musí být sjednocený převod distribučních transformátorů, jinak dojde ke zvýšení napětí v některých místech v síti. Ke změně topologie dojde přidáním výkonových pojistek nn do rozpojovacích skříní, čímž se propojí radiální sítě dohromady. Rozpojovací skříně jsou umístěné poblíž silničních křižovatek, kde se sbíhají jednotlivé paprsky. Rozpojovací skříně jsou vidět na obrázku 18.

Cílem bylo propojit síť v co nejvíce místech, aby se výkonové toky uzavírali nejkratšími cestami a nedocházelo tak ke zbytečnému přetěžování kabelů a ztrátám. Zároveň se tak zvýší kvalita dodávky elektrické energie při výpadku distribučního transformátoru, dále se zvýší tvrdost sítě (viz tabulka 1). Výkonovými pojistkami nn jsem propojil paprskové sítě v rozpojovacích skříních. Na obrázku 18 je v každé skříně napsaný počet pojistek, které jsem do rozpojovací skříně přidal. Celkem vychází počet potřebných výkonových pojistek nn na 73 kusů. Při simulaci mřížové sítě je nutné ověřit, že nedocházelo k přetěžování žádného zařízení. Pokud dochází k přetížení, tak je nutné zavést patřičná opatření, např. přidat další kabelové vodiče nebo přerušit spojení v rozpojovací skříně. K přetěžování

nesmí dojít ani při simulaci odstávky (resp. poruchového stavu), jinak je potřeba instalovat pojistky slabé vazby, které způsobí rozpad mřížové sítě.



Obrázek 18: Vyznačení rozpojovacích skříní, kde došlo k přepojení na mřížovou síť

### 3.2.1 Výpočet ustáleného chodu mřížové sítě

Při simulaci ustáleného stavu je vidět, jak se zvýšila tvrdost v síti, čímž se plošně zvýšila a rovnoměrně rozložila hodnota napětí v ustáleném stavu, zvýšila se také nejnižší hodnota napětí. Nedochozí k přetížení žádného prvku, oproti původnímu zapojení pokleslo nejvyšší zatížení kabelu. Plošné hodnoty napětí jsou uvedeny v tabulce 6. Hodnoty napětí pro vybrané uzly jsou v tabulce 7. Pro celkový přehled o rozložení napětí v mřížové síti jsou v grafu 19 uvedeny četnosti poměrného napětí ve stávající síti a v mřížové síti. V grafu 20 je stejně porovnáno proudové zatížení kabelových vedení.

**Tabulka 6:** Hodnoty napětí v ustáleném stavu mřížové sítě

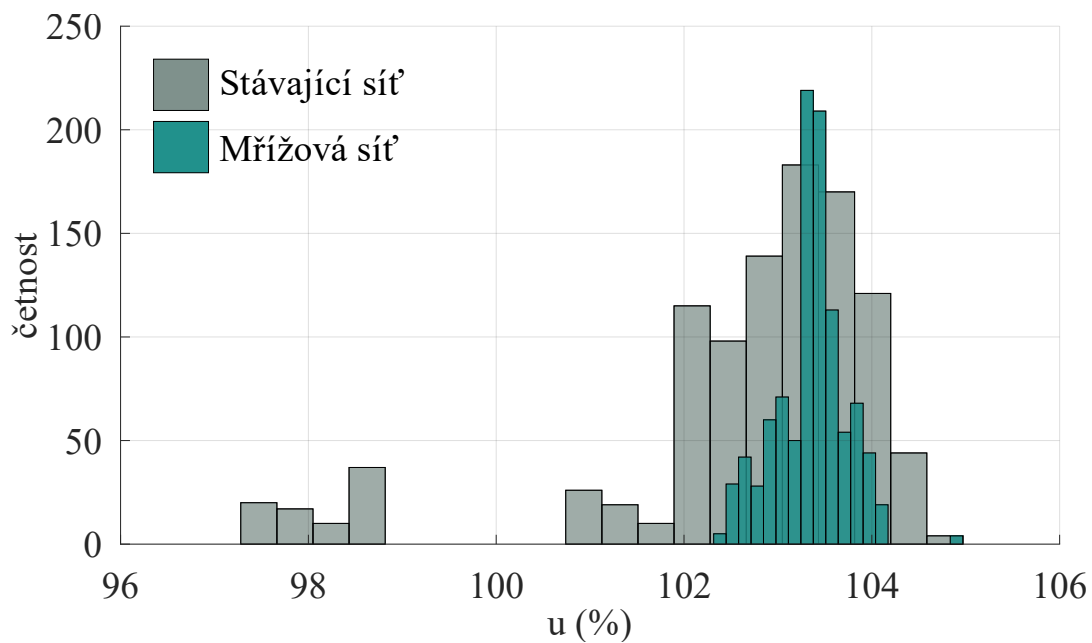
Mřížové zapojení						
počet uzlů	$U_{\min}$ (V)	$u_{\min}$ (%)	$U_{\max}$ (V)	$u_{\max}$ (%)	$U_{\text{avg}}$ (V)	$u_{\text{avg}}$ (%)
1037	409	102,3	420	105,0	413	103,4
Stávající radiální zapojení						
počet uzlů	$U_{\min}$ (V)	$u_{\min}$ (%)	$U_{\max}$ (V)	$u_{\max}$ (%)	$U_{\text{avg}}$ (V)	$u_{\text{avg}}$ (%)
1034	389	97,3	420	105,0	411	102,7

**Tabulka 7:** Vybrané hodnoty napětí v ustáleném stavu mřížové sítě

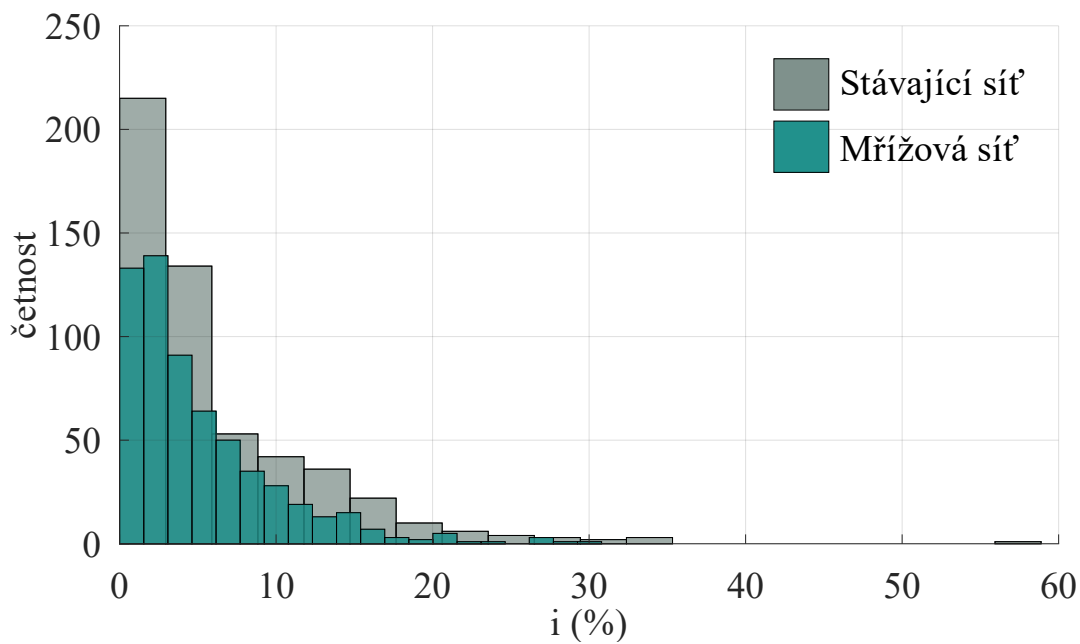
Název uzlu	Značení	Mřížové zapojení			Paprskové zapojení		
		U (V)	$U_f$ (V)	u (%)	U (V)	$U_f$ (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	$U_1$	409,3	236,3	102,3	404,6	233,6	101,1
01-0023_/R1194_/W1	$U_2$	411,9	237,8	103,0	390,1	225,2	97,5
001-0023_/1490_/01	$U_3$	412,0	237,9	103,0	411,1	237,3	102,8
01-0023_/B1065_/01	$U_4$	410,2	236,8	102,5	394,5	227,8	98,6
001-0023_/1610_/01	$U_5$	412,9	238,4	103,2	414,0	239,0	103,5
01-0023_/R3211_/W1	$U_6$	410,9	237,2	102,7	410,5	237,0	102,6
01-0023_/R2990_/W1	$U_7$	414,6	239,4	103,7	414,6	239,4	103,6
001-0023_/A391_/01	$U_8$	413,7	238,8	103,4	408,3	235,7	102,1
001-0023_/1017_/01	$U_9$	413,4	238,7	103,3	409,9	236,6	102,5
01-0023_/R1206_/W1	$U_{10}$	413,3	238,6	103,3	415,0	239,6	103,7
001-0023_/1030_/01	$U_{11}$	412,4	238,1	103,1	406,1	234,4	101,5
001-0023_/1178_/01	$U_{12}$	414,1	239,1	103,5	410,7	237,1	102,7

**Tabulka 8:** Vybrané hodnoty proudu v ustáleném stavu pro mřížové zapojení

Název kabelu	Mřížové zapojení		Stávající radiální zapojení	
	$I_{\max}$ (A)	$i$ (%)	$I_{\max}$ (A)	$i$ (%)
994_270818_2989641	188	9,4	188	58,9
994_270818_2939022	371	22,8	371	34,6
994_270818_4092101	252	27,4	252	32,9
994_270818_2577720	252	27,2	252	32,6
994_270818_2817102	252	30,8	252	30,8
994_270818_2630169	371	15,2	371	29,8
994_270818_6629236	252	28,6	252	28,5
994_270818_2602675	188	20,2	188	29,0
994_270818_2718100	253	17,7	253	14,0
994_270818_2854051	304	4,2	304	10,2
994_270818_2827811	188	27,4	188	17,8
994_270818_6629237	252	24,0	252	23,9
994_270818_2856460	188	21,5	188	15,8

**Obrázek 19:** Porovnání četnosti napětí ve stávající a v mřížové síti





**Obrázek 20:** Porovnání četnosti poměrného zatížení ve stávající síti a v mřížové síti

### 3.2.2 Vyhodnocení zatížení transformátorů vn/nn

#### Transformátor 0029

Tento transformátor je na obrázku 14 znázorněn červenou barvou. Vybrané parametry transformátoru 0029:

- $S_{\text{inst}} = 400 \text{ kVA}$
- $p = 22/0,4 \text{ kV}$

Transformátor dodává činný výkon  $P = 138,9 \text{ kW}$  a jalový výkon  $Q = 61,5 \text{ kVAr}$ . Zatížení transformátoru  $\gamma$  je:

$$\gamma = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{S_{\text{inst}}} \cdot 100 = \frac{\sqrt{138,9^2 + 61,5^2}}{400} \cdot 100 = 38,0 \%$$

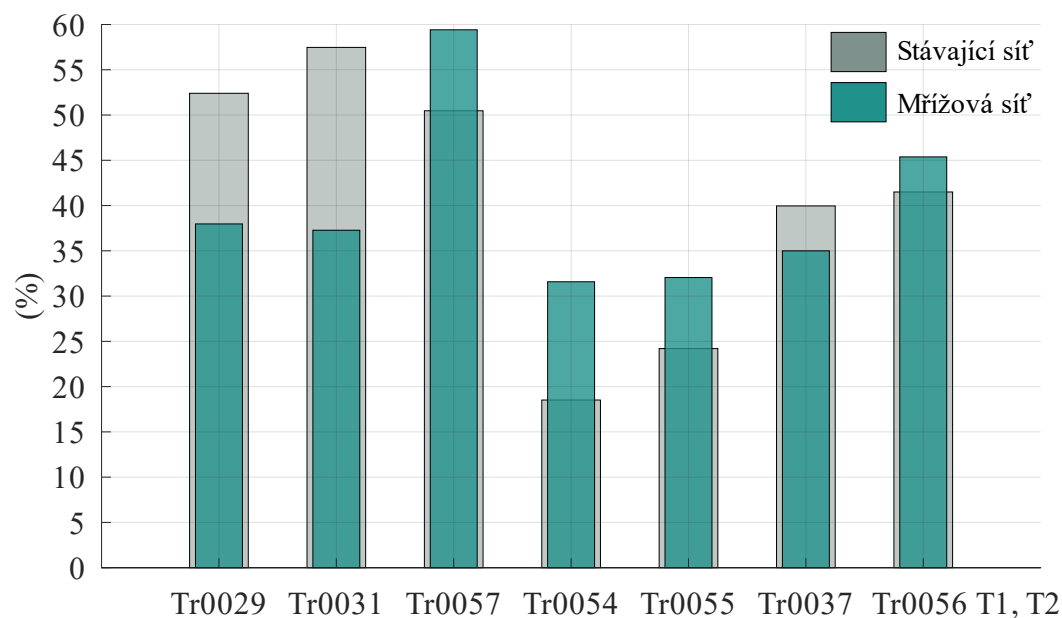
Stejným způsobem byla vypočtena zatížení ostatních transformátorů, hodnoty jsou uvedeny v tabulce 9. V posledním sloupci je pro porovnání zatížení transformátorů ve stávajícím zapojení sítě.

**Tabulka 9:** Přehled zatížení transformátorů v mřížovém zapojení

Označení	Barva	$S_{\text{inst}}$ (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma_{\text{mříž}}$ (%)	$\gamma_{\text{radiální}}$ (%)
0029	červená	400	138,9	61,5	38,0	52,4
0031	tmavě modrá	400	136,7	59,6	37,3	57,5
0057	hnědá	250	136,8	59,9	59,7	50,5
0054	světle modrá	400	121,5	36,8	31,7	18,5
0055	růžová	400	124,2	31,8	32,0	24,2
0037	žlutá	400	132,2	46,0	35,0	40,0
0056 T1	zelená	250	117,2	29,8	48,4	41,5
0056 T2	zelená	250	117,2	29,8	48,4	41,5

### 3.2.3 Zhodnocení transformátorů

V grafu 21 je vidět, jak jsou zatíženy jednotlivé transformátory. Průměrné zatížení je  $\gamma = 40,9 \%$ . Nejvíce zatížený je transformátor 0057 na 59,4 %, nejméně zatížený je transformátor 0054 na 31,6 %. Zatížení celé sítě se rovnoměrně rozložilo na všechny transformátory, které mají v ustáleném stavu přibližně shodné zatížení. Výjimkou je transformátor 0054, protože jeho jmenovitý výkon je 250 kVA. Dochází proto k jeho zvýšenému zatížení a při výpadku nebo poruše, kdy převezme část dalšího zatížení, může dojít k jeho přetížení a zničení.

**Obrázek 21:** Poměrné zatížení transformátorů v mřížové síti

### 3.2.4 Provozní stav plánovaná odstávka

U každé odstávky jsem kvůli přehlednosti uvedl zatížení transformátorů a proudové zatížení kabelových vedení. Napěťové poměry a celkový přehled o napěťových a proudových poměrech je v příloze.

#### Odstávka transformátoru 0029

Simulací výpadku transformátoru 0029 jsem zjistil, že nedochází k přetížení žádného prvku a napětí je v povolených mezích. Zatížení ostatních transformátorů, které převzaly zatížení, je v tabulce 10. Plošné hodnoty napětí jsou v tabulce 59, vybrané hodnoty napětí jsou v tabulce 60. V tabulce 11 je 5 nejvyšších hodnot zatížení kabelů. Nejvyšší zatížení kabelu je 31,3 %. V grafu 33 a 34 je zobrazena četnost poměrného napětí a poměrného zatížení v celé síti.

**Tabulka 10:** Zatížení transformátorů při odstávce Tr0029

Transformátor	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma_{\text{mriz}}$ (%)	$\gamma_{\text{radialni}}$ (%)
0029	400	0,00	0,0	0,0	0,0
0031	400	166,63	89,5	47,3	57,5
0057	250	148,53	58,5	63,9	50,5
0054	400	144,71	42,0	37,7	18,5
0055	400	138,19	32,2	35,5	24,2
0037	400	143,53	43,3	37,5	40,0
0056 T1, T2	250	144,49	43,3	60,3	41,5

**Tabulka 11:** Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0029

Název kabelu	$I_{\text{max}}$ (A)	i (%)	$i_{\text{radialni}}$ (%)
994_270818_2730899	253	31,3	0,0
994_270818_2817102	252	30,8	30,8
994_270818_2732257	253	29,4	10,0
994_270818_6629236	252	28,6	28,5
994_270818_2827811	188	28,3	17,8

#### Odstávka transformátoru 0031

Simulací výpadku transformátoru 0031 jsem zjistil, že nedochází k přetížení žádného prvku a napětí je v povolených mezích. Zatížení transformátorů je v tabulce 12. Plošné hodnoty napětí jsou v tabulce 62, vybrané hodnoty napětí jsou v tabulce 63. 5 nejvyšších hodnot zatížení kabelů je v tabulce 13. Nejvyšší zatížení kabelu je 30,8 %. V grafu 35 a 36 je zobrazena četnost poměrného napětí a poměrného zatížení v celé síti.

**Tabulka 12:** Zatížení transformátorů při odstávce Tr0031

Transformátor	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma_{mriz}$ (%)	$\gamma_{radialni}$ (%)
0029	400	163,6	81,2	45,7	52,4
0031	400	0,0	0,0	0,0	0,0
0057	250	152,7	67,6	66,8	50,5
0054	400	139,5	43,3	36,5	18,5
0055	400	141,2	40,2	36,7	24,2
0037	400	148,4	48,3	39,0	40,0
0056 T1, T2	250	133,6	33,0	55,0	41,5

**Tabulka 13:** Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0031

Název kabelu	$I_{max}$ (A)	i (%)	$i_{radialni}$ (%)
994_270818_2817102	252	30,8	30,8
994_270818_2827811	188	28,8	17,8
994_270818_2577720	252	28,7	32,6
994_270818_6629236	252	28,6	28,5
994_270818_2939022	371	26,5	34,6

### Odstávka transformátoru 0057

Simulací výpadku transformátoru 0057 jsem zjistil, že nedochází k přetížení žádného prvku a napětí je v povolených mezích. Zatížení transformátorů je v tabulce 14. Plošné hodnoty napětí jsou v tabulce 65, vybrané hodnoty napětí jsou v tabulce 66. 5 nejvyšších hodnot zatížení kabelů je v tabulce 15. Nejvyšší zatížení kabelu je 34,9 %. V grafu 37 a 38 je zobrazena četnost poměrného napětí a poměrného zatížení v celé síti.

**Tabulka 14:** Zatížení transformátorů při odstávce Tr0057

Transformátor	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma_{mriz}$ (%)	$\gamma_{radialni}$ (%)
0029	400	150,8	62,5	40,8	52,4
0031	400	155,9	75,7	43,3	57,5
0057	250	0,0	0,0	0,0	0,0
0054	400	135,4	37,8	35,1	18,5
0055	400	151,3	45,3	39,5	24,2
0037	400	173,0	70,8	46,7	40,0
0056 T1, T2	250	126,0	28,1	51,6	41,5

**Tabulka 15:** Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0057

Název kabelu	$I_{max}$ (A)	i (%)	$i_{radialni}$ (%)
994_270818_2827811	188	34,9	17,8
994_270818_2912710	252	33,6	14,8
994_270818_2719110	252	33,6	14,8
994_270818_2817102	252	30,9	30,8
994_270818_2577720	252	28,4	32,6

### Odstávka transformátoru 0054

Simulací výpadku transformátoru 0054 jsem zjistil, že nedochází k přetížení žádného prvku a napětí je v povolených mezích. Zatížení transformátorů je v tabulce 16. Plošné hodnoty napětí jsou v tabulce 68, vybrané hodnoty napětí jsou v tabulce 17. 5 nejvyšších hodnot zatížení kabelů je v tabulce 70. Nejvyšší zatížení kabelu je 40,9 %. V grafu 39 a 40 je zobrazena četnost poměrného napětí a poměrného zatížení v celé síti.

**Tabulka 16:** Zatížení transformátorů při odstávce Tr0054

Transformátor	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma_{\text{mříž}}$ (%)	$\gamma_{\text{radialní}}$ (%)
0029	400	153,4	63,1	41,5	52,4
0031	400	154,7	66,1	42,1	57,5
0057	250	146,6	57,7	63,0	50,5
0054	400	0,0	0,0	0,0	0,0
0055	400	140,7	37,6	36,4	24,2
0037	400	144,1	44,1	37,7	40,0
0056 T1, T2	250	142,8	41,5	59,5	41,5

**Tabulka 17:** Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0054

Název kabelu	$I_{\text{max}}$ (A)	i (%)	$i_{\text{radialní}}$ (%)
994_270818_2577720	252	40,9	32,6
994_270818_2817102	252	30,8	30,8
994_270818_4092101	252	28,6	32,9
994_270818_6629236	252	28,6	28,5
994_270818_2827811	188	26,9	17,8

### Odstávka transformátoru 0037

Simulací výpadku jsem zjistil, že nedochází k přetížení žádného prvku a napětí je v povolených mezích. Zatížení transformátorů je v tabulce 18. Plošné hodnoty napětí jsou v tabulce 74, vybrané hodnoty napětí jsou v tabulce 75. 5 nejvyšších hodnot zatížení kabelů je v tabulce 19. Nejvyšší zatížení kabelu je 47,8 %. V grafu 43 a 44 je zobrazena četnost poměrného napětí a poměrného zatížení v celé síti.

**Tabulka 18:** Zatížení transformátorů při odstávce Tr0037

Transformátor	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma_{\text{mříž}}$ (%)	$\gamma_{\text{radialní}}$ (%)
0029	400	150,4	60,2	40,5	52,4
0031	400	155,6	68,4	42,5	57,5
0057	250	160,6	64,9	69,3	50,5
0054	400	139,9	42,6	36,6	18,5
0055	400	0,0	0,0	0,0	24,2
0037	400	166,9	59,6	44,3	40,0
0056 T1, T2	250	127,7	28,0	52,3	41,5

**Tabulka 19:** Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0037

Název kabelu	$I_{\max}$ (A)	$i$ (%)	$i_{\text{radialni}}$ (%)
994_270818_2827811	188	47,8	17,8
994_270818_2616125	252	38,7	0,0
994_270818_2677738	252	33,2	10,8
994_270818_2817102	252	31,6	30,8
994_270818_2720122	252	31,3	8,9

### Odstávka VN 1

Jedná se o stav, kdy je odstávka napáječe vn, v obrázku 13 znázorněn zelenou barvou. Dojde k výpadku energie pro transformátory 0054, 0055, 0037, 0056.

Simulací výpadku VN1 jsem zjistil, že dochází k přetížení transformátoru 0057, napětí je v povolených mezích. Zatížení transformátorů je v tabulce 20. Transformátor 0057 je zatížený na 144,6 %, což je způsobeno nízkým jmenovitým výkonem, který zapříčiní nízkou výkonovou rezervu. Při zvýšení jmenovitého výkonu z 250 kVA na 400 kVA by jeho zatížení bylo v tomto případě  $\gamma = 90,4$  %, nedocházelo by k přetížení a síť by bylo možné v tomto stavu provozovat. Plošné hodnoty napětí jsou v tabulce 80. Oproti mřížové síti v ustáleném stavu došlo k poklesu průměrného napětí v síti  $u_{\text{avg}}$  o 2,3 %. Vybrané hodnoty napětí jsou v tabulce 81. Vybrané hodnoty zatížení kabelů jsou v tabulce 21. Nedochází k přetížení žádného kabelu, nejvyšší zatížení je 72,7 %. V grafu 47 a 48 je zobrazena četnost poměrného napětí a poměrného zatížení v celé síti. Z histogramů pro napětí je vidět, jak pokleslo plošně napětí v síti oproti mřížové síti v ustáleném stavu.

**Tabulka 20:** Zatížení transformátorů při odstávce VN1

Transformátor	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma_{\text{mriz}}$ (%)	$\gamma_{\text{radialni}}$ (%)
0029	400	353,0	115,7	92,9	52,4
0031	400	357,5	141,8	96,2	57,5
0057	250	342,1	117,0	144,6	50,5
0054	400	0,0	0,0	0,0	0,0
0055	400	0,0	0,0	0,0	0,0
0037	400	0,0	0,0	0,0	0,0
0056 T1, T2	250	0,0	0,0	0,0	0,0

**Tabulka 21:** Vybrané hodnoty proudu při odstávce VN1

Název kabelu	$I_{\max}$ (A)	$i$ (%)
994_270818_2546181	188	72,7
994_270818_2920508	252	60,8
994_270818_2721102	252	57,3
994_270818_2679799	252	54,1
994_270818_2788815	153	50,1

## Porovnání výpadků

**Tabulka 22:** Porovnání zatížení transformátorů při odstávkách

Transformátor	$\gamma_{mriz}$ (%)	$\gamma_{0029}$ (%)	$\gamma_{0031}$ (%)	$\gamma_{0057}$ (%)	$\gamma_{0054}$ (%)
0029	38,0	0,0	45,7	40,8	41,5
0031	37,3	47,3	0,0	43,3	42,1
0057	59,7	63,9	66,8	0,0	63,0
0054	31,7	37,7	36,5	35,1	0,0
0055	32,1	35,5	36,7	39,5	36,4
0037	35,0	37,5	39,0	46,7	37,7
0056 T1, T2	48,4	60,3	55,1	51,6	59,5
Transformátor	$\gamma_{0055}$ (%)	$\gamma_{0037}$ (%)	$\gamma_{0056}$ (%)	$\gamma_{VN1}$ (%)	$\gamma_{VN2}$ (%)
0029	40,5	39,9	52,2	92,9	0,0
0031	42,5	42,2	47,5	96,2	0,0
0057	69,3	79,1	64,5	144,6	0,0
0054	36,6	35,0	49,3	0,0	55,1
0055	0,0	43,2	37,7	0,0	58,8
0037	44,3	0,0	37,9	0,0	61,3
0056 T1, T2	52,3	50,9	0,0	0,0	83,5

Odstávka nebo výpadek transformátoru v mřížové síti nezpůsobí odpojení odběratelů, ostatní transformátory převezmou jeho zatížení. Jak je vidět z tabulky 22, kde jsou přehledně všechny provozní stavy mřížové sítě, tak nejhůře vychází odstávka rozvodny VN1 (zelená označená v obrázku 13), která napájí celkem 4 transformátory. Transformátor 0057 je značně přetížený kvůli nízkému jmenovitému výkonu. Řešení je buď vyměnit transformátor za jiný s větším jmenovitým výkonem, nebo překonfigurovat síť. Z hodnot v tabulce je dále vidět, že hodnoty zatížení při odstávce transformátoru jsou podobné. Nejvíce zatížení odstaveného transformátoru převezmou nejbližší transformátory. Například při výpadku Tr0054 (světle modrá barva v obrázku 14) došlo k nejvyššímu nárůstu zatížení u Tr0056 T1 a T2 (zelená barva).

Hodnoty v modrém rámečku jsou nejvyšší hodnoty zatížení transformátoru při daném zapojení. Ve všech případech (kromě vlastního výpadku) je nejvíce zatížen transformátor 0057. Bylo by tedy výhodné tento transformátor vyměnit za transformátor s výkonem 400 kVA. Vysoké zatížení mají také paralelně pracující transformátory 0056 T1 a T2, které mají také výkon 250 kVA. Výměnou těchto dvou distribučních transformátorů bude potom zatížení všech transformátorů zhruba stejné. Toto tvrzení dokazuje tabulka 23, kde došlo k výměně Tr0057 a Tr0056 T1 a T2 za transformátory o výkonu  $S = 400$  kVA. Je vidět, že zatížení transformátorů je zhruba stejné a žádný transformátor není přetížený. Nejhorší stav je opět při výpadku rozvodny VN1, zatížení je přes 90 %, ale transformátory lze takto krátkodobě provozovat.

**Tabulka 23:** Porovnání zatížení transformátorů při odstávkách - sjednocený výkon 400 kVA

Transformátor	$\gamma_{mriz}$ (%)	$\gamma_{0029}$ (%)	$\gamma_{0031}$ (%)	$\gamma_{0057}$ (%)	$\gamma_{0054}$ (%)
0029	38,0	0,0	45,7	40,8	41,5
0031	37,3	47,3	0,0	43,3	42,1
0057	37,3	39,9	41,7	0,0	39,7
0054	31,7	37,7	36,5	35,1	0,0
0055	32,1	35,5	36,7	39,5	36,4
0037	35,0	37,5	39,0	46,7	37,7
0056	30,2	37,7	34,4	32,3	37,2
Transformátor	$\gamma_{0055}$ (%)	$\gamma_{0037}$ (%)	$\gamma_{0056}$ (%)	$\gamma_{VN1}$ (%)	$\gamma_{VN2}$ (%)
0029	40,5	39,9	52,2	92,9	0,0
0031	42,5	42,2	47,5	96,2	0,0
0057	43,3	49,4	40,31,	90,4	0,0
0054	36,6	35,0	49,3	0,0	55,1
0055	0,0	43,2	37,7	0,0	58,8
0037	44,3	0,0	37,9	0,0	61,3
0056	32,7	31,8	0,0	0,0	52,2

### 3.2.5 Zhodnocení mřížového zapojení

Přepojením na mřížovou síť se zlepšilo plošné napětí v síti a transformátory rovnoměrně převzaly zatížení sítě. Oproti původnímu zapojení je výhoda při plánovaných odstávkách (a při poruchách), že nedojde k výpadku dodávky elektrické energie. Zatížení vypadlého transformátoru převezmou zbylé transformátory. K přetížení dochází pouze při odstávce napáječe VN 1, kdy dojde k přerušení napájení čtyř transformátorů a zbylé tři musí převzít jejich zatížení. Přetížený je transformátor 0057. Tomu by šlo zabránit výměnou za transformátor se jmenovitým výkonem 400 kVA nebo rozpadem na paprskovou síť, čímž ale dojde k přerušení dodávky el. energie. Nevýhodou mřížového zapojení je komplikované hledání poruchy a návrh selektivity elektrických ochran.

## 3.3 Připojení dobíjecích stanic

Hlavním přínosem do budoucna by přepojení na mřížovou síť mělo být připojení dobíjecích stanic. Ty se nainstalují na lampy veřejného osvětlení, podobně jako je tomu v Praze [19]. Vhodná místa, kam by se daly stanice připojit, jsem vybral při pěším procházení lokality. Volil jsem taková místa, kde lze zaparkovat automobil a poblíž je lampa veřejného osvětlení. Byly vybrány scénáře s různým počtem a výkonem dobíjecích stanic, které jsem dále řešil pro stávající zapojení a mřížovou síť. Získané hodnoty jsem vzájemně porovnal. Koeficient soudobosti u dobíjecích stanic je uvažován 100 % a účinník  $\cos \varphi = 1$ . Ve všech scénářích jsem analyzoval napěťové a proudové poměry. Zda je napětí v povolených odchylkách a zda nedochází k přetížení vedení a transformátorů. Ve scénáři 2 řeším i úpravy sítě a jejich ekonomickou náročnost.



### 3.3.1 Scénář 1

Tento scénář počítá s maximálním zatížením sítě v zimním období a připojením maximálního počtu nabíjecích stanic s výkonem 22 kW do sítě. Počet připojených stanic je 171, jejichž celkový výkon je 3762 kW. Počet nabíječek v jednotlivých oblastech je v tabulce 24.

**Tabulka 24:** Scénář 1 - počet dobíjecích stanic v jednotlivých oblastech

Transformátor	Počet dobíjecích stanic
0029	32
0031	52
0057	17
0054	12
0055	24
0037	11
0056 T1, T2	23
celkem	171

#### Stávající zapojení sítě

Pro tento scénář neproběhl výpočet chodu sítě do konce. Zatížení je moc vysoké a nejsou splněny minimální napěťové parametry ve všech uzlech. Postupným snižováním počtu nabíječek jsem zjistil, že přetížená část je napájena transformátorem 0029 (červená oblast v obrázku 14). Pro úspěšné dokončení výpočtu jsem musel odebrat 7 dobíjecích stanic, tedy snížit výkon v síti v červené oblasti o 154 kW.

#### Mřížové zapojení

Připojený výkon je vysoký a dochází ke značnému přetížení všech transformátorů a části kabelového vedení. Zatížení transformátorů je v tabulce 25, 5 nejvyšších hodnot zatížení kabelů je v tabulce 27. Celkový přehled o poměrech v síti je v grafech na obrázcích 19 a 20.

**Tabulka 25:** Scénář 1 - zatížení transformátorů v mřížovém zapojení

Transformátor	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma$ (%)
0029	400	674,3	101,9	170
0031	400	695,4	135,5	177
0057	250	658,3	95,2	266
0054	400	601,8	32,7	151
0055	400	650,2	49,7	163
0037	400	575,1	-3,6	144
0056 T1, T2	250	545,4	-5,4	218

**Tabulka 26:** Scénář 1 - vybrané hodnoty napětí v mřížovém zapojení

Název uzlu	Značení	Mřížové zapojení		
		U (V)	$U_f$ (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	$U_1$	382,9	221,1	95,7
01-0023_/R1194_/W1	$U_2$	390,4	225,4	97,6
001-0023_/1490_/01	$U_3$	389,4	224,8	97,3
01-0023_/B1065_/01	$U_4$	382,0	220,5	95,5
001-0023_/1610_/01	$U_5$	375,6	216,8	93,9
01-0023_/R3211_/W1	$U_6$	399,3	230,5	99,8
01-0023_/R2990_/W1	$U_7$	400,3	231,1	100,1
001-0023_/A391_/01	$U_8$	393,6	227,2	98,4
001-0023_/1017_/01	$U_9$	389,5	224,9	97,4
01-0023_/R1206_/W1	$U_{10}$	398,6	230,1	99,6
001-0023_/1030_/01	$U_{11}$	386,6	223,2	96,7
001-0023_/1246_/01	$U_{12}$	385,2	222,4	96,3

**Tabulka 27:** Scénář 1 - vybrané hodnoty proudu v mřížovém zapojení

Název kabelu	$I_{\max}$ (A)	i (%)
994_270818_2984882	223	120,0
994_270818_4092101	252	116,3
994_270818_2577725	252	114,7
994_270818_2827811	188	111,3
994_270818_2957126	286	109,6

### Provozní stav odstávka

Provozní stavy typu odstávka jsou řešeny jen okrajově, protože nejsou tak důležité a práce by se značně znepráhlednila. V tabulce 28 jsou uvedeny délky přetíženého vedení a počet pojistek SV, u kterých došlo k vybavení v důsledku zatížení kabelu přesahující 70 % jmenovitého proudu kabelu. Výpadek VN1 nemá uvedené hodnoty, protože výpočet nedoběhl do konce (napětí mimo meze).

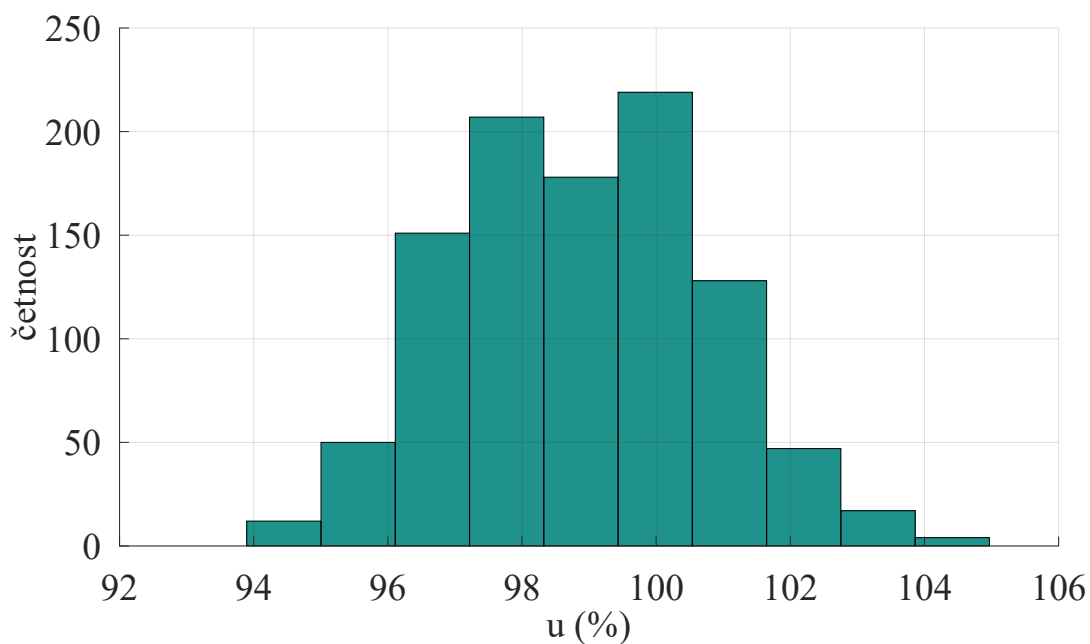
**Tabulka 28:** Scénář 1 - přehled hodnot při odstávce

Výpadek	vypadnutých poj. SV	přetížené vedení (m)	přetížené vedení (%)
0029	9	1094	5,8
0031	9	1214	6,4
0057	12	1219	6,5
0054	5	849	4,5
0055	4	1142	6,0
0037	7	942	5,0
0056 T1, T2	8	1025	5,4
VN1 <sup>1</sup>	-	-	-
VN2	21	4382,2	23,2

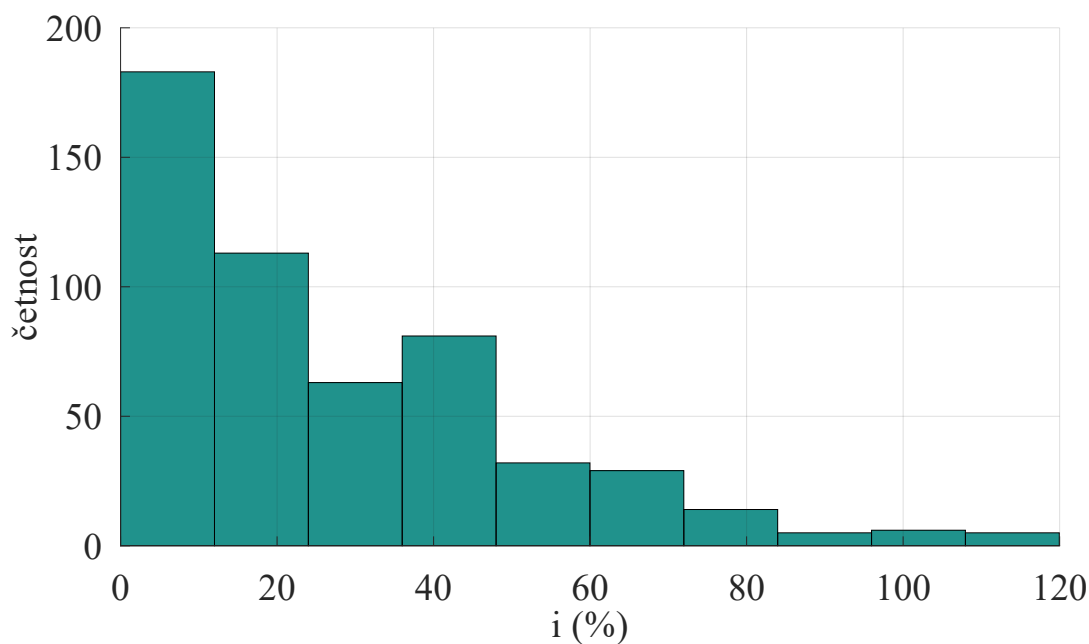
<sup>1</sup>Výpočet nedoběhl do konce

### Zhodnocení scénáře 1

Scénář 1 je nejvíce nepříznivý scénář, zatížení je tak velké, že dochází, podle očekávání, k přetížení mnoha prvků. Nicméně přínos mřížové sítě je vidět už jen v tom, že nedošlo ke zhroucení výpočtu, protože není přetížena konkrétní oblast. Aby výpočet ve stávající paprskové síti proběhl, musel jsem odebrat 7 nabíječek v oblasti napájené transformátorem 0029 (červená oblast v obrázku 14). V mřížové síti je přetíženo 560,45 m kabelového vedení nad 100 %. Nad 70 % je zatíženo 1860 m kabelového vedení. Při provozu mřížové sítě by vypadlo 7 pojistek SV. Proudové a napěťové poměry jsou v obrázcích 22 a 23. Zobrazena je pouze mřížová síť, protože stávající paprsková nedokončí výpočet s tak vysokým zatížením a je tak jasně patrná výhoda mřížové sítě.



Obrázek 22: Četnost poměrného napětí ve scénáři 1



Obrázek 23: Četnost poměrného zatížení ve scénáři 1

### 3.3.2 Scénář 2

Scénář 2 se liší od scénáře 1 v tom, že výkon nabíjecích stanic je 11 kW, počet stanic i zatížení sítě je maximální. Počet připojených dobíjecích stanic je v tabulce 29. Jejich celkový výkon je 1881 kW. Pro tento scénář řeším i potřebné úpravy v síti, aby se dala dlouhodobě provozovat. Kromě samotných úprav hodnotím také jejich ekonomickou náročnost.

Tabulka 29: Scénář 2 - počet dobíjecích stanic v jednotlivých oblastech

Transformátor	Počet stanic
0029	32
0031	52
0057	17
0054	12
0055	24
0037	11
0056 T1, T2	23
celkem	171

### Stávající zapojení

Napěťové a proudové poměry jsou uvedeny v grafech na obrázcích 24 a 25. V síti se přetěžují 3 transformátory, červeně zarámované v tabulce 30. Nejvyšších 5 hodnot proudového zatížení kabelů je v tabulce 32, u 4 kabelů dochází k přetížení.

**Tabulka 30:** Scénář 2 - zatížení transformátorů v paprskovém zapojení

Transformátor	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma$ (%)
0029	400	611,9	81,7	154,3
0031	400	828,4	92,7	208,4
0057	250	309,5	45,6	12,15
0054	400	203,7	23,5	51,3
0055	400	360,8	33,4	9,6
0037	400	275,5	50,6	70,0
0056 T1, T2	250	228,2	34,36	9,32

**Tabulka 31:** Scénář 2 - vybrané hodnoty napětí v paprskovém zapojení

Název uzlu	Značení	U (V)	$U_f$ (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	$U_1$	388,2	224,1	97,1
01-0023_/R1194_/W1	$U_2$	320,9	185,3	80,2
001-0023_/1490_/01	$U_3$	396,8	229,1	99,2
01-0023_/B1065_/01	$U_4$	332,6	192,0	83,1
001-0023_/1610_/01	$U_5$	399,2	230,5	99,8
01-0023_/R3211_/W1	$U_6$	404,8	233,7	101,2
01-0023_/R2990_/W1	$U_7$	407,8	235,5	102,0
001-0023_/A391_/01	$U_8$	370,5	213,9	92,6
001-0023_/1017_/01	$U_9$	386,7	223,3	96,7
01-0023_/R1206_/W1	$U_{10}$	410,2	236,9	102,6
001-0023_/1030_/01	$U_{11}$	380,8	219,9	95,2
001-0023_/1246_/01	$U_{12}$	403,0	232,7	100,8

**Tabulka 32:** Scénář 2 - vybrané hodnoty proudu v paprskovém zapojení

Název kabelu	$I_{\max}$ (A)	i (%)
994_270818_2989641	188	223,6
994_270818_2630169	371	113,3
994_270818_9512531	371	100,0
994_270818_9512529	371	99,5
994_270818_2688816	223	89,2

### Mřížové zapojení

V síti se přetěžují 4 transformátory, červeně zarámované v tabulce 33. Nejsou přetížena žádná kabelová vedení, vybrané hodnoty jejich zatížení jsou v 33. Proudové a napěťové poměry jsou v grafech na obrázcích 24 a 25.

**Tabulka 33:** Scénář 2 - zatížení transformátorů v mřížovém zapojení

Transformátor	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma$ (%)
0029	400	402,3	80,3	102,6
0031	400	412,6	96,3	105,9
0057	250	394,2	74,9	160,5
0054	400	357,4	32,5	89,7
0055	400	383,5	40,0	96,4
0037	400	350,4	20,2	87,7
0056 T1, T2	250	327,5	10,9	131,1

**Tabulka 34:** Scénář 2 - vybrané hodnoty napětí v mřížovém zapojení

Název uzlu	Značení	Mřížové zapojení			Paprskové zapojení		
		U (V)	$U_f$ (V)	u (%)	U (V)	$U_f$ (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	$U_1$	396,9	229,1	99,2	388,2	224,1	97,1
01-0023_/R1194_/W1	$U_2$	401,8	232,0	100,5	320,9	185,3	80,2
001-0023_/1490_/01	$U_3$	401,4	231,7	100,3	396,8	229,1	99,2
01-0023_/B1065_/01	$U_4$	396,9	229,1	99,2	332,6	192,0	83,1
001-0023_/1610_/01	$U_5$	395,2	228,2	98,8	399,2	230,5	99,8
01-0023_/R3211_/W1	$U_6$	405,5	234,1	101,4	404,8	233,7	101,2
01-0023_/R2990_/W1	$U_7$	407,9	235,5	102,0	407,8	235,5	102,0
001-0023_/A391_/01	$U_8$	404,3	233,4	101,1	370,5	213,9	92,6
001-0023_/1017_/01	$U_9$	402,2	232,2	100,5	386,7	223,3	96,7
01-0023_/R1206_/W1	$U_{10}$	406,1	234,5	101,5	410,2	236,9	102,6
001-0023_/1030_/01	$U_{11}$	400,4	231,2	100,1	380,8	219,9	95,2
001-0023_/1246_/01	$U_{12}$	399,9	230,9	100,0	403,0	232,7	100,8

**Tabulka 35:** Scénář 2 - vybrané hodnoty proudu v mřížovém zapojení

Název kabelu	$I_{\max}$ (A)	i (%)
994_270818_4092101	252	70,0
994_270818_2827811	188	68,2
994_270818_2577720	252	64,8
994_270818_2957126	286	63,1
994_270818_2984882	223	62,9

### Provozní stav odstávka

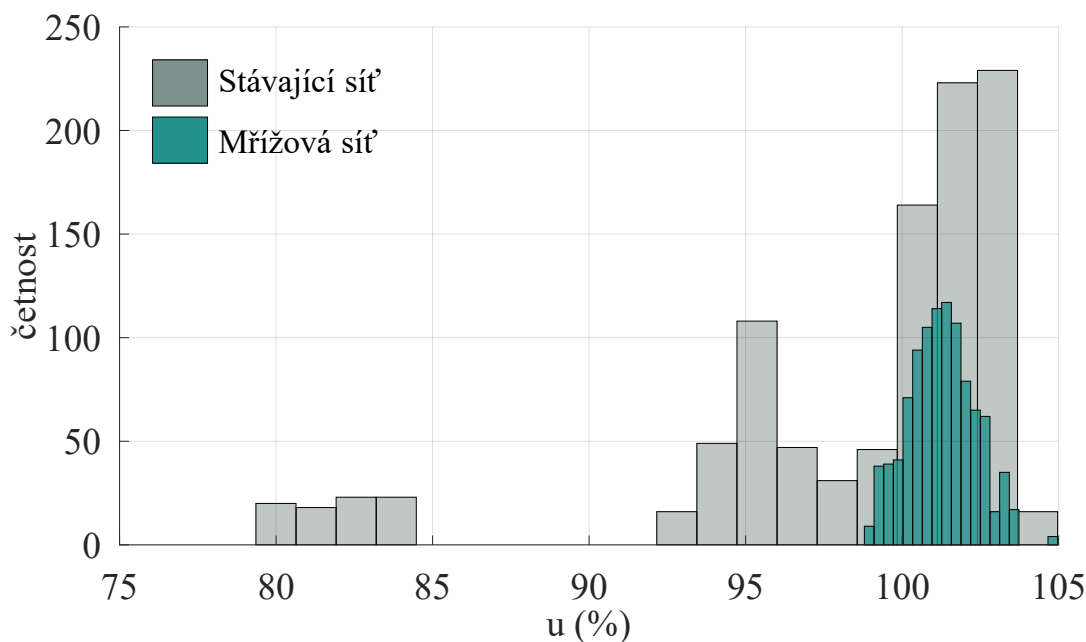
Provozní stavy typu odstávka jsou řešeny jen okrajově, protože nejsou tak důležité a práce by se značně znehodnotila. V tabulce 36 jsou uvedeny délky přetíženého vedení a počet pojistek SV, u kterých došlo k vybavení v důsledku zatížení kabelu přesahující 70 % jmenovitého proudu kabelu.

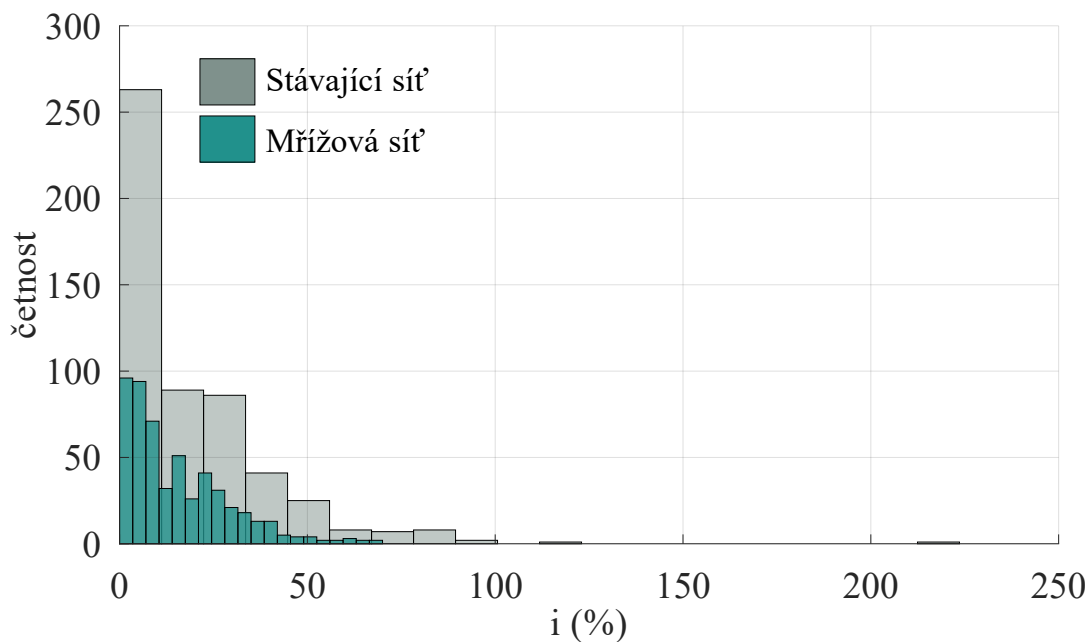
**Tabulka 36:** Scénář 2 - přehled hodnot při odstávce

Výpadek	vypadnutých poj. SV	přetížené vedení (m)	přetížené vedení (%)
0029	4	0	0,0
0031	0	0	0,0
0057	0	0	0,0
0054	0	50	0,3
0055	3	0,0	0,0
0037	0	12	0,1
0056 T1, T2	1	218	1,2
VN1	13	1606	8,5
VN2	13	1201	6,4

### Zhodnocení scénáře 2

Ve scénáři 2 nedochází k masivnímu přetížení prvků jako u scénáře 1. Graf na obrázku 24 ukazuje, že některé hodnoty napětí v paprskové síti jsou mimo povolené odchylky a celkově jsou hodnoty rozprostřeny na velkém intervalu hodnot. Oproti tomu jsou hodnoty v mřížovém zapojení na výrazně menším intervalu hodnot a rovnoměrně rozprostřené. Proudové poměry jsou v obrázku 25. Stávající paprsková síť má několik vedení přetížených a jsou rozprostřeny na velkém intervalu. V mřížové síti je zatížení rovnoměrně rozprostřeno a nedochází k přetížení. K trvalému provozování paprskové sítě je nutné vyměnit více prvků. Pro trvalý provoz je stanoveno maximální zatížení 70 % a tuto hodnotu překračuje několik kabelových vedení. U mřížové sítě jsou přetíženy transformátory 4 a žádné kabelové vedení, z čehož je zřejmý přínos mřížové sítě. Aby se dal tento scénář provozovat trvale, jsou nutné zásahy do sítě. Těmi se zabývá následující podkapitola.

**Obrázek 24:** Porovnání četnosti poměrného napětí ve scénáři 2



**Obrázek 25:** Porovnání četnosti poměrného zatížení ve scénáři 2

### 3.3.3 Úpravy sítě pro scénář 2

Úpravy, které je nutné provést pro provoz sítě vyplývá z dat uvedených výše. Je zřejmé, že v případě mřížové sítě stačí pouze vyměnit transformátory, nejsou nutné výkopové práce a výměna kabelového vedení, jako je tomu u paprskové sítě.

#### Paprsková síť

Nutné úpravy sítě jsou značné pro paprskovou síť. Je nezbytné vyměnit transformátory, jejichž zatížení přesahuje 70 % a stejně tak kabelová vedení. Vyměněné transformátory jsou v tabulce 37. Jediný transformátor, který jsem nevyměnil, je Tr0054, protože jeho zatížení je 51,3 %. U kabelového vedení bylo potřeba upravit celkem 1303 m.

Pro bezpečný provoz paprskové sítě bylo nutné vyměnit 6 transformátorů s vyšším transformačním poměrem a a posílit celkem 1303 m kabelového vedení. Celkové úpravy vyjdou na 13,8 mil. Kč dle poskytnutých cenových podkladů ČEZ Distribuce.

**Tabulka 37:** Scénář 2 - porovnání zatížení vyměněných transformátorů, paprskové zapojení

Transformátor	$S_{\text{puvodni}}$ (kVA)	$S_{\text{novy}}$ (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma_{\text{puvodni}}$ (%)	$\gamma_{\text{nove}}$ (%)
0029	400	1260	611,9	81,7	154,3	49,0
0031	400	1260	828,4	92,7	208,4	66,2
0057	250	630	309,5	45,6	125,1	49,6
0054	400	400	203,7	23,5	51,3	51,3
0055	400	630	360,8	33,4	90,6	57,5
0037	400	630	275,5	50,6	70,0	44,5
0056 T1, T2	250	630	228,2	34,4	92,3	36,6



## Mřížová síť

U mřížového zapojení je nutné vyměnit všechny transformátory. Kabelová vedení se nepřetěžují, výměna není potřeba. Udělal jsem 2 návrhy výměny transformátorů. První je v tabulce 38, kde je náhrada transformátory o výkonu 630 kVA, zatížení je pod 70 %. Všechno to jsou jednostrójové DTS. V druhém návrhu zohledňuji výkonovou rezervu, zatížení transformátorů kolem 50%, hodnoty jsou v tabulce 39. DTS jsou dvoustrojové, každý transformátor má výkon 400 kVA. Tato druhá varianta je spíše teoretická, protože dvoustrojové transformační stanice jsou prostorově náročné. Transformátory s vyšším jmenovitým výkonem než 630 kVA se v distribučních sítích nn nepoužívají.

Navržené úpravy pro provoz mřížové sítě, které zahrnují výměnu všech 7 transformátorů vychází na 3,6 mil. Kč dle poskytnutých cenových podkladů ČEZ Distribuce.

**Tabulka 38:** Scénář 2 - porovnání zatížení vyměněných transformátorů, mřížové zapojení

Transformátor	$S_{\text{puvodni}}$ (kVA)	$S_{\text{nove}}$ (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma_{\text{puvodni}}$ (%)	$\gamma_{\text{nove}}$ (%)
0029	400	630	402,3	80,3	102,6	65,1
0031	400	630	412,6	96,3	105,9	67,2
0057	250	630	394,2	74,9	160,5	63,7
0054	400	630	357,4	32,5	89,7	57,0
0055	400	630	383,5	40,0	96,4	61,2
0037	400	630	350,4	20,2	87,7	55,7
0056 T1, T2	250	630	327,5	10,9	131,1	52,0

**Tabulka 39:** Scénář 2 - porovnání zatížení vyměněných transformátorů 2, mřížové zapojení

Transformátor	$S_{\text{puvodni}}$ (kVA)	$S_{\text{nove}}$ (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma_{\text{puvodni}}$ (%)	$\gamma_{\text{nove}}$ (%)
0029	400	800	402,3	80,3	102,6	51,3
0031	400	800	412,6	96,3	105,9	53,0
0057	250	800	394,2	74,9	160,5	50,2
0054	400	800	357,4	32,5	89,7	44,9
0055	400	800	383,5	40,0	96,4	48,2
0037	400	800	350,4	20,2	87,7	43,9
0056 T1, T2	250	800	327,5	10,9	131,1	41,0

## Zhodnocení úprav ve scénáři 2

Rozdíly mezi úpravami jsou značné. Ve stávající paprskové síti je potřeba vyměnit transformátory i kabelová vedení. V mřížové síti stačí vyměnit pouze transformátory, což se značně projeví do výsledných nákladů na úpravy sítě. Zatímco paprsková síť vyjde na 13,8 mil. Kč, tak u mřížové sítě je to 3,6 mil. Kč.<sup>2</sup> Rozdíl v celkových nákladech na úspory činí 10 mil. Kč. Udělal jsem ještě třetí variantu, kde mají transformátory výkonovou rezervu (zatížení mezi 40% a 50%), která vychází na 15,9 mil. Kč, což je o 2 mil. více než náklady v paprskové síti. Výkonová rezerva je vhodná, pokud se počítá ještě s dalším budoucím rozvojem sítě.

<sup>2</sup> Jednotlivé ceny jsou interní informace ČEZ Distribuce, proto uvádím jen konečnou cenu za provedené úpravy.

### 3.3.4 Scénář 3

Scénář 3 má poloviční počet dobíjecích stanic než předchozí scénáře, jejich výkon je 22 kW. Počet nabíjecích stanic je v tabulce 40. Zatížení sítě je maximální odběr v zimním období. Celkový výkon připojených stanic je 1914 kW.

**Tabulka 40:** Scénář 3 - počet dobíjecích stanic v jednotlivých oblastech

Transformátor	Počet stanic
0029	16
0031	26
0057	8
0054	6
0055	13
0037	6
0056 T1+T2	12
Celkem	87

#### Stávající zapojení

Přetížení prvků vychází podobně jako v předchozím scénáři. V tabulce 41 jsou hodnoty zatížení transformátorů, 5 nejvyšších hodnot zatížení kabelových vedení je v tabulce 43.

**Tabulka 41:** Scénář 3 - zatížení transformátorů v paprskovém zapojení

Transformátor	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma_{mriz}$ (%)
0029	400	626,8	79,7	158,0
0031	400	825,0	91,0	207,5
0057	250	274,9	45,2	111,4
0054	400	204,1	23,6	51,4
0055	400	360,8	33,4	90,6
0037	400	286,6	50,6	72,8
0056 T1, T2	250	233,7	34,3	94,5

**Tabulka 42:** Scénář 3 - vybrané hodnoty napětí v paprskovém zapojení

Název uzlu	Značení	U (V)	$U_f$ (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	$U_1$	391,1	225,8	97,8
01-0023_/R1194_/W1	$U_2$	326,3	188,4	81,6
001-0023_/1490_/01	$U_3$	398,5	230,1	99,6
01-0023_/B1065_/01	$U_4$	337,2	194,7	84,3
001-0023_/1610_/01	$U_5$	400,5	231,3	100,1
01-0023_/R3211_/W1	$U_6$	405,1	233,9	101,3
01-0023_/R2990_/W1	$U_7$	407,8	235,5	102,0
001-0023_/A391_/01	$U_8$	370,4	213,9	92,6
001-0023_/1017_/01	$U_9$	388,6	224,4	97,2
01-0023_/R1206_/W1	$U_{10}$	409,2	236,2	102,3
001-0023_/1030_/01	$U_{11}$	381,0	220,0	95,2
001-0023_/1246_/01	$U_{12}$	403,4	232,9	100,8

**Tabulka 43:** Scénář 3 - vybrané hodnoty proudu v paprskovém zapojení

Název kabelu	$I_{\max}$ (A)	$i$ (%)
994_270818_2989641	188	210,0
994_270818_2630169	371	106,4
994_270818_9512531	371	92,7
994_270818_9512529	371	92,3
994_270818_2688816	223	89,2

### Mřížové zapojení

V mřížovém zapojení nedochází k přetížení kabelového vedení, 5 nejvyšších hodnot proudového zatížení je v tabulce 46. Zatížení transformátorů je vidět v tabulce 44, přetížené transformátory jsou červeně orámované.

**Tabulka 44:** Scénář 3 - zatížení transformátorů v mřížovém zapojení

Transformátor	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma$ (%)
0029	400	419,3	90,8	107,3
0031	400	416,9	96,4	107,0
0057	250	377,7	64,1	153,2
0054	400	356,8	29,9	89,5
0055	400	380,4	38,5	95,6
0037	400	352,0	24,8	88,2
0056 T1, T2	250	330,7	10,3	132,3

**Tabulka 45:** Scénář 3 - vybrané hodnoty napětí v mřížovém zapojení

Název uzlu	Značení	Mřížové zapojení			Paprskové zapojení		
		U (V)	$U_f$ (V)	$u$ (%)	U (V)	$U_f$ (V)	$u$ (%)
001-0023_/2183_/01	$U_1$	397,5	229,5	99,4	391,1	225,8	97,8
01-0023_/R1194_/W1	$U_2$	401,5	231,8	100,4	326,3	188,4	81,6
001-0023_/1490_/01	$U_3$	402,3	232,3	100,6	398,5	230,1	99,6
01-0023_/B1065_/01	$U_4$	396,7	229,0	99,2	337,2	194,7	84,3
001-0023_/1610_/01	$U_5$	397,1	229,3	99,3	400,5	231,3	100,1
01-0023_/R3211_/W1	$U_6$	405,7	234,2	101,4	405,1	233,9	101,3
01-0023_/R2990_/W1	$U_7$	408,0	235,6	102,0	407,8	235,5	102,0
001-0023_/A391_/01	$U_8$	404,3	233,4	101,1	370,4	213,9	92,6
001-0023_/1017_/01	$U_9$	403,0	232,7	100,7	388,6	224,4	97,2
01-0023_/R1206_/W1	$U_{10}$	405,7	234,2	101,4	409,2	236,2	102,3
001-0023_/1030_/01	$U_{11}$	401,2	231,6	100,3	381,0	220,0	95,2
001-0023_/1246_/01	$U_{12}$	402,0	232,1	100,5	403,4	232,9	100,8

**Tabulka 46:** Scénář 3 - vybrané hodnoty proudu v mřížovém zapojení

Název kabelu	$I_{\max}$ (A)	$i$ (%)
994_270818_2577720	252	67,5
994_270818_2856460	188	65,1
994_270818_4092101	252	64,7
994_270818_2827811	188	64,3
USV_001069	252	58,7

### Provozní stav odstávka

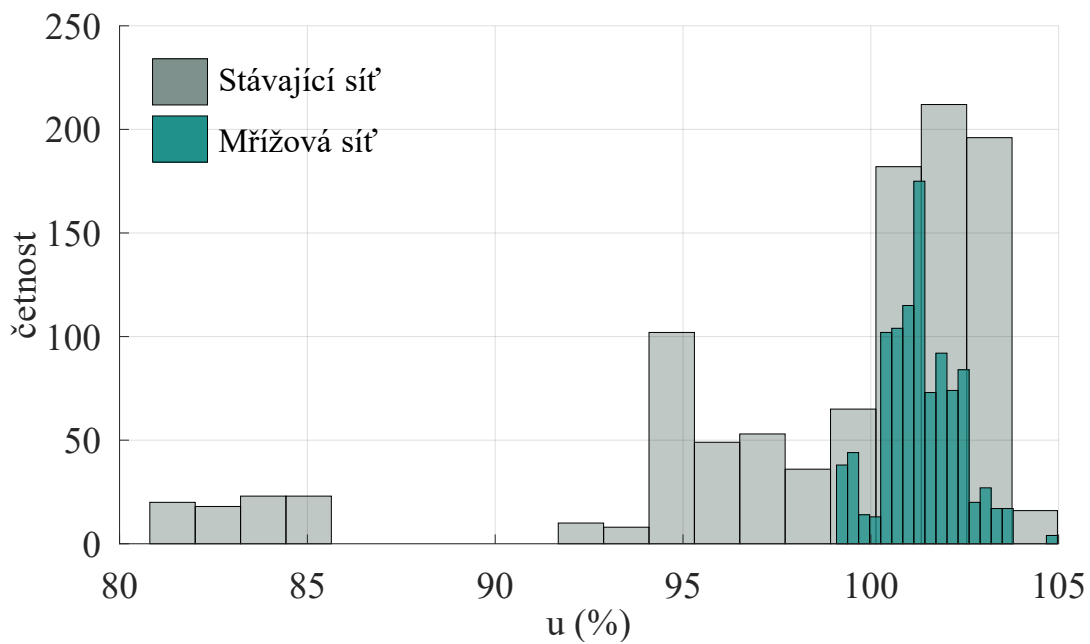
Provozní stavy typu odstávka jsou řešeny jen okrajově, protože nejsou tak důležité a práce by se značně znehodnotila. V tabulce 47 jsou uvedeny délky přetíženého vedení a počet pojistek SV, u kterých došlo k vybavení v důsledku zatížení kabelu přesahující 70 % jmenovitého proudu kabelu.

**Tabulka 47:** Scénář 3 - přehled hodnot při odstávce

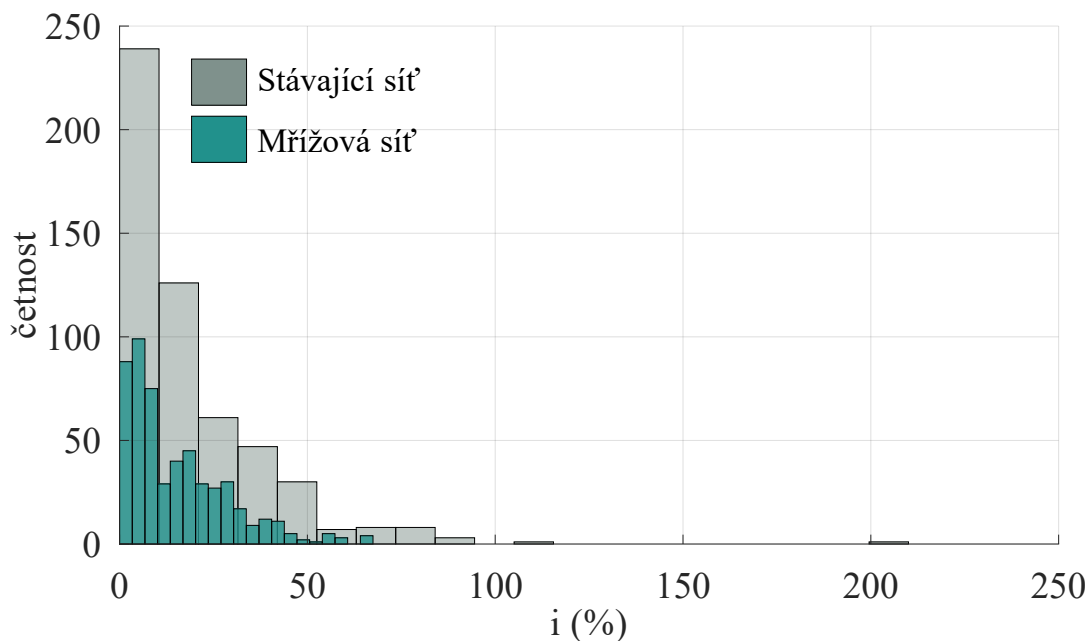
Výpadek	vypadnutých poj. SV	přetížené vedení (m)	přetížené vedení (%)
0029	4	0	0,0
0031	0	0	0,0
0057	0	0	0,0
0054	0	50	0,3
0055	3	0	0,0
0037	1	12	0,1
0056 T1, T2	1	253	1,3
VN1	13	1692	9,0
VN2	13	1178	6,2

### Zhodnocení scénáře 3

Celkový přehled o poměrech v síti uvádí obrázky 26 a 27. Tento scénář je podobný jako scénář 2. Napětí v paprskové síti je nerovnoměrně rozloženo a několik hodnot je mimo povolené odchylky. V mřížovém zapojení je napětí rovnoměrně rozloženo a pohybuje se lehce nad 100 % jmenovité hodnoty. Stejně tak proudové zatížení je rovnoměrnější v mřížové síti a nepřekračuje hodnotu 70 %.



Obrázek 26: Porovnání četnosti poměrného napětí ve scénáři 3



Obrázek 27: Porovnání četnosti poměrného zatížení ve scénáři 3

### 3.3.5 Scénář 4

V tomto scénáři řeším, kolik dobíjecích stanic lze připojit do sítě, aniž by bylo nutné dělat jakékoliv úpravy sítě. Poměrné proudové zatížení všech kabelů a transformátorů nesmí přesáhnout 70 % v ustáleném chodu sítě. Prvotní odhad počtu stanic jsem udělal na základě rezervy činného výkonu jednotlivých transformátorů (nabíječky jsou připojeny jako čistě činný odběr). To je jednoduché a vychází u paprskové sítě.

U mřížové sítě je odhad náročnější. Ta díky svým výhodám zvládne více nabíječek, ale pouze při sjednoceném jmenovitém výkonu transformátorů. Dva transformátory mají nižší výkon než zbylé a počet nabíjecích stanic se bude určovat převážně podle jejich zatížení. Použil jsem stejný počet jako u paprskové sítě a potom jsem metodou pokus-omyl upravil počet dobíjecích stanic tak, aby nedocházelo k přetížení prvků. V tabulce je uveden počet stanic stanovený prvotním odhadem a metodou pokus-omyl.

Příklad výpočtu výkonové rezervy transformátoru 0029:

$$P_{rez} = \sqrt{\gamma^2 \cdot S_N^2 - Q^2} - P = \sqrt{0,7^2 \cdot 400^2 - 65,2^2} - 199,06 = 73,2 \text{ kW}$$

### Stávající zapojení

Zvolený počet dobíjecích stanic je v následující tabulce 48. Pouze u Tr 0037 je změna oproti prvotnímu odhadu počtu dobíjecích stanic. Musel jsem ubrat jednu stanic, protože docházelo k přetěžování kabelového vedení. Zatížení transformátorů je takřka totožné.

**Tabulka 48:** Scénář 4 - počet dobíjecích stanic v paprskovém zapojení

Transformátor	Prvotní odhad	Skutečný počet
0029	3	3
0031	2	2
0057	2	2
0054	9	9
0055	8	8
0037	6	5
0056 T1+T2	6	6
Celkem	36	35

**Tabulka 49:** Scénář 4 - zatížení transformátorů v paprskovém zapojení

Transformátor	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma_{mriz}$ (%)
0029	400	265,7	65,3	68,4
0031	400	262,1	76,4	68,3
0057	250	165,6	44,6	68,6
0054	400	271,3	23,9	68,1
0055	400	269,8	32,5	67,9
0037	400	263,8	50,4	67,1
0056 T1, T2	250	166,1	33,8	67,8

**Tabulka 50:** Scénář 4 - vybrané hodnoty napětí v paprskovém zapojení

Název uzlu	Značení	U (V)	$U_f$ (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	$U_1$	403,9	233,2	101,0
01-0023_/R1194_/W1	$U_2$	389,3	224,8	97,3
001-0023_/1490_/01	$U_3$	403,3	232,9	100,8
01-0023_/B1065_/01	$U_4$	393,8	227,4	98,5
001-0023_/1610_/01	$U_5$	410,4	237,0	102,6
01-0023_/R3211_/W1	$U_6$	404,1	233,3	101,0
01-0023_/R2990_/W1	$U_7$	410,7	237,1	102,7
001-0023_/A391_/01	$U_8$	407,8	235,4	101,9
001-0023_/1017_/01	$U_9$	407,3	235,1	101,8
01-0023_/R1206_/W1	$U_{10}$	406,1	234,5	101,5
001-0023_/1030_/01	$U_{11}$	403,8	233,1	100,9
001-0023_/1246_/01	$U_{12}$	411,9	237,8	103,0

### Mřížové zapojení

V mřížové síti se značně liší počet dobíjecích stanic oproti paprskové síti. Počet je 2x nižší a je to způsobeno tím, že dva transformátory mají nižší jmenovitý výkon než ostatní. Propojením sítě dojde k rozložení výkonu a další připojený výkon je rozdělený mezi ostatní transformátory. Pod 70% jsou transformátory s nižším jmenovitým výkonem 0057 a 0056 T1, T2, zbylé mají výkonovou rezervu.

**Tabulka 51:** Scénář 4 - počet dobíjecích stanic v mřížovém zapojení

Transformátor	Prvotní odhad	Skutečný počet
0029	3	5
0031	2	1
0057	2	0
0054	9	5
0055	8	5
0037	6	0
0056 T1+T2	6	2
Celkem	36	18

**Tabulka 52:** Scénář 4 - zatížení transformátorů v mřížovém zapojení

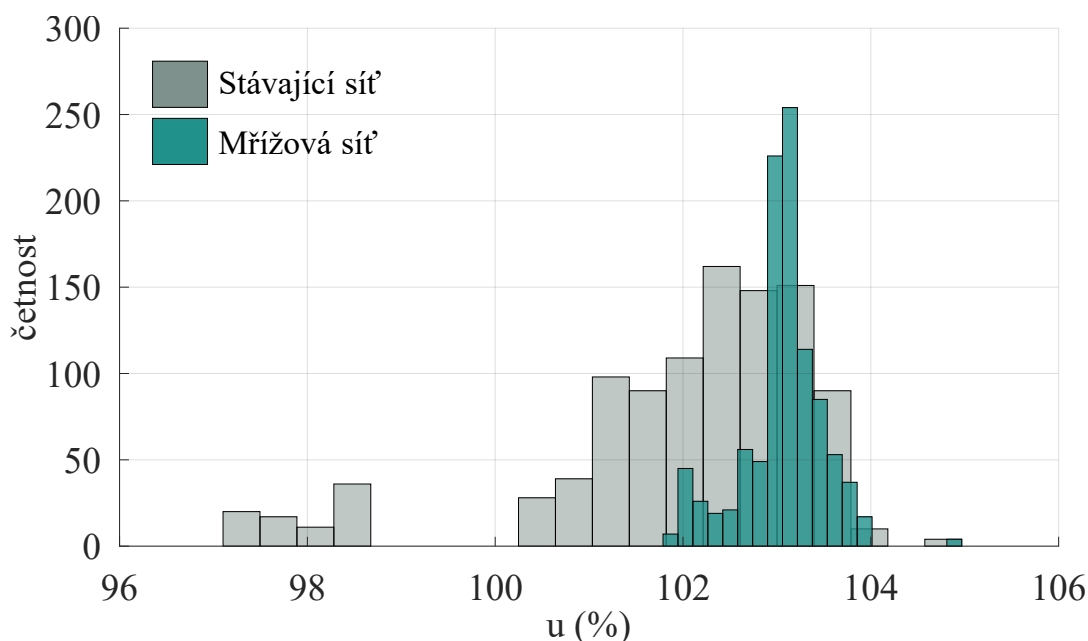
Transformátor	S (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma$ (%)
0029	400	203,7	71,5	54,0
0031	400	188,7	59,4	49,4
0057	250	164,0	47,2	68,2
0054	400	183,2	42,6	47,0
0055	400	190,3	46,2	49,0
0037	400	163,8	34,8	41,9
0056 T1, T2	250	166,9	25,3	67,5

**Tabulka 53:** Scénář 4 - vybrané hodnoty napětí v mřížové zapojení

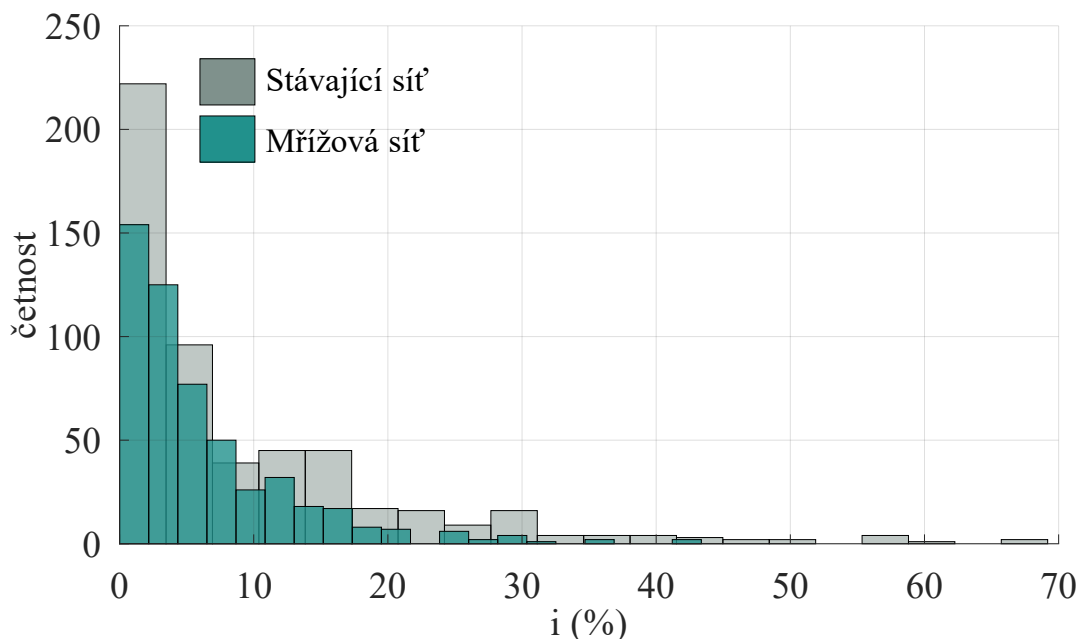
Název uzlu	Značení	Mřížové zapojení			Paprskové zapojení		
		U (V)	$U_f$ (V)	u (%)	U (V)	$U_f$ (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	U <sub>1</sub>	407,2	235,1	101,8	403,9	233,2	101,0
01-0023_/R1194_/W1	U <sub>2</sub>	410,1	236,8	102,5	389,3	224,8	97,3
001-0023_/1490_/01	U <sub>3</sub>	410,8	237,2	102,7	403,3	232,9	100,8
01-0023_/B1065_/01	U <sub>4</sub>	408,2	235,7	102,0	393,8	227,4	98,5
001-0023_/1610_/01	U <sub>5</sub>	412,5	238,2	103,1	410,4	237,0	102,6
01-0023_/R3211_/W1	U <sub>6</sub>	411,2	237,4	102,8	404,1	233,3	101,0
01-0023_/R2990_/W1	U <sub>7</sub>	412,9	238,4	103,2	410,7	237,1	102,7
001-0023_/A391_/01	U <sub>8</sub>	412,1	237,9	103,0	407,8	235,4	101,9
001-0023_/1017_/01	U <sub>9</sub>	412,5	238,1	103,1	407,3	235,1	101,8
01-0023_/R1206_/W1	U <sub>10</sub>	410,5	237,0	102,6	406,1	234,5	101,5
001-0023_/1030_/01	U <sub>11</sub>	411,9	237,8	103,0	403,8	233,1	100,9
001-0023_/1246_/01	U <sub>12</sub>	412,6	238,2	103,2	411,9	237,8	103,0

### Zhodnocení scénáře 4

Napěťové poměry v obou zapojeních jsou porovnány v obrázku 28. V mřížovém zapojení je napětí rovnoměrnější a rozptýlené na kratším intervalu hodnot, což vypovídá o vyšší tvrdosti mřížové sítě oproti paprskové. Proudové poměry jsou v grafu na obrázku 29. Zatížení kabelového vedení (a transformátorů) nepřekračuje 70 % jmenovité hodnoty, aby se dala obě zapojení dlouhodobě provozovat. Kvůli rovnoměrnému rozložení výkonu mezi všechny transformátory se do mřížové sítě může připojit nižší, téměř poloviční, počet dobíjecích stanic.

**Obrázek 28:** Porovnání četnosti poměrného napětí ve scénáři 4





Obrázek 29: Porovnání četnosti poměrného zatížení ve scénáři 4

### 3.3.6 Scénář 5

Smyslem posledního scénáře je zjistit, kolik lze do sítě připojit dobíjecích stanic, aniž by došlo k zatěžování kabelového vedení nad 70 %. Je totiž jednodušší vyměnit transformátor než kabelové vedení, u kterého jsou nutné výkopové práce. Transformátory jsem vyměnil za nové s takovým výkonem, aby bylo zatížení pod 70 %.

Nechal jsem v síti maximální počet připojených dobíjecích stanic a metodou pokus-omyl jsem postupně odpojoval dobíjecí stanice. Ve stávající paprskové síti určovaly přetížené paprsky, jakou dobíjecí stanici odpojit. Naopak u mřížové sítě bylo více možností, kterou nabíječku odpojit, protože všechny se více či méně podílejí na zatížení všech kabelových vedení. Konečný počet dobíjecích stanic je v tabulce 54, pro porovnání jsem uvedl i maximální počet stanic.

Tabulka 54: Scénář 5 - počet dobíjecích stanic v paprskovém zapojení

Označení	Barva	Maximální počet	Paprsková síť	Mřížová síť
0029	červená	32	10	18
0031	tmavě modrá	52	21	47
0057	hnědá	17	10	8
0054	světle modrá	12	12	7
0055	růžová	24	14	10
0037	žlutá	11	10	9
0056 T1+T2	zelená	23	13	13
Celkem		171	90	112

## Stávající zapojení

Aby se dala síť provozovat dlouhodobě s 90 nabíječkami, je potřeba vyměnit transformátor 0031 za transformátory  $2 \times 630$  kVA. Pokud by byl nedostatečný prostor pro dvoustrojovou DTS, tak stačí odebrat požadovaný počet dobíjecích stanic v paprsku. Zatížení transformátorů je v tabulce 55.

**Tabulka 55:** Scénář 5 - zatížení transformátorů, paprskové zapojení

Označení	Barva	$S_{inst}$ (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma$ (%)
0029	červená	630	424,2	66,8	68,2
0031	tmavě modrá	630 + 630	698,6	83,5	55,8
0057	hnědá	630	342,8	45,7	54,9
0054	světle modrá	630	338,4	24,3	53,8
0055	růžová	630	406,3	33,8	64,7
0037	žlutá	630	377,9	51,6	60,5
0056 T1, T2	zelená	630	244,4	34,2	39,2

**Tabulka 56:** Scénář 5 - vybrané hodnoty napětí v paprskovém zapojení

Název uzlu	Značení	U (V)	$U_f$ (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	$U_1$	401,4	231,7	100,3
01-0023_/R1194_/W1	$U_2$	391,4	226,0	97,9
001-0023_/1490_/01	$U_3$	405,0	233,8	101,2
01-0023_/B1065_/01	$U_4$	395,9	228,6	99,0
001-0023_/1610_/01	$U_5$	404,7	233,6	101,2
01-0023_/R3211_/W1	$U_6$	406,0	234,4	101,5
01-0023_/R2990_/W1	$U_7$	407,8	235,4	101,9
001-0023_/A391_/01	$U_8$	396,2	228,8	99,1
001-0023_/1017_/01	$U_9$	400,3	231,1	100,1
01-0023_/R1206_/W1	$U_{10}$	408,4	235,8	102,1
001-0023_/1030_/01	$U_{11}$	398,0	229,8	99,5
001-0023_/1178_/01	$U_{12}$	411,7	237,7	102,9

## Mřížové zapojení

Výměna transformátorů v mřížové síti je rozsáhlejší. Jedná se o transformátory 0029, 0031, 0057, které se taktéž musí vyměnit za dvoustrojové  $2 \times 630$  kVA. Zatížení všech transformátorů v mřížové síti je v tabulce 57.

**Tabulka 57:** Scénář 5 - zatížení transformátorů, mřížové zapojení

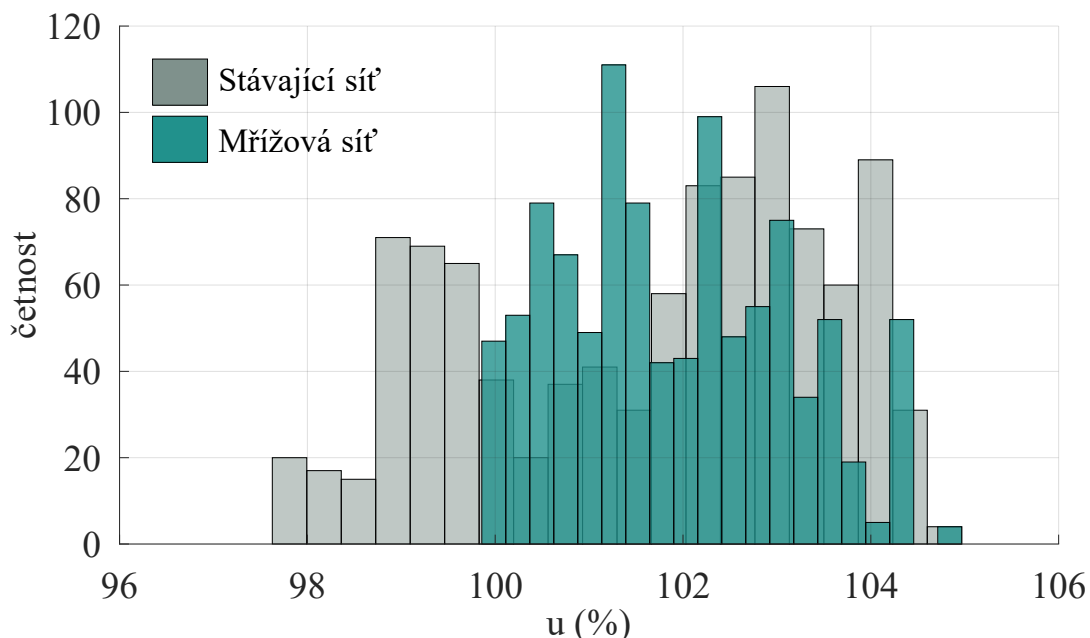
Označení	Barva	$S_{inst}$ (kVA)	P (kW)	Q (kVAr)	$\gamma_{mriz}$ (%)
0029	červená	630 + 630	473,8	62,3	37,9
0031	tmavě modrá	630 + 630	543,8	133,5	44,4
0057	hnědá	630 + 630	511,2	94,9	41,3
0054	světle modrá	630	401,2	13,1	63,7
0055	růžová	630	436,7	23,6	69,4
0037	žlutá	630	404,7	12,2	64,3
0056 T1, T2	zelená	630	386,0	17,7	61,3

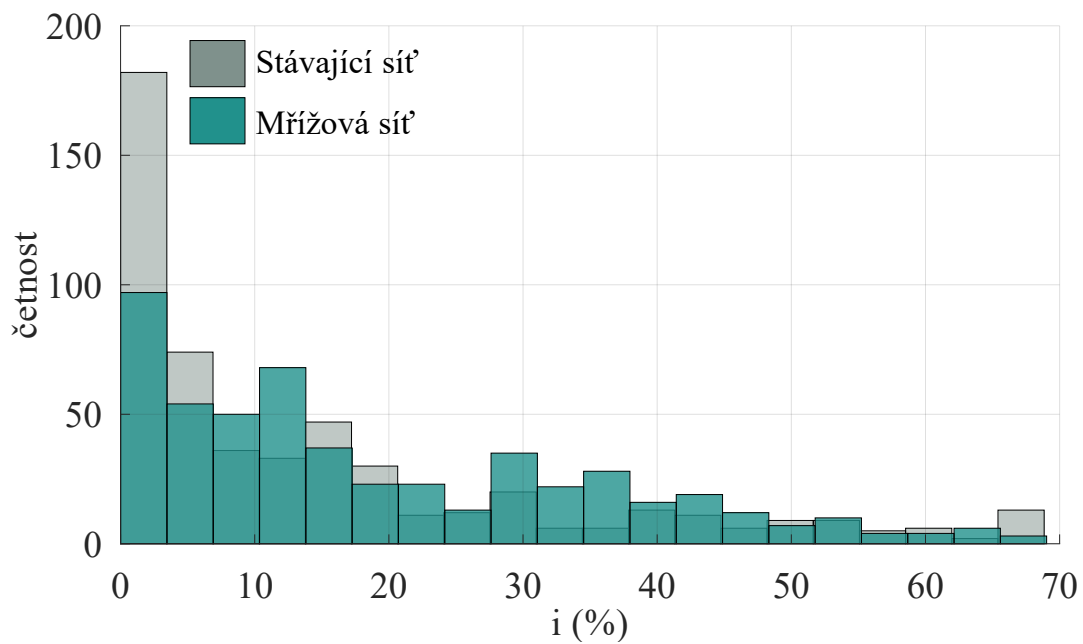
**Tabulka 58:** Scénář 5 - vybrané hodnoty napětí v mřížovém zapojení

Název uzlu	Značení	Mřížové zapojení			Paprskové zapojení		
		U (V)	$U_f$ (V)	u (%)	U (V)	$U_f$ (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	$U_1$	401,7	231,9	100,4	401,4	231,7	100,3
01-0023_/R1194_/W1	$U_2$	405,0	233,8	101,3	391,4	226,0	97,9
001-0023_/1490_/01	$U_3$	404,5	233,5	101,1	405,0	233,8	101,2
01-0023_/B1065_/01	$U_4$	400,3	231,1	100,1	395,9	228,6	99,0
001-0023_/1610_/01	$U_5$	403,2	232,8	100,8	404,7	233,6	101,2
01-0023_/R3211_/W1	$U_6$	407,3	235,2	101,8	406,0	234,4	101,5
01-0023_/R2990_/W1	$U_7$	410,4	237,0	102,6	407,8	235,4	101,9
001-0023_/A391_/01	$U_8$	405,0	233,8	101,2	396,2	228,8	99,1
001-0023_/1017_/01	$U_9$	400,7	231,4	100,2	400,3	231,1	100,1
01-0023_/R1206_/W1	$U_{10}$	412,2	238,0	103,0	408,4	235,8	102,1
001-0023_/1030_/01	$U_{11}$	400,7	231,3	100,2	398,0	229,8	99,5
001-0023_/1178_/01	$U_{12}$	407,7	235,4	101,9	411,7	237,7	102,9

### Zhodnocení scénáře 5

V mřížové síti je o 22 dobíjecích stanic více, což není tak velký přínos mřížové sítě, který jsem očekával. Problém je v tom, že v síti je různý průměr kabelových vedení (70 mm<sup>2</sup> až 240 mm<sup>2</sup>). Právě nízký průměr kabelového vedení je limitujícím faktorem, který určuje výsledný počet dobíjecích stanic. V obou zapojeních by bylo potřeba vyměnit všechny transformátory. V grafech na obrázku 30 a obrázku 31 jsou vidět výsledné napěťové a proudové poměry.

**Obrázek 30:** Porovnání četnosti poměrného napětí ve scénáři 5



**Obrázek 31:** Porovnání četnosti poměrného zatížení ve scénáři 5

## 4 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout mřížovou síť přepojením stávající paprskové sítě a zjistit její přínos pro elektromobilitu. V teoretické části jsem porovnal výhody a nevýhody mřížové sítě s paprskovou sítí. Tyto výhody by mohly být jedním z postupů přípravy infrastruktury v rámci rozvoje elektromobility.

V praktické části jsem analyzoval ustálený chod obou zapojení. Veškeré výpočty sítě jsem prováděl v softwaru DAISY PAS Bizon. Nejprve jsem navrhl přepojení na mřížovou síť výkonovými pojistkami nn, kterých bylo potřeba 73. Z porovnání výsledků obou sítí je vidět, jak se zvýší plošné napětí v mřížové síti a odlehčí kabelová vedení. Celá síť se stane „globální“ a jakékoliv změny se projeví v celé síti. Není sjednocený výkon transformátorů a transformátory s nižším jmenovitým výkonem určují maximální možné zatížení v síti, které je nižší, než kdyby byl výkon sjednocený. Jinak je tomu u stávající paprskové sítě, která se skládá ze 7 nezávislých sítí. Proudové a napěťové poměry jsou rozprostřeny na větším intervalu hodnot. Při odstávce (nebo výpadku) transformátoru je v mřížové síti dodávka elektrické energie všem odběratelům nepřerušena. U paprskové sítě dojde k výpadku dodávky elektrické energie a je potřeba provést rekonfiguraci sítě pro její obnovení.

Další částí praktické části práce je přínos mřížového zapojení pro elektromobilitu. Řešil jsem 5 scénářů, kde je různý počet a výkon dobíjecích stanic. Dobíjecí stanice jsem připojoval jako statickou zátěž s účinnkem  $\cos \varphi = 1$  a uvažoval jsem koeficient soudobosti 1. Podmínky připojení a vlivy dobíjecích stanic na síť jsem neřešil. Scénáře byly zvoleny tak, aby postihly možné varianty osazení dobíjecích stanic ve zvolené síti.

Scénář 1 je maximální scénář - maximální počet dobíjecích stanic s výkonem 22 kW. Ze získaných výsledků je přímo patrný přínos mřížové sítě. Zatímco u paprskové sítě nedoběhl výpočet do konce kvůli vysokému zatížení, tak u mřížové sítě proběhl výpočet dokonce, i když je, podle očekávání, značně přetížena.

Scénář 2 je takovou střední cestou, počet dobíjecích stanic je maximální, ale s polovičním výkonem 11 kW. V mřížové síti nedochází k přetížení kabelového vedení, u paprskové ano. Transformátory jsou přetíženy v obou sítích. Pro tento scénář jsem provedl úpravy obou sítí tak, aby se mohly dlouhodobě provozovat. Navíc jsem provedl vyčíslení nákladů nutných úprav v síti. Porovnání investičních nákladů mluví jasně ve prospěch mřížové sítě, protože náklady jsou nižší o 10 mil. Kč. Udělal jsem i druhou variantu, která počítá s výkonovou rezervou a vychází o 2 mil. Kč draž než úpravy pro paprskovou síť. Nicméně je to spíše teoretická varianta, protože trafostanice by pak byly dvoustrojové a ve městských zástavbách je DTS limitována prostorem.

Scénář 3 počítá s polovičním počtem dobíjecích stanic o výkonu 22 kW. Liší se v tom, že

tady je zatížení méně rozložené než ve scénáři 2. Výsledky ovšem vyšly velmi podobně.

Scénář 4 byl zvolen jako reálný scénář. Zjišťoval jsem, kolik se dá připojit dobíjecích stanic o výkonu 22 KW do obou sítí, aniž by bylo nutné provádět jakékoliv úpravy v síti. Do paprskové sítě je možné připojit 35 dobíjecích stanic. Do mřížové, překvapivě, lze připojit jen 18 dobíjecích stanic. Markantní rozdíl je způsobený nesjednoceným výkonem transformátorů, zatížení připojené do sítě omezují transformátory s výkonem 250 kVA.

Scénář 5 je pro distributora sítě přínosný z toho důvodu, že bude mít k dispozici počet dobíjecích stanic, které lze připojit do sítě, aniž by poměrné proudové zatížení kabelového vedení převýšilo 70 %. V opačném případě by bylo nutné vyměnit kabelová vedení, tedy provádět náročné výkopové práce. V mřížové síti je o 20 dobíjecích stanic více než v paprskové. Očekával jsem vyšší přínos mřížové sítě. Limitujícím faktorem se ukázal velký rozdíl v průřezu kabelových vedení. Nízký průřez značně omezuje připojitelný výkon.

Při provozování mřížové sítě je důležité, aby byl sjednocený jmenovitý výkon transformátorů, jinak bude transformátor s nejnižším výkonem limitovat zatížení sítě. Stejně tak to platí pro průřez kabelového vedení, kde kabel s nejnižším průřezem bude omezovat celkový připojitelný výkon. S ohledem na náročnost výkopových prací je výhodné rovnou použít nejvyšší průřez 240 mm<sup>2</sup>. Na tyto dvě zásady je dobré myslet i při rekonfiguraci paprskové sítě na mřížovou. Simulacemi jsem ověřil, že přepojení na mřížovou síť přináší výhody (zejména tvrdost sítě a maximální zatížení sítě), které by se sjednocením výkonů transformátorů a průřezů vodičů ještě zvýšily. Až bude chtít město Plzeň rozvíjet síť dobíjecích stanic, tato práce může být výchozím bodem pro realizaci projektu.

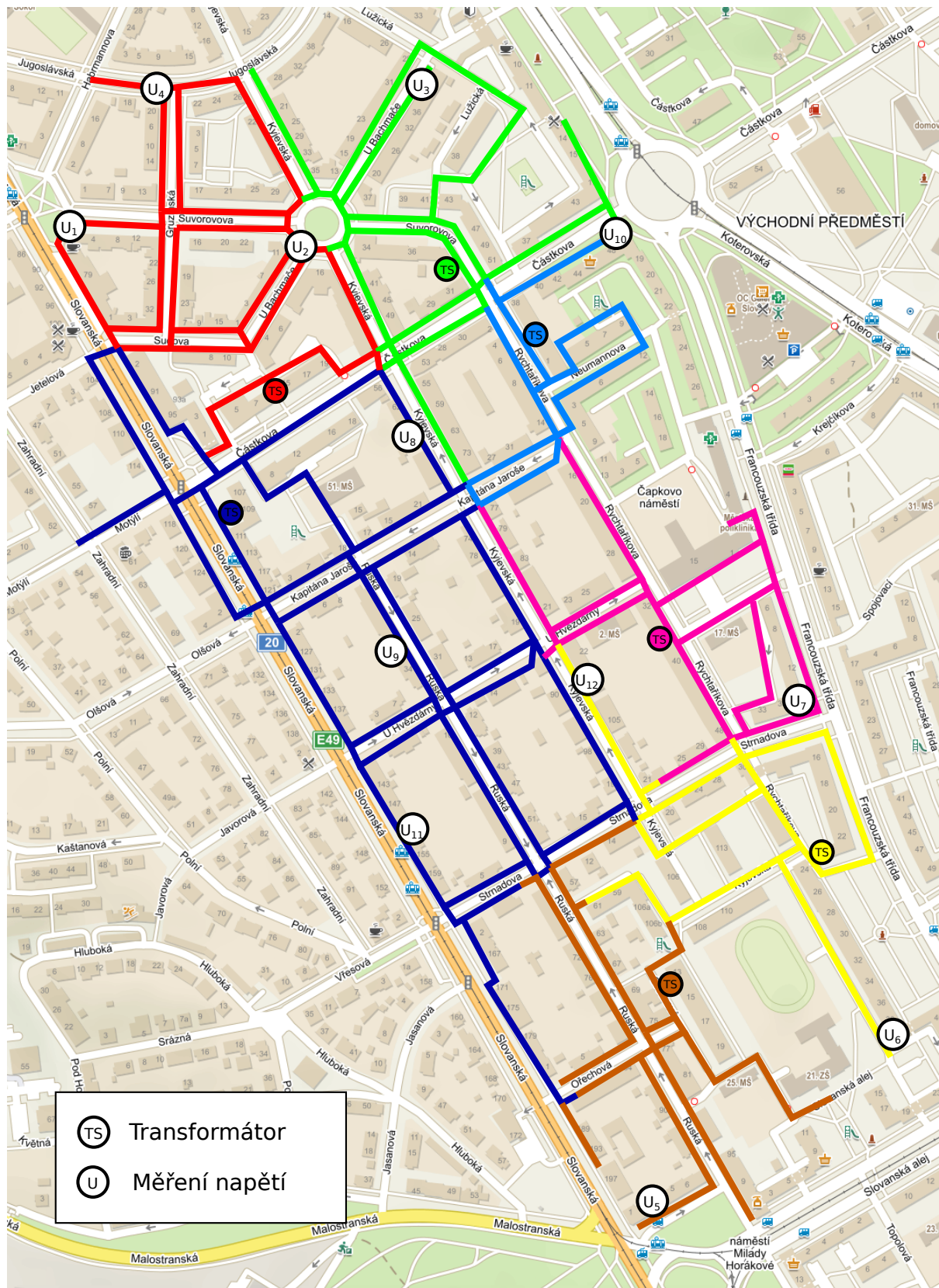
# Seznam použité literatury

1. *A European Green Deal* [online]. [B.r.]. [cit. 2022-10-28]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en).
2. *Vozidla s nulovými emisemi* [online]. 28. 10. 2022. [cit. 2022-10-28]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/cs/IP\\_22\\_6462](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/cs/IP_22_6462).
3. *Realizace Zelené dohody pro Evropu* [online]. 14. 7. 2021. [cit. 2022-10-28]. Dostupné z: [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_cs%BD/DP/D](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_cs%BD/DP/D).
4. *Počet elektromobilů v ČR* [online]. ©2020 - 2022. [cit. 2022-10-28]. Dostupné z: <https://www.ekovozy.cz/20200630.html>.
5. FILOVÁ, Martina. DEVELOPMENT OF ELECTROMOBILITY IN RELATION TO COVID-19 IN THE CZECH REPUBLIC. In: *European Scientific Conference of Doctoral Students*. 2020, s. 45.
6. SPILKA, Vojtěch. *Elektromobilita a její působení na energetickou síť*. 2019. Dostupné také z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/82896>. Dipl. pr. České vysoké učení technické v Praze.
7. *ČSN EN 50160*. Ed. 3. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
8. KATIĆ, Vladimir A.; M, Aleksandar; STANISAVLJEVIĆ; DUMNIĆ, Boris P.; POPADIĆ, Bane P. Impact of V2G operation of electric vehicle chargers on distribution grid during voltage dips. In: *IEEE EUROCON 2019 -18th International Conference on Smart Technologies*. 2019, s. 1–6. Dostupné z DOI: [10.1109/EUROCON.2019.8861904](https://doi.org/10.1109/EUROCON.2019.8861904).
9. KURFIŘT, M.; KAŠPÍREK, M.; HLAVNIČKA, J.; TEPLÝ, J. *Zpětný vliv nabíjení elektromobilů na distribuční soustavu*. e-on, 24.05.2018. interní dokument.
10. SKOK, Srđan; HAVAŠ, Ladislav; RADOSEVIC, Vedran; CVITANOVIC, Matej. Impact of Electromobility to the Power Distribution System. In: *2020 IEEE PES/IAS PowerAfrica*. 2020, s. 1–5. Dostupné z DOI: [10.1109/PowerAfrica49420.2020.9219914](https://doi.org/10.1109/PowerAfrica49420.2020.9219914).
11. *Obnovitelné zdroje energie v roce 2020*. Zář 2021. Dostupné také z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2021/9/Obnovitelne-zdroje-energie-2020.pdf>.
12. *ROČNÍ ZPRÁVA O PROVOZU ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY ČR PRO ROK 2021* [online]. [B.r.]. [cit. 2023-02-19]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/rocni-zprava-o-provozu-elektrizacni-soustavy-cr-pro-rok-2021>.
13. PAVLOVSKÝ, Bohumír. *Elektrické sítě v městech a sídlištích*. Praha: SNTL - nakladatelství technické literatury, 1975.

14. *Podniková norma PREDi: ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ SÍTÍ NN*. Ver. 3. Praha: Ing. Jiří Kodad – ved. oddělení S 26 100 Technický controlling, 22. 9. 2006.
15. TESARŮVÁ, Miloslava; ŠTROBLOVÁ, Milada. *Průmyslová elektroenergetika*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-703-3.
16. SOUČEK, Jan. Perspektivy mřížových sítí. *Energetika*. 2013, s. 685–687.
17. PAAR, Martin; SOUČEK, Jan. *Závěrečná zpráva - Analýza mřížové sítě v Šumperku*. [B.r.]. Interní dokument.
18. *NAP SG ID16 Automatizace nn ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA*. 6. 1. 2021. Dostupné také z: [https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2021/11/ZL\\_16\\_Automatizace\\_nn\\_vystupni-zprava.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/narodni-akcni-plan-pro-chytre-site/2021/11/ZL_16_Automatizace_nn_vystupni-zprava.pdf).
19. ULLRICH, Jiří. Koncept EV ready lamp. In: *Sborník konference ČK CIRED 2021*. PRE-distribuce, a.s., 2021.



### Príloha A - zvolená místa měření napětí



Obrázek 32: Vybraná místa pro měření napětí

## Příloha B - výsledky ze simulací

### Odstávka transformátoru 0029

**Tabulka 59:** Plošné hodnoty napětí při odstávce Tr0029

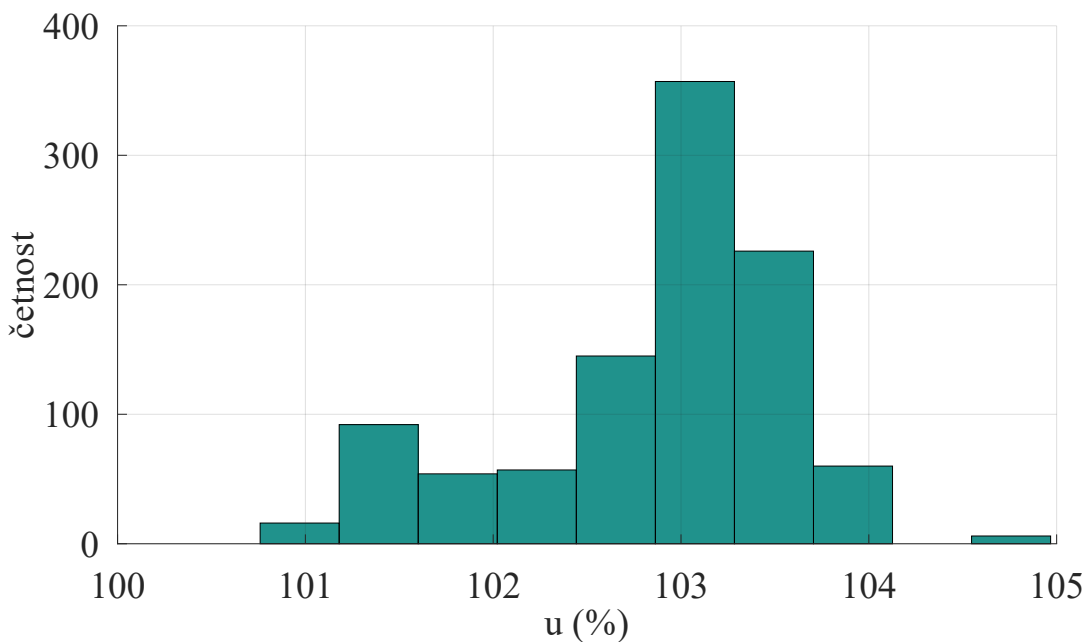
počet uzlů	$U_{\min}$ (V)	$u_{\min}$ (%)	$U_{\max}$ (V)	$u_{\max}$ (%)	$U_{\text{avg}}$ (V)	$u_{\text{avg}}$ (%)
1037	403	100,8	420	105,0	412	102,9

**Tabulka 60:** Vybrané hodnoty napětí při odstávce Tr0029

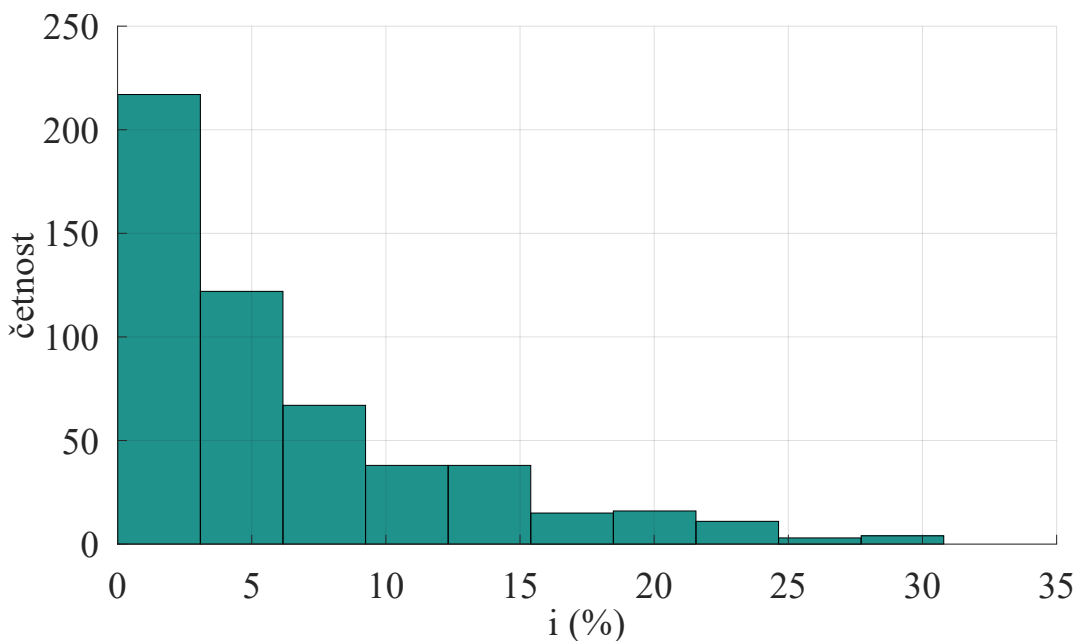
Název uzlu	Značení	U (V)	$U_f$ (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	$U_1$	403,0	232,7	100,8
01-0023_/R1194_/W1	$U_2$	407,5	235,3	101,9
001-0023_/1490_/01	$U_3$	409,8	236,6	102,4
01-0023_/B1065_/01	$U_4$	404,9	233,7	101,2
001-0023_/1610_/01	$U_5$	412,7	238,3	103,2
01-0023_/R3211_/W1	$U_6$	411,0	237,3	102,7
01-0023_/R2990_/W1	$U_7$	414,3	239,2	103,6
001-0023_/A391_/01	$U_8$	411,9	237,8	103,0
001-0023_/1017_/01	$U_9$	411,9	237,8	103,0
01-0023_/R1206_/W1	$U_{10}$	412,2	238,0	103,1
001-0023_/1030_/01	$U_{11}$	411,4	237,5	102,9
001-0023_/1178_/01	$U_{12}$	413,4	238,7	103,3

**Tabulka 61:** Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0029

Název kabelu	$I_{\max}$ (A)	i (%)
994_270818_2989641	188	4,1
994_270818_2939022	371	8,5
994_270818_4092101	252	21,6
994_270818_2577720	252	27,7
994_270818_2817102	252	30,8
994_270818_2630169	371	2,6
994_270818_6629236	252	28,6
994_270818_2602675	188	18,7
994_270818_2718100	253	21,6
994_270818_2827811	188	28,3
994_270818_6629237	252	24,0
994_270818_2856460	188	13,1



**Obrázek 33:** Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku Tr0029



**Obrázek 34:** Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku Tr0029

### Odstávka transformátoru 0031

**Tabulka 62:** Plošné hodnoty napětí při odstávce Tr0031

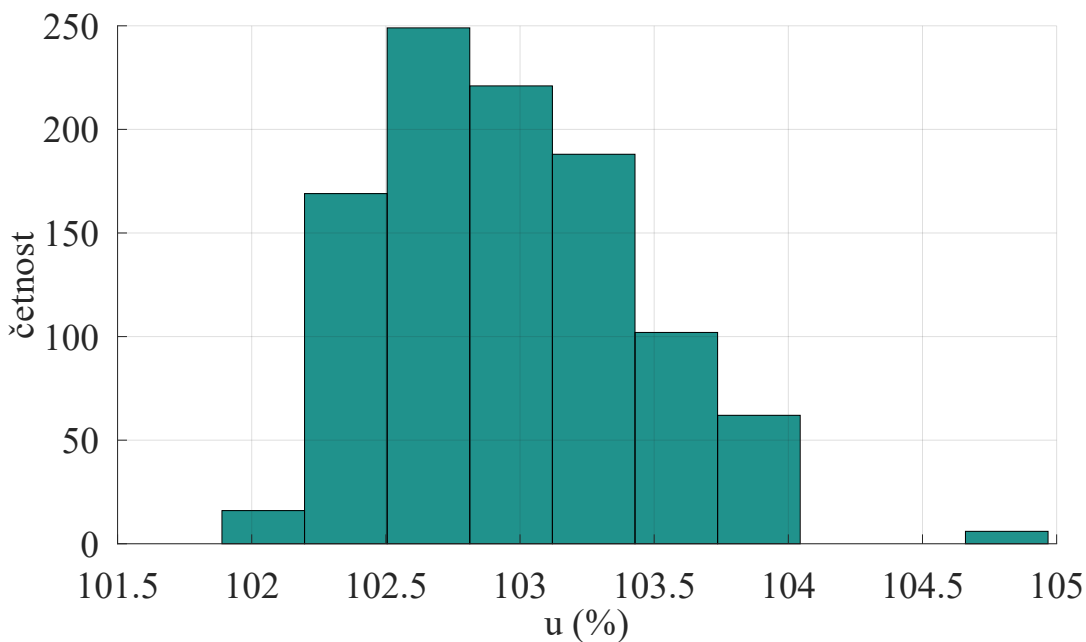
počet uzlů	$U_{\min}$ (V)	$u_{\min}$ (%)	$U_{\max}$ (V)	$u_{\max}$ (%)	$U_{\text{avg}}$ (V)	$u_{\text{avg}}$ (%)
1037	408	101,9	420	105,0	412	103,0

**Tabulka 63:** Vybrané hodnoty napětí při odstávce Tr0031

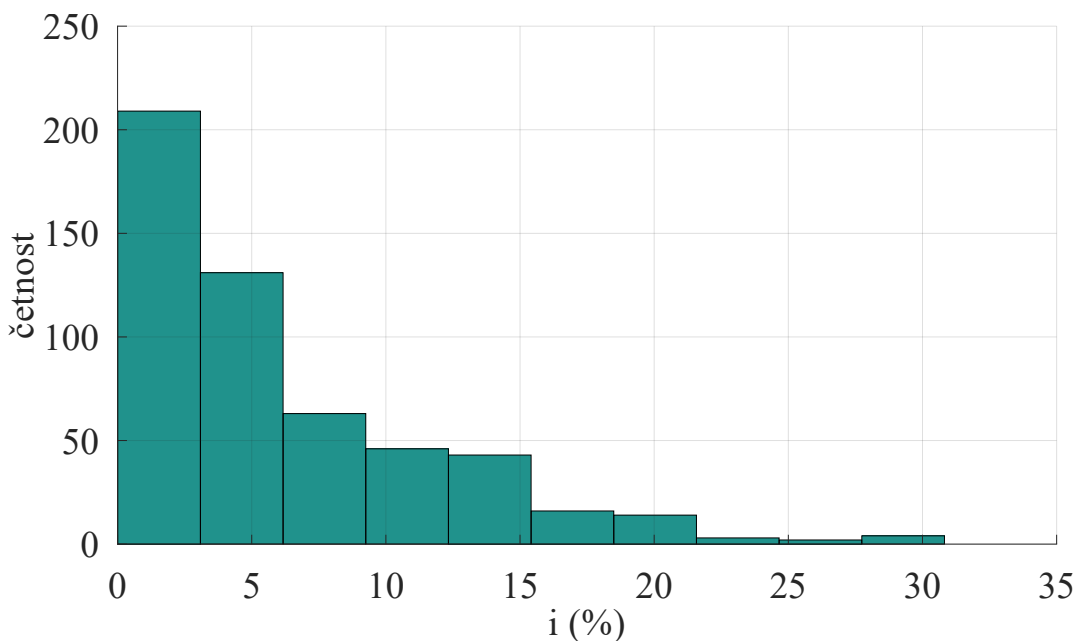
Název uzlu	Značení	U (V)	$U_f$ (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	$U_1$	407,6	235,3	101,9
01-0023_/R1194_/W1	$U_2$	410,7	237,1	102,7
001-0023_/1490_/01	$U_3$	411,3	237,5	102,8
01-0023_/B1065_/01	$U_4$	408,8	236,0	102,2
001-0023_/1610_/01	$U_5$	412,1	237,9	103,0
01-0023_/R3211_/W1	$U_6$	410,6	237,1	102,7
01-0023_/R2990_/W1	$U_7$	413,8	238,9	103,4
001-0023_/A391_/01	$U_8$	411,8	237,7	102,9
001-0023_/1017_/01	$U_9$	410,2	236,8	102,5
01-0023_/R1206_/W1	$U_{10}$	412,7	238,3	103,2
001-0023_/1030_/01	$U_{11}$	410,2	236,8	102,5
001-0023_/1178_/01	$U_{12}$	412,6	238,2	103,1

**Tabulka 64:** Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0031

Název kabelu	$I_{\max}$ (A)	i (%)
994_270818_2989641	188	7,8
994_270818_2939022	371	26,5
994_270818_4092101	252	25,3
994_270818_2577720	252	28,7
994_270818_2817102	252	30,8
994_270818_2630169	371	19,4
994_270818_6629236	252	28,6
994_270818_2602675	188	19,7
994_270818_2718100	253	17,1
994_270818_2827811	188	28,9
994_270818_6629237	252	24,1
994_270818_2856460	188	21,3



**Obrázek 35:** Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku Tr0031



**Obrázek 36:** Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku Tr0031

**Odstávka transformátoru 0057**

**Tabulka 65:** Plošné hodnoty napětí při odstávce Tr0057

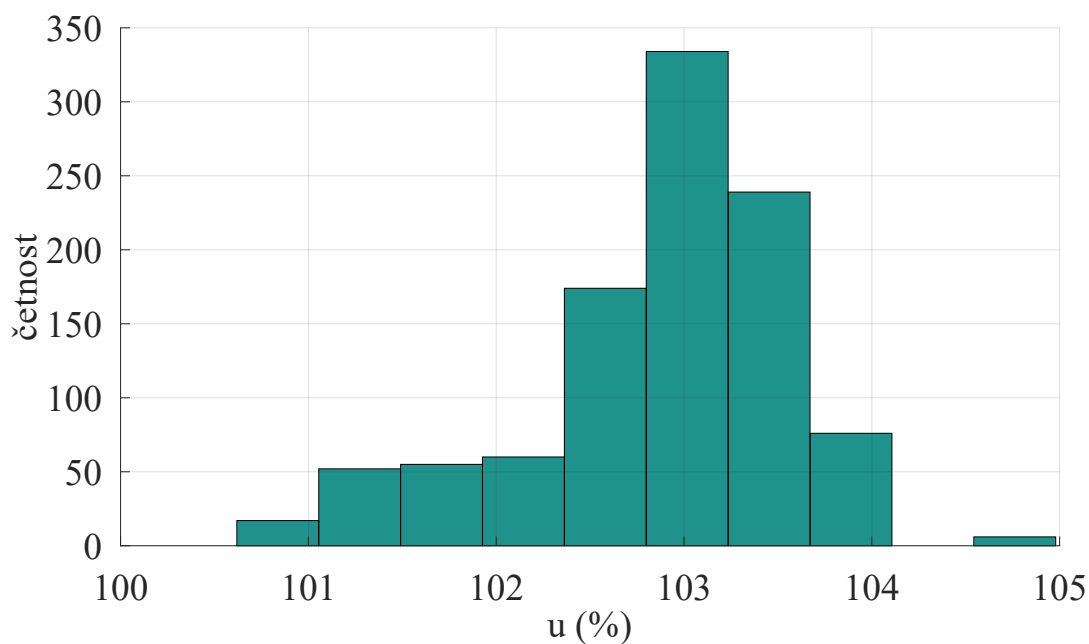
počet uzlů	$U_{min}$ (V)	$u_{min}$ (%)	$U_{max}$ (V)	$u_{max}$ (%)	$U_{avg}$ (V)	$u_{avg}$ (%)
1037	403	100,7	420	105,0	412	102,9

**Tabulka 66:** Vybrané hodnoty napětí při odstávce Tr0057

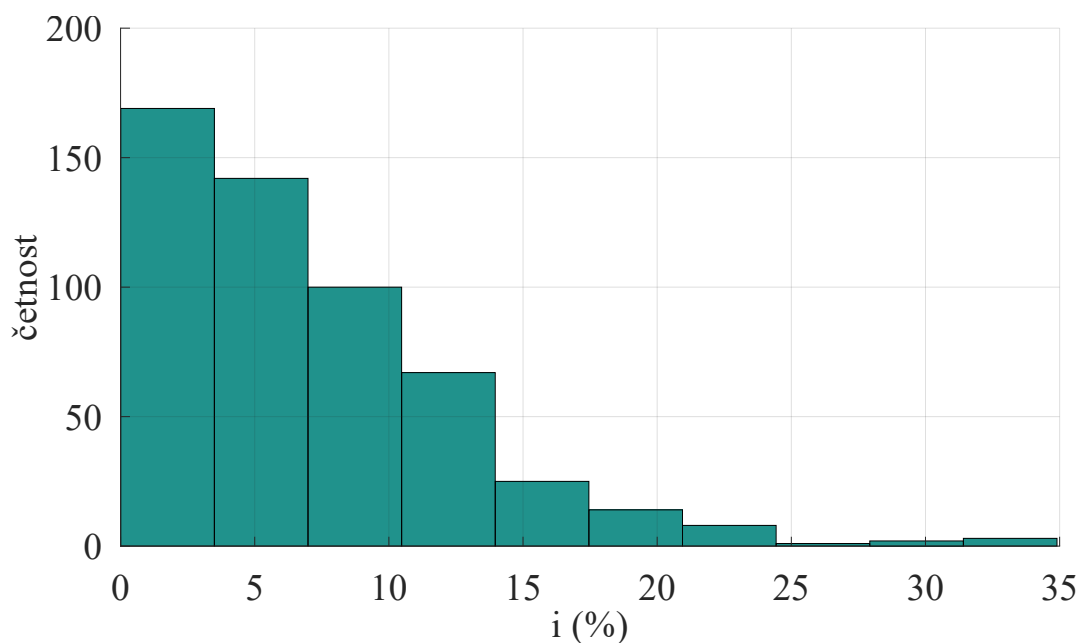
Název uzlu	Značení	U (V)	U <sub>f</sub> (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	U <sub>1</sub>	409,0	236,1	102,2
01-0023_/R1194_/W1	U <sub>2</sub>	411,7	237,7	102,9
001-0023_/1490_/01	U <sub>3</sub>	411,9	237,8	103,0
01-0023_/B1065_/01	U <sub>4</sub>	409,9	236,7	102,5
001-0023_/1610_/01	U <sub>5</sub>	404,2	233,3	101,0
01-0023_/R3211_/W1	U <sub>6</sub>	409,0	236,1	102,2
01-0023_/R2990_/W1	U <sub>7</sub>	412,9	238,4	103,2
001-0023_/A391_/01	U <sub>8</sub>	412,8	238,3	103,2
001-0023_/1017_/01	U <sub>9</sub>	411,2	237,4	102,8
01-0023_/R1206_/W1	U <sub>10</sub>	413,1	238,5	103,3
001-0023_/1030_/01	U <sub>11</sub>	408,6	235,9	102,2
001-0023_/1178_/01	U <sub>12</sub>	412,0	237,9	103,0

**Tabulka 67:** Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0057

Název kabelu	I <sub>max</sub> (A)	i (%)
994_270818_2989641	188	9,2
994_270818_2939022	371	24,0
994_270818_4092101	252	27,1
994_270818_2577720	252	28,4
994_270818_2817102	252	30,9
994_270818_2630169	371	16,5
994_270818_6629236	252	22,4
994_270818_2602675	188	20,1
994_270818_2718100	253	16,7
994_270818_2827811	188	34,9
994_270818_6629237	252	17,6
994_270818_2856460	188	21,6



Obrázek 37: Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku Tr0057



Obrázek 38: Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku Tr0057

#### Odstávka transformátoru 0054

Tabulka 68: Plošné hodnoty napětí při odstávce Tr0054

počet uzlů	$U_{\min}$ (V)	$u_{\min}$ (%)	$U_{\max}$ (V)	$u_{\max}$ (%)	$U_{\text{avg}}$ (V)	$u_{\text{avg}}$ (%)
1037	409	102,2	420	105,0	413	10,1

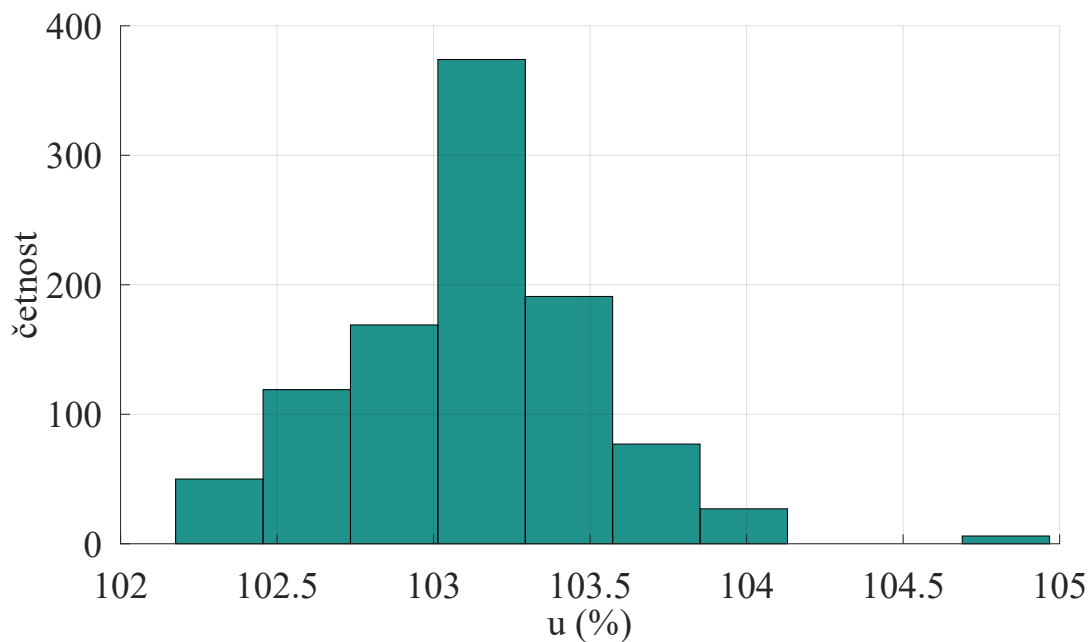
**Tabulka 69:** Vybrané hodnoty napětí při odstávce Tr0054

Název uzlu	Značení	U (V)	U <sub>f</sub> (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	U <sub>1</sub>	408,7	236,0	102,2
01-0023_/R1194_/W1	U <sub>2</sub>	411,0	237,3	102,7
001-0023_/1490_/01	U <sub>3</sub>	410,8	237,2	102,7
01-0023_/B1065_/01	U <sub>4</sub>	409,5	236,4	102,4
001-0023_/1610_/01	U <sub>5</sub>	412,8	238,3	103,2
01-0023_/R3211_/W1	U <sub>6</sub>	410,9	237,2	102,7
01-0023_/R2990_/W1	U <sub>7</sub>	414,1	239,1	103,5
001-0023_/A391_/01	U <sub>8</sub>	412,0	237,9	103,0
001-0023_/1017_/01	U <sub>9</sub>	412,6	238,2	103,1
01-0023_/R1206_/W1	U <sub>10</sub>	410,3	236,9	102,6
001-0023_/1030_/01	U <sub>11</sub>	411,8	237,7	102,9
001-0023_/1178_/01	U <sub>12</sub>	413,1	238,5	103,3

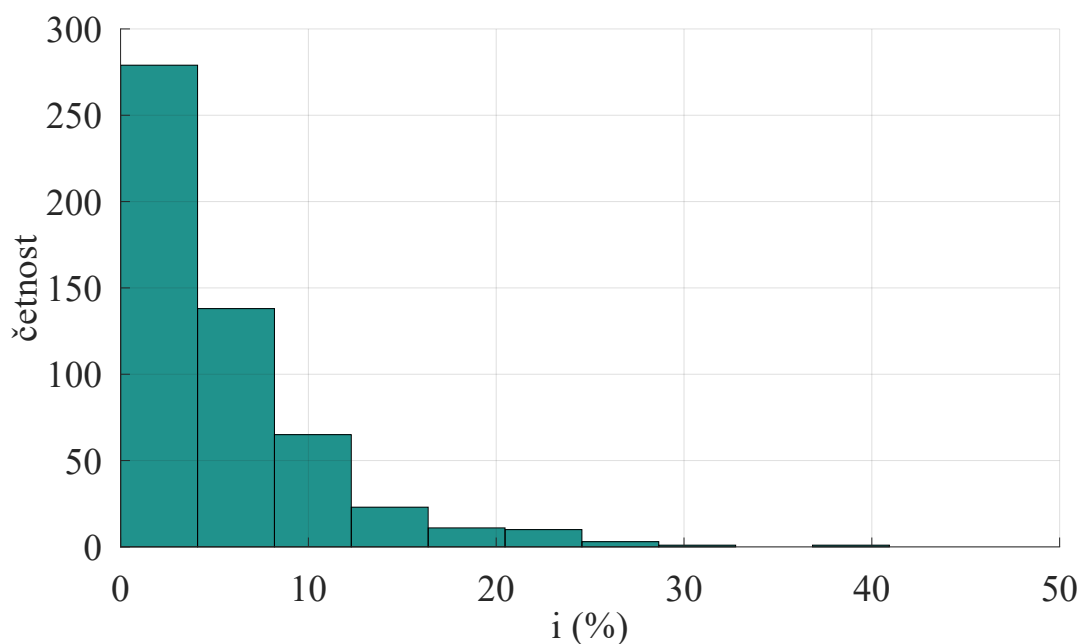
**Tabulka 70:** Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0054

Název kabelu	I <sub>max</sub> (A)	i (%)
994_270818_2989641	188	10,4
994_270818_2939022	371	24,2
994_270818_4092101	252	28,6
994_270818_2577720	252	40,9
994_270818_2817102	252	30,8
994_270818_2630169	371	16,4
994_270818_6629236	252	28,6
994_270818_2602675	188	20,6
994_270818_2718100	253	0,9
994_270818_2827811	188	26,9
994_270818_6629237	252	24,
994_270818_2856460	188	22,8





**Obrázek 39:** Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku Tr0054



**Obrázek 40:** Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku Tr0054

**Tabulka 71:** Plošné hodnoty napětí při odstávce Tr0055

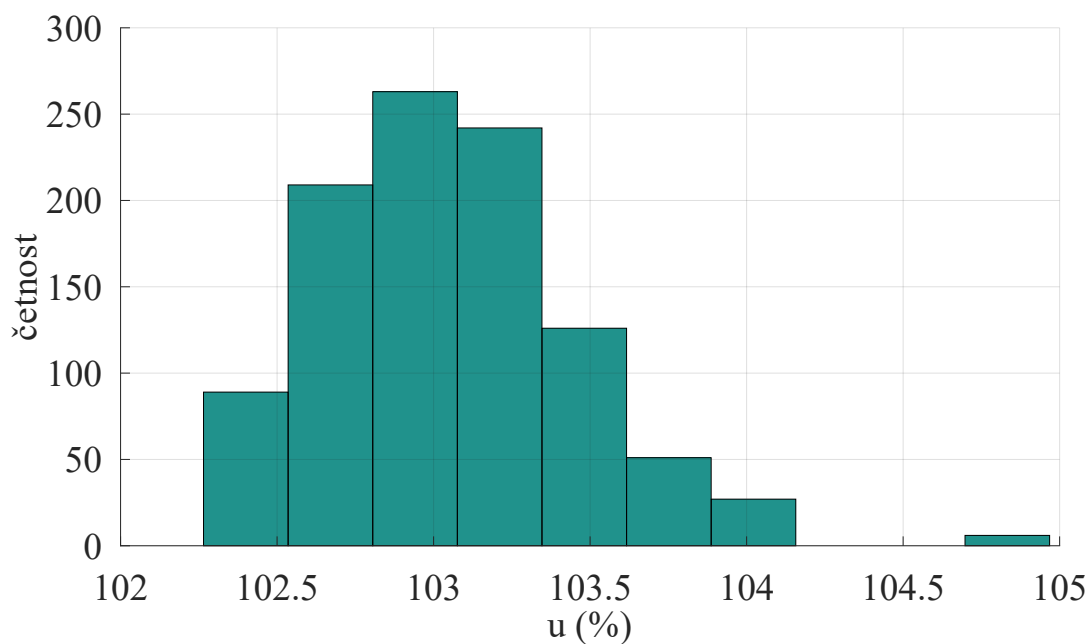
počet uzlů	$U_{\min}$ (kV)	$u_{\min}$ (%)	$U_{\max}$ (kV)	$u_{\max}$ (%)	$U_{\text{avg}}$ (kV)	$u_{\text{avg}}$ (%)
1037	409	102,3	420	105,0	412	103,1

**Tabulka 72:** Vybrané hodnoty napětí při odstávce Tr0055

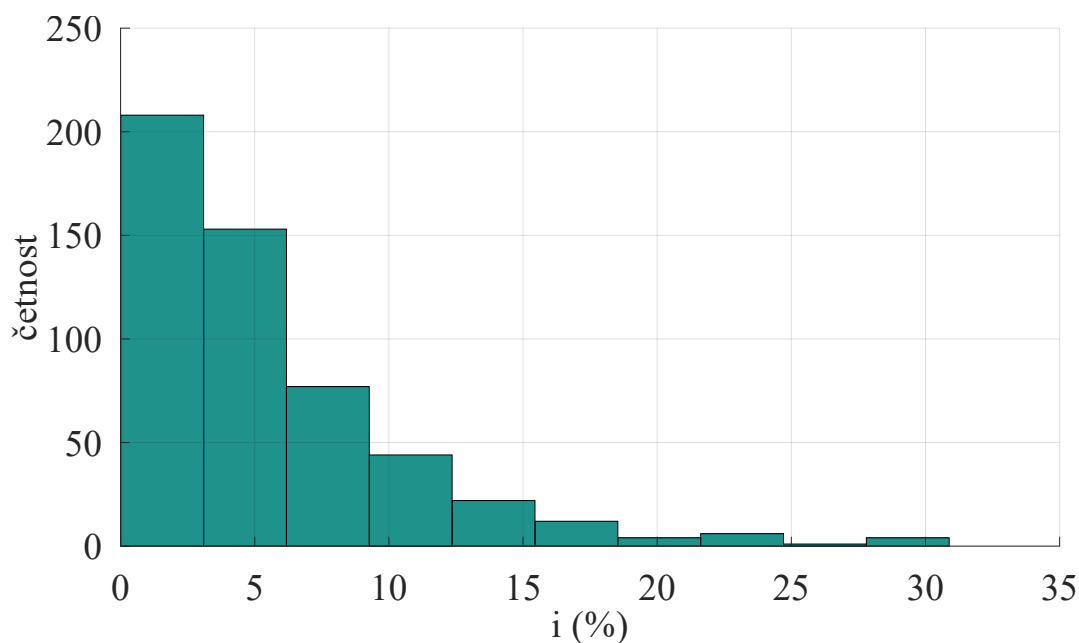
Název uzlu	Značení	U (V)	$U_f$ (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	$U_1$	409,1	236,2	102,3
01-0023_/R1194_/W1	$U_2$	411,7	237,7	102,9
001-0023_/1490_/01	$U_3$	411,9	237,8	103,0
01-0023_/B1065_/01	$U_4$	410,0	236,7	102,5
001-0023_/1610_/01	$U_5$	412,1	237,9	103,0
01-0023_/R3211_/W1	$U_6$	409,7	236,6	102,4
01-0023_/R2990_/W1	$U_7$	409,6	236,5	102,4
001-0023_/A391_/01	$U_8$	412,7	238,3	103,2
001-0023_/1017_/01	$U_9$	412,0	237,9	103,0
01-0023_/R1206_/W1	$U_{10}$	413,0	238,4	103,2
001-0023_/1030_/01	$U_{11}$	410,9	237,2	102,7
001-0023_/1178_/01	$U_{12}$	410,7	237,1	102,7

**Tabulka 73:** Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0055

Název kabelu	$I_{\max}$ (A)	i (%)
994_270818_2989641	188	9,4
994_270818_2939022	371	23,8
994_270818_4092101	252	27,4
994_270818_2577720	252	29,5
994_270818_2817102	252	30,9
994_270818_2630169	371	16,2
994_270818_6629236	252	28,6
994_270818_2602675	188	20,2
994_270818_2718100	253	15,3
994_270818_2827811	188	4,6
994_270818_6629237	252	24,1
994_270818_2856460	188	21,8



Obrázek 41: Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku Tr0055



Obrázek 42: Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku Tr0055

### Odstávka transformátoru 0037

Tabulka 74: Plošné hodnoty napětí při odstávce Tr0037

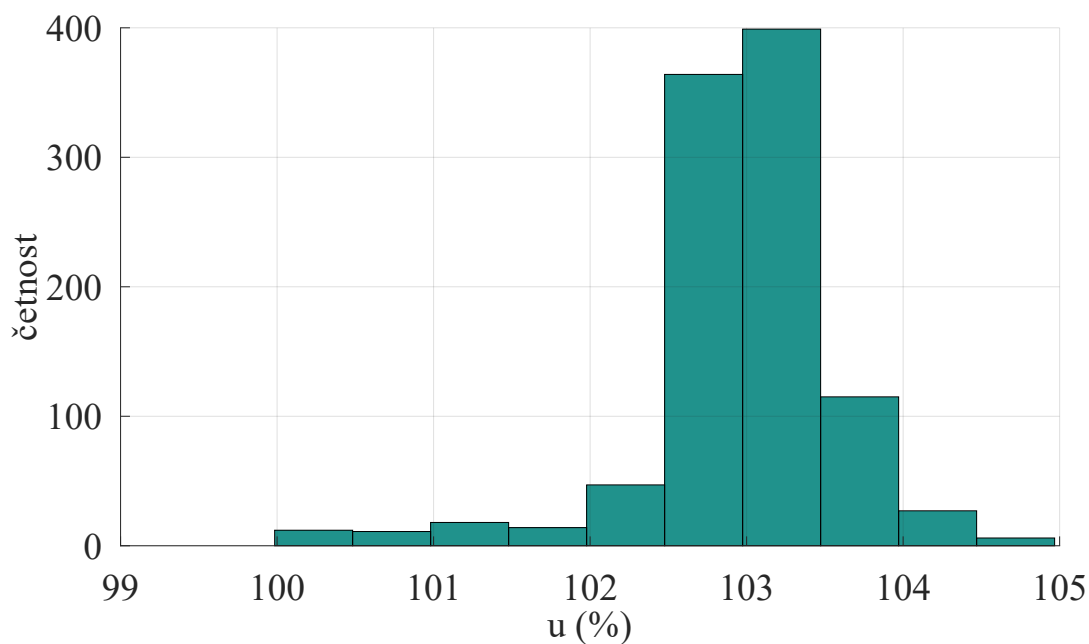
počet uzlů	$U_{\min}$ (V)	$u_{\min}$ (%)	$U_{\max}$ (V)	$u_{\max}$ (%)	$U_{\text{avg}}$ (V)	$u_{\text{avg}}$ (%)
1037	400	100,0	420	105,0	412	103,0

**Tabulka 75:** Vybrané hodnoty napětí při odstávce Tr0037

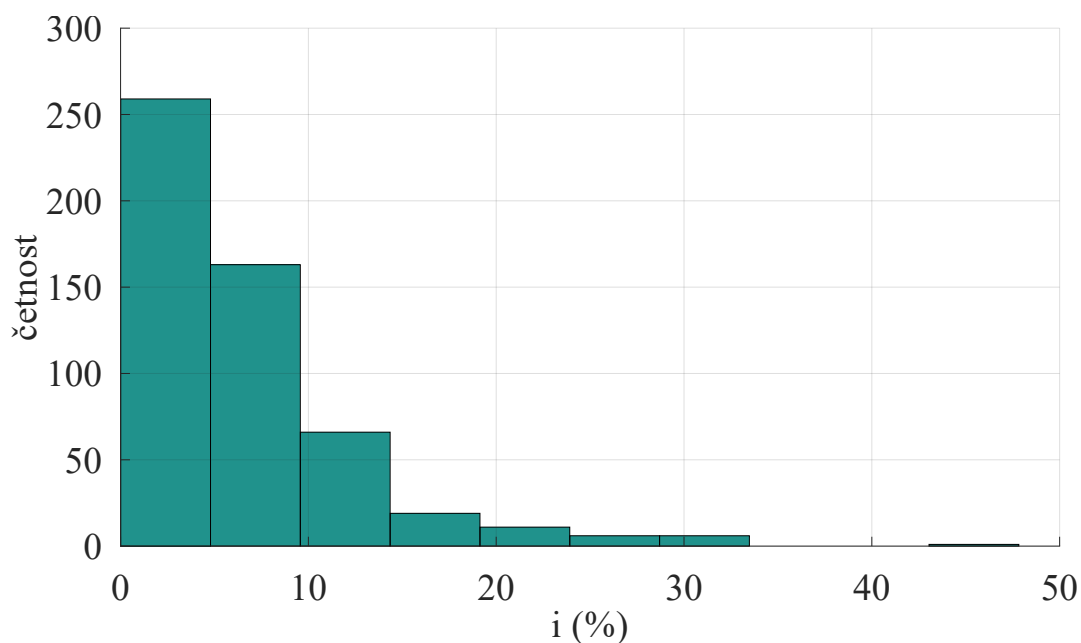
Název uzlu	Značení	U (V)	U <sub>f</sub> (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	U <sub>1</sub>	409,2	236,3	102,3
01-0023_/R1194_/W1	U <sub>2</sub>	411,9	237,8	103,0
001-0023_/1490_/01	U <sub>3</sub>	412,1	237,9	103,0
01-0023_/B1065_/01	U <sub>4</sub>	410,2	236,8	102,5
001-0023_/1610_/01	U <sub>5</sub>	410,6	237,1	102,7
01-0023_/R3211_/W1	U <sub>6</sub>	399,9	230,9	100,0
01-0023_/R2990_/W1	U <sub>7</sub>	411,1	237,3	102,8
001-0023_/A391_/01	U <sub>8</sub>	413,1	238,5	103,3
001-0023_/1017_/01	U <sub>9</sub>	412,1	237,9	103,0
01-0023_/R1206_/W1	U <sub>10</sub>	413,3	238,6	103,3
001-0023_/1030_/01	U <sub>11</sub>	410,5	237,0	102,6
001-0023_/1178_/01	U <sub>12</sub>	411,8	237,8	103,0

**Tabulka 76:** Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0037

Název kabelu	I <sub>max</sub> (A)	i (%)
994_270818_2989641	188	9,3
994_270818_2939022	371	23,6
994_270818_4092101	252	27,3
994_270818_2577720	252	28,3
994_270818_2817102	252	31,6
994_270818_2630169	371	16,1
994_270818_6629236	252	28,7
994_270818_2602675	188	20,2
994_270818_2718100	253	16,8
994_270818_2827811	188	47,8
994_270818_6629237	252	24,1
994_270818_2856460	188	21,7



**Obrázek 43:** Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku Tr0037



**Obrázek 44:** Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku Tr0037

## Odstávka transformátoru 0056

**Tabulka 77:** Plošné hodnoty napětí při odstávce Tr0056

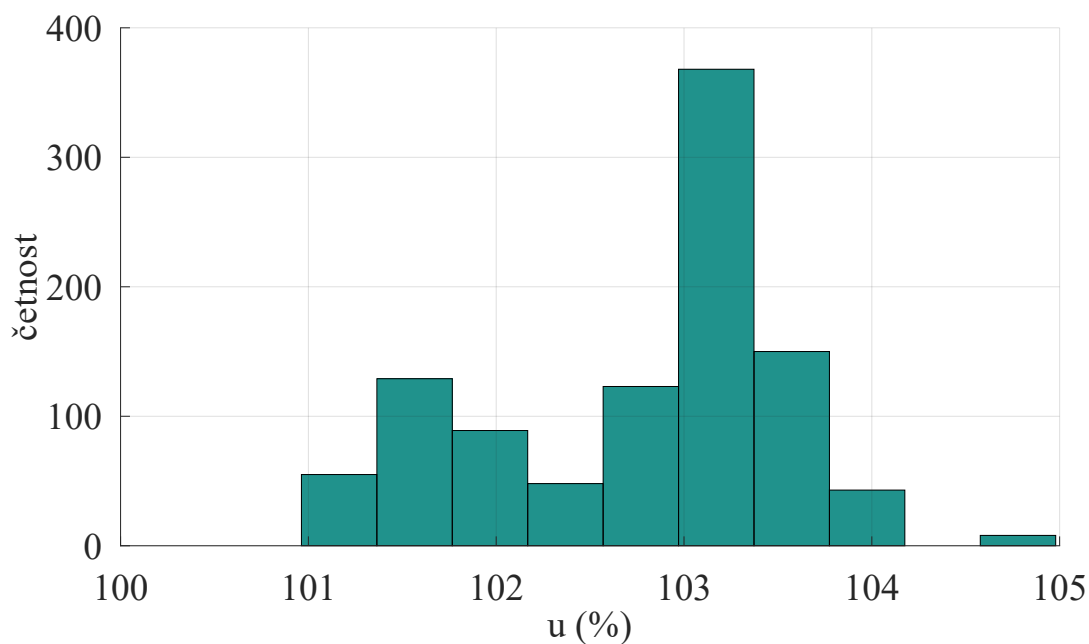
počet uzlů	$U_{\min}$ (V)	$u_{\min}$ (%)	$U_{\max}$ (V)	$u_{\max}$ (%)	$U_{\text{avg}}$ (V)	$u_{\text{avg}}$ (%)
1037	405	101,1	420	105,0	411	102,9

**Tabulka 78:** Vybrané hodnoty napětí při odstávce Tr0056

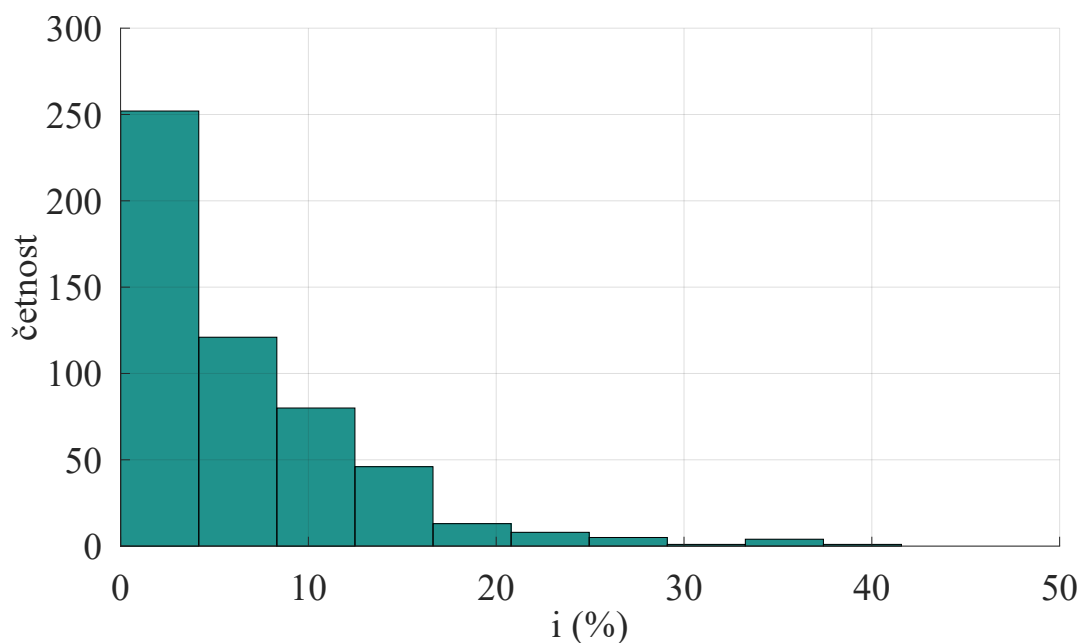
Název uzlu	Značení	U (V)	$U_f$ (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	$U_1$	406,3	234,6	101,6
01-0023_/R1194_/W1	$U_2$	407,0	235,0	101,8
001-0023_/1490_/01	$U_3$	404,9	233,8	101,2
01-0023_/B1065_/01	$U_4$	406,2	234,5	101,6
001-0023_/1610_/01	$U_5$	413,0	238,4	103,2
01-0023_/R3211_/W1	$U_6$	411,2	237,4	102,8
01-0023_/R2990_/W1	$U_7$	414,4	239,3	103,6
001-0023_/A391_/01	$U_8$	410,2	236,8	102,6
001-0023_/1017_/01	$U_9$	412,3	238,1	103,1
01-0023_/R1206_/W1	$U_{10}$	407,7	235,4	101,9
001-0023_/1030_/01	$U_{11}$	411,7	237,7	102,9
001-0023_/1178_/01	$U_{12}$	413,3	238,6	103,3

**Tabulka 79:** Vybrané hodnoty proudu při odstávce Tr0056

Název kabelu	$I_{\max}$ (A)	i (%)
994_270818_2989641	188	15,6
994_270818_2939022	371	27,5
994_270818_4092101	252	34,9
994_270818_2577720	252	4,0
994_270818_2817102	252	30,8
994_270818_2630169	371	18,1
994_270818_6629236	252	28,6
994_270818_2602675	188	22,5
994_270818_2718100	253	41,6
994_270818_2827811	188	27,9
994_270818_6629237	252	24,0
994_270818_2856460	188	28,1



**Obrázek 45:** Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku Tr0056



**Obrázek 46:** Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku Tr0056

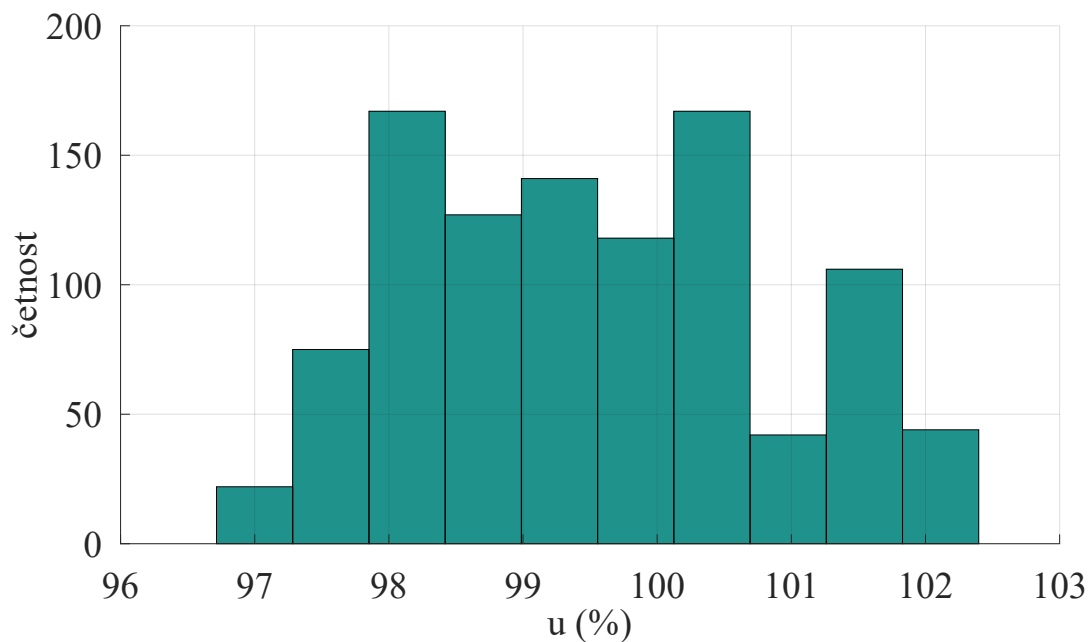
## Odstávka rozvodny VN1

**Tabulka 80:** Plošné hodnoty napětí při odstávce VN1

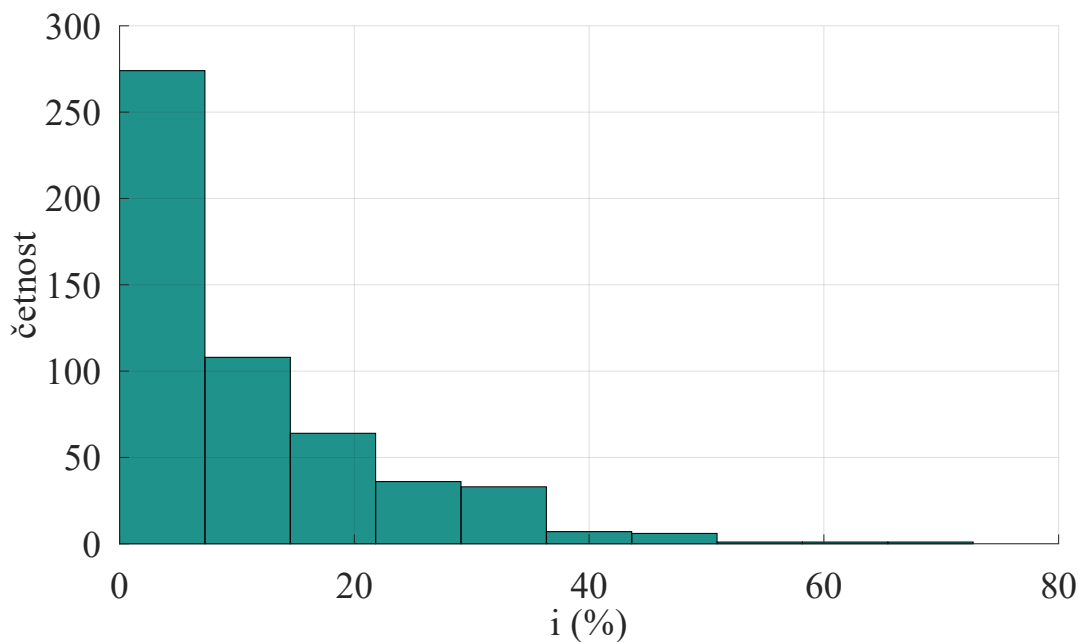
počet uzlů	$U_{\min}$ (V)	$u_{\min}$ (%)	$U_{\max}$ (V)	$u_{\max}$ (%)	$U_{\text{avg}}$ (V)	$u_{\text{avg}}$ (%)
1037	395	98,6	420	105,0	404	101,0

**Tabulka 81:** Vybrané hodnoty napětí při odstávce VN1

Název uzlu	Značení	U (V)	$U_f$ (V)	u (%)
001-0023_/2183_/01	$U_1$	399,6	230,7	99,9
01-0023_/R1194_/W1	$U_2$	396,8	229,1	99,2
001-0023_/1490_/01	$U_3$	391,0	225,8	97,8
01-0023_/B1065_/01	$U_4$	397,7	229,6	99,4
001-0023_/1610_/01	$U_5$	405,9	234,4	101,5
01-0023_/R3211_/W1	$U_6$	386,9	223,4	96,7
01-0023_/R2990_/W1	$U_7$	392,9	226,8	98,2
001-0023_/A391_/01	$U_8$	396,5	228,9	99,1
001-0023_/1017_/01	$U_9$	401,9	232,0	100,5
01-0023_/R1206_/W1	$U_{10}$	389,8	225,0	97,4
001-0023_/1030_/01	$U_{11}$	400,7	231,3	100,2
001-0023_/1178_/01	$U_{12}$	396,0	228,6	99,0

**Obrázek 47:** Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku VN1





Obrázek 48: Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku VN1

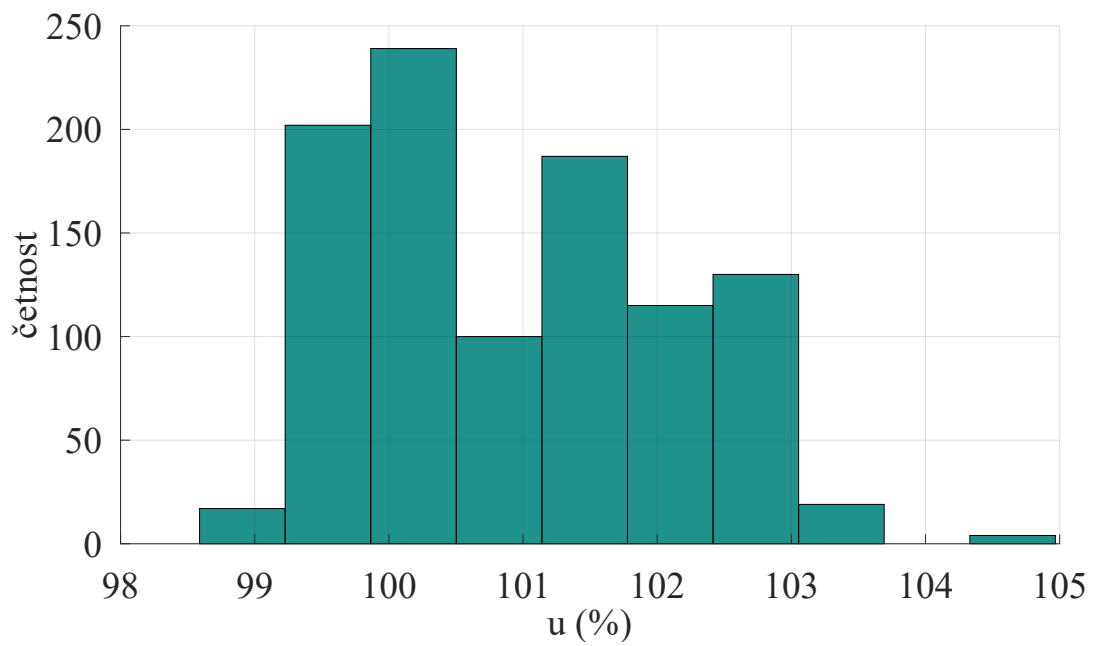
## Odstávka rozvodny VN2

Tabulka 82: Plošné hodnoty napětí při odstávce VN2

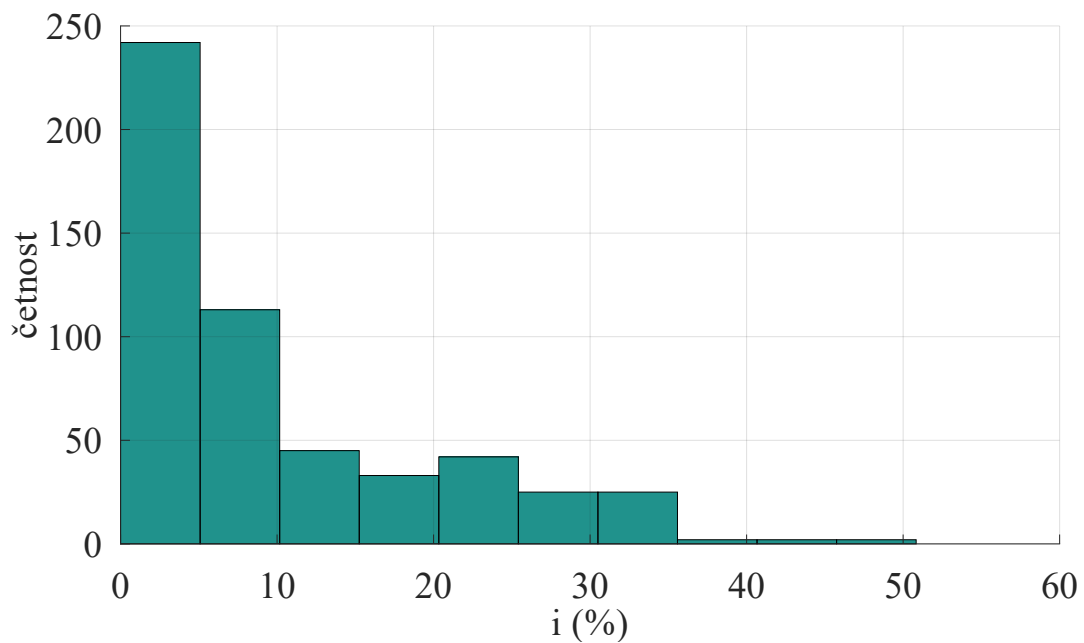
počet uzlů	$U_{\min}$ (V)	$u_{\min}$ (%)	$U_{\max}$ (V)	$u_{\max}$ (%)	$U_{\text{avg}}$ (V)	$u_{\text{avg}}$ (%)
1037	387	96,7	410	102,4	398	99,5

Tabulka 83: Vybrané hodnoty napětí při odstávce VN2

Název uzlu	Značení	$U$ (V)	$U_f$ (V)	$u$ (%)
001-0023_/2183_/01	$U_1$	395,7	228,4	98,9
01-0023_/R1194_/W1	$U_2$	402,1	232,2	100,5
001-0023_/1490_/01	$U_3$	406,4	234,6	101,6
01-0023_/B1065_/01	$U_4$	398,5	230,1	99,6
001-0023_/1610_/01	$U_5$	397,4	229,4	99,3
01-0023_/R3211_/W1	$U_6$	407,1	235,0	101,8
01-0023_/R2990_/W1	$U_7$	409,7	236,5	102,4
001-0023_/A391_/01	$U_8$	405,5	234,1	101,4
001-0023_/1017_/01	$U_9$	401,4	231,7	100,3
01-0023_/R1206_/W1	$U_{10}$	409,5	236,4	102,4
001-0023_/1030_/01	$U_{11}$	400,5	231,2	100,1
001-0023_/1178_/01	$U_{12}$	406,6	234,8	101,7



**Obrázek 49:** Četnost poměrného napětí kabelů při výpadku VN2



**Obrázek 50:** Četnost poměrného proudového zatížení kabelů při výpadku VN2