VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

POSOUZENÍ MOŽNOSTI PŘIPOJENÍ NOVÉHO ZDROJE Z HLEDISKA NAPĚŤOVÝCH POMĚRŮ

EVALUATION OF THE POSIBILITIES OF THE NEW SOURCE CONNECTION TO THE POWER SYSTEM FROM THE VOLTAGE POINT OF VIEW

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE VOJTĚCH WASSERBAUER
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. Ing. PETR TOMAN, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2011

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student:	Vojtěch Wasserbauer	***ID:***	119676
Ročník:	3	***Akademický rok:***	2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Posouzení možnosti připojení nového zdroje z hlediska napěťových poměrů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Problematika výpočtu ustáleného chodu sítě.
2. Pravidla pro připojování zdrojů do elektrických sítí.
3. Posouzení možnosti připojení zdroje s kolísajícím výkonem do dané sítě 110 kV.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání:	7.2.2011	***Termín odevzdání:***	26.5.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

WASSERBAUER, V. *Posouzení možnosti připojení nového zdroje z hlediska napěťových poměrů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011, 81 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Toman, Ph.D..

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Tomanovi, Ph.D. za metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

……

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

Posouzení možnosti připojení nového zdroje z hlediska napěťových poměrů

Vojtěch Wasserbauer

Vedoucí: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2011

Brno

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Faculty of Electrical Engineering and Communication

Department of Electrical Power Engineering

Bachelor's Thesis

Evaluation of the posibilities of the new source connection to the power system from the voltage point of view

by

Vojtěch Wasserbauer

Supervisor: doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Brno University of Technology, 2011

Brno

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá posouzením možnosti připojení nového zdroje do distribuční sítě 110 kV, porovnáním vlivů na tuto síť při zapojení nového zdroje do dvou různých okruhů sítě a při provozu v zimním a letním období. Dále rozebírá ustálený chod sítě a řeší podmínky pro připojování nových zdrojů do distribuční soustavy. Výsledkem této práce je poukázání na možné problémy při rozšiřování elektrizační soustavy a návrh jejich možného odstranění.

KLÍČOVÁ SLOVA: Elektrizační soustava; zdroj elektrické energie; rozvodna; přenosová síť; distribuční síť

ABSTRACT

This work deals with examining the possibility of connecting a new source to the distribution network of 110 kV and comparing the effects on the network with the involvement of new resources into two different circuits during operation in the winter and summer. It describes a steady operation of the network and solves the conditions for adding new sources into the grid. The result of this work presents possible problems in the electricity distribution system and a proposal of their possible removal.

KEY WORDS: Power system; power supply; substation; transmission network; distribution network

Obsah

Seznam obrázků **10**

Seznam tabulek **11**

Seznam symbolů a zkratek **14**

1 Úvod **15**

2 Cíl práce **16**

3 Elektrizační soustava **17**

3.1 Změny napětí **17**

3.2 Regulace napětí **17**

4 Ustálený chod elektrizační soustavy **19**

4.1 Výpočet ustáleného chodu **19**

4.1.1 Linearizovaný výpočet ustáleného chodu 19

4.1.2 Výpočet ustáleného chodu integrační metodou 22

4.2 Třídění uzlů **23**

5 Připojení zdroje do distribuční sítě **24**

5.1 Podmínky připojení **24**

5.1.1 Zvýšení napětí 24

5.1.2 Změny napětí při spínání 25

5.1.3 Dlouhodobý flikr 26

5.1.4 Proudy harmonických 27

5.1.5 Ovlivnění zařízení HDO 29

5.2 Připojení generátorů **30**

5.2.1 Připojení synchronních generátorů 30

5.2.2 Připojení asynchronních generátorů 30

5.2.3 Připojení výroben se střídači 30

5.3 Ochrany ve výrobně **31**

5.4 Řízení jalového výkonu **31**

5.5 Spínací zařízení **32**

5.6 Měření ... **32**

5.7 Připojení k síti ... **32**

5.8 Kvalita elektrické energie ... **33**

6 Ukázka výpočtu ... **34**

7 Posouzení možnosti připojení nového zdroje v praxi ... **39**

7.1 Zadání ... **39**

7.2 Schéma sítě 110 kV v oblasti Brna ... **40**

7.3 Počáteční hodnoty pro výpočet ... **41**

7.3.1 Naměřené hodnoty v zimním období ... 41

7.3.2 Naměřené hodnoty v letním období ... 43

7.4 Vypočtené hodnoty ... **45**

7.4.1 Výpočty sítě v zimním období ... 45

7.4.2 Výpočty sítě v letním období ... 62

8 Závěr ... **79**

Použitá literatura ... **81**

Seznam obrázků

Obr. 4-1 Náhradní schéma sítě *19*

Obr. 4-2 π článek *21*

Obr. 6-1 Ukázka výpočtu *34*

Obr. 7-1 Síť 110 kV v oblasti Brna *40*

Obr. 7-2 Výkonová bilance *41*

Seznam tabulek

Tab. 4-1 Orientace výkonů *21*

Tab. 5-1 Vztažný proud NN *27*

Tab. 5-2 Vztažný proud VN *28*

Tab. 5-3 Vztažný proud 110 kV *29*

Tab. 5-4 Celkový výkon výrobních zařízení *30*

Tab. 5-5 Ochrany *31*

Tab. 5-6 Pásma účiníku *32*

Tab. 6-1 Výsledky ukázky výpočtu *38*

Tab. 6-2 Změny napětí *38*

Tab. 7-1 Počáteční hodnoty pro výpočet - zima *42*

Tab. 7-2 Počáteční hodnoty pro výpočet - léto *44*

Tab. 7-3 Vliv na napětí, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima *45*

Tab. 7-4 Vliv na napětí, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - zima *46*

Tab. 7-5 Celkové ztráty, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima *47*

Tab. 7-6 Celkové ztráty, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - zima *47*

Tab. 7-7 Ztráty činného výkonu na jednotlivých vedeních v oblasti Brno, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima *48*

Tab. 7-8 Ztráty jalového výkonu na jednotlivých vedeních v oblasti Brno, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima *49*

Tab. 7-9 Ztráty činného výkonu na jednotlivých vedeních v oblasti Brno, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - zima *50*

Tab. 7-10 Ztráty jalového výkonu na jednotlivých vedeních v oblasti Brno, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - zima *51*

Tab. 7-11 Vliv na zatížení, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima *52*

Tab. 7-12 Vliv na zatížení, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - zima *53*

Tab. 7-13 Vliv na jednofázové zkraty (S''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima *54*

Tab. 7-14 Vliv na jednofázové zkraty (I''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima *55*

Tab. 7-15 Vliv na jednofázové zkraty (S''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - zima 56

Tab. 7-16 Vliv na jednofázové zkraty (I''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - zima 57

Tab. 7-17 Vliv na trojfázové zkraty (S''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima 58

Tab. 7-18 Vliv na trojfázové zkraty (I''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima 59

Tab. 7-19 Vliv na trojfázové zkraty (S''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice -zima 60

Tab. 7-20 Vliv na trojfázové zkraty (I''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice -zima 61

Tab. 7-21 Vliv na napětí, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto 62

Tab. 7-22 Vliv na napětí, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto 63

Tab. 7-23 Celkové ztráty, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto 64

Tab. 7-24 Celkové ztráty, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto 64

Tab. 7-25 Ztráty činného výkonu na jednotlivých vedeních v oblasti Brno, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto 65

Tab. 7-26 Ztráty jalového výkonu na jednotlivých vedeních v oblasti Brno, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto 66

Tab. 7-27 Ztráty činného výkonu na jednotlivých vedeních v oblasti Brno, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto 67

Tab. 7-28 Ztráty jalového výkonu na jednotlivých vedeních v oblasti Brno, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto 68

Tab. 7-29 Vliv na zatížení, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto 69

Tab. 7-30 Vliv na zatížení, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto 70

Tab. 7-31 Vliv na jednofázové zkraty (S''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto 71

Tab. 7-32 Vliv na jednofázové zkraty (I''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto 72

Tab. 7-33 Vliv na jednofázové zkraty (S''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto 73

Tab. 7-34 Vliv na jednofázové zkraty (I''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto 74

Tab. 7-35 Vliv na trojfázové zkraty (S''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto *75*

Tab. 7-36 Vliv na trojfázové zkraty (I''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto *76*

Tab. 7-37 Vliv na trojfázové zkraty (S''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto *77*

Tab. 7-38 Vliv na trojfázové zkraty (I''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto *78*

Seznam symbolů a zkratek

Zkratka	*Význam*
HDO	Hromadné dálkové ovládání
NN	Nízké napětí
VN	Vysoké napětí

Symbol	*Veličina*	*Jednotka*
δ	Úhel napětí	°
ε	Přesnost	-
φ	Fázový úhel mezi napětím a proudem	°
ψ	Fázový úhel impedance	°
c	Činitel flikru	-
$\cos \varphi$	Účiník	-
f	Frekvence	Hz
I	Proud	A
I''_k	Rázový zkratový proud	A
I_a	Maximální proud spínacího pochodu	A
I_{nG}	Jmenovitý proud generátoru	A
i_v, $i_{př}$, i_{zul}	Maximální přípustné vztažné harmonické proudy	A/VA
I_{vnn}, I_{vvn}, I_{v110}	Maximální přípustné harmonické proudy	A
k_E	Redukční koeficient rozptýlené výroby	-
k_{imax}	Činitel spínacího rázu	-
k_{k1}	Zkratový poměr výkonů	-
k_{TR}	Redukční koeficient transformátoru	-
l	Délka	m
P	Činný výkon	W
P_i	Instalovaný činný výkon	W
P_{lt}	Dlouhodobá míra flikru	-
Q	Jalový výkon	VAr
R_k	Měrný odpor vedení	Ω/m
S	Zdánlivý výkon	VA
S''_k	Rázový zkratový výkon	VA
S_0	Referenční zdánlivý výkon	VA
S_A	Zdánlivý výkon výrobního zařízení	VA
S_{AV}	Celkový připojitelný zdánlivý výkon	VA
S_{kV}	Zkratový výkon	VA
S_{nE}	Zdánlivý výkon jednotlivých rozvoden	VA
S_S	Celkový zdánlivý výkon	VA
t	Časové zpoždění	s
U	Napětí	V
U_f	Náběhové napětí přijímače HDO	V
U_n	Jmenovité napětí	V
Δu_{AV}	Zýšení napětí vlivem připojení nového zdroje	V
Δu_{max}	Změna napětí způsobená spínáním zdrojů	V
X_k	Měrná reaktance vedení	Ω/m
Y	Admitance	S
Z	Impedance	Ω

1 Úvod

Vzhledem k tomu, že se elektrizační soustava dynamicky rozvíjí a že dochází k připojování velkého množství zdrojů s kolísajícím průběhem výkonu, je nutné stavět další zdroje elektrické energie pro zajištění systémových služeb. Mezi tyto zdroje patří například rychle startující elektrárny. Takovou elektrárnou je i plynová nebo paroplynová elektrárna. Připojení nového zdroje sebou však přinese změny poměrů v síti. Z tohoto důvodu je nutné připojení každého nového zdroje do elektrizační soustavy pečlivě posoudit z různých hledisek a stanovit, zda změny parametrů elektrické energie vyvolané připojením tohoto zdroje jsou přípustné či nikoliv.

V této práci se bude posuzovat možnost připojení špičkového plynového zdroje, který bude převážně vyrovnávat poklesy dodávaného elektrického výkonu do sítě z důvodu nestálosti výroby především solárních a větrných elektráren. Tento typ zdroje je velice výhodné použít především tam, kde potřebujeme velice rychlý náběh elektrárny na požadovaný výkon. Je tedy zřejmé, že kombinace plynové nebo paroplynové elektrárny se solárními a větrnými elektrárnami je nutná pro bezproblémový chod sítě, protože u těchto zdrojů se mění dodávaný výkon velice rychle v závislosti na změnách počasí. Plynová elektrárna je zařízení, které využívá zemní plyn pro získávání elektrické energie. Ta se vyrábí přeměnou z chemické energie vázané v palivu. Tepelný oběh plynové turbíny se skládá z komprese vstupního vzduchu, jeho smísení s palivem, které hoří, a následné expanze spalin v plynové turbíně. Oběh je uzavřen výstupem spalin do komína. Pokud do cesty spalin vložíme ještě spalinový výměník, který předává teplo vodě v parním oběhu, dostaneme elektrárnu paroplynovou. Ta má dva tepelné oběhy, a to plynový a parní. V každém z oběhů se nachází turbína a generátor. U tohoto zdroje lze ještě využít teplo nacházející se v tepelném oběhu za turbínou pro centrální zásobování teplem. Z toho důvodu je účinnost těchto zdrojů velmi vysoká. Tepelný oběh parní turbíny se skládá z ohřevu tlakové vody na teplotu varu, vypařování, přehřátí páry na pracovní teplotu a následné expanze páry v parní turbíně. Oběh je uzavřen kondenzací páry opět na vodu.

2 Cíl práce

Cílem této práce je vytvořit přehled o elektrizační soustavě, o jejím provozu, řízení a výpočtu jejího ustáleného chodů. Dále popsat a rozebrat podmínky pro připojování zdrojů do distribuční soustavy. Na konec posoudit možnost připojení nového zdroje elektrické energie do sítě 110 kV a porovnat vlivy na síť při dvou způsobech zapojení zdroje v letním a zimním období. Stanovit jaké zapojení je výhodnější a jaká opatření jsou nutná pro bezproblémový chod sítě s tímto novým zdrojem.

3 Elektrizační soustava [2]

Elektrizační soustava se zabývá výrobou elektrické energie, její přeměnou, přenosem, rozvodem a použitím. Všechny tyto procesy je nutné jednotně řídit. Řízení provozu elektrizační soustavy má tedy za úkol zajištění výkonu a množství elektrické energie při dodržení hospodárnosti a předepsané kvality. Při posuzování kvality elektrické energie se zabýváme frekvencí, napětím, symetrií a harmonickým průběhem. Tato práce je zaměřená na změny a řízení napětí.

3.1 Změny napětí

Změny napětí jsou nejčastěji vyvolány změnami zatížení nebo změnami ve výrobě elektrické energie. Z důvodu citlivosti spotřebičů elektrické energie je nutné udržet napětí v určitých mezích. V přenosových sítích 400, 220 kV a v distribučních sítích 110 kV jsou meze určeny vlastnostmi izolace, ztrátami v železe transformátorů a stabilitou regulace generátorů. V distribučních sítích 22 (35) kV potom meze určují požadavky odběratelů na účinnost nebo životnost spotřebičů. Vliv odchylek napětí od jmenovité hodnoty na spotřebiče lze ukázat například na žárovce, kde změní-li se napětí o 5 %, změní se i svítivost přibližně o 10 %. Dalším důsledkem je snížení životnosti. Podobné účinky můžeme sledovat i u zářivek, avšak životnost těchto světelných zdrojů se snižuje jen nepatrně. U tepelných spotřebičů je potom rozdíl výkonů roven druhé mocnině rozdílu napětí. Obdobně klesá výkon i u asynchronních motorů.

3.2 Regulace napětí

Prostředky pro regulaci napětí můžeme rozdělit do několika skupin:

- Transformátory s přepínáním odboček vinutí
- Zdroje pro výrobu jalového výkonu (synchronní stroje a kondenzátory)
- Kompenzace impedance vedení pomocí kondenzátorů

V prvním případě používáme regulační transformátory s 8 až 16 regulačními stupni. Přepínání odboček je ovládáno dálkově a probíhá pod zatížením. Dále můžeme využít transformátorů s odbočkami. Ty slouží k vyrovnání rozdílů úbytků napětí a mohou se přepojit jen ve vypnutém stavu. Dalšími transformátory mohou být transformátory s příčnou regulací, které řídí toky činných a jalových výkonů v kruhových sítích a u kterých můžeme regulovat i fázový posun mezi vstupním a výstupním napětím.

V druhém případě požíváme synchronní generátory, u nichž je vyráběný jalový výkon závislý na maximálním dovoleném proudu statorem a na mezi budícího proudu. Dále používáme synchronní kompenzátory. To jsou v podstatě nezatížené synchronní motory, které dodávají v přebuzeném stavu jalový výkon až do své jmenovité hodnoty. Připojují se obvykle na terciální vinutí transformátoru a jejich výhodou je velmi pružné přizpůsobení výroby podle

zatížení sítě. Dalšími výrobci jalového výkonu jsou venkovní a kabelová vedení při zatížení pod hodnotou přirozeného výkonu a statické kondenzátory.

Ve třetím případě dodáváme jalový výkon přímo v místě spotřeby elektrické energie připojením kondenzátorů ke svorkám spotřebiče.

Z důvodu odlišných požadavků na distribuční a přenosové soustavy je jejich regulace napětí poněkud odlišná.

Při regulaci napětí v distribučních sítích 22 a 35 kV dominují požadavky provozního zabezpečení výroby a přenosu, protože skrze tyto sítě jsou zásobováni téměř všichni odběratelé. Většinou se regulace provádí pomocí odboček na transformátorech 110 / 22 (35) kV, což je v podstatě poslední možné místo před spotřebiči. Užíváme zde dvou metod. A to regulace na konstantní napětí a automatická regulace s kompaundací.

Do distribučních sítí 110 kV je připojeno přes 50 % elektráren. Zbytek výroby je připojen do přenosových sítí 400 nebo 220 kV a přes sítě 110 kV je přenášen ke spotřebě. Na tyto sítě jsou připojeny transformátory s možností regulace pod zatížením. Z těchto vlastností je zřejmé, že v těchto sítích je podstatná regulace za využití jalové výroby elektráren, které jsou do ní připojené. Snahou je, aby tato výroba pokryla veškerou spotřebu jalového výkonu v dané oblasti, proto aby byly přenosy tohoto výkonu přes sítě 400 a 220 kV co nejmenší. Regulace pomocí odboček transformátoru se zde téměř nevyužívá, protože tento způsob neřeší úbytky napětí spojené se spotřebou jalového výkonu odběrateli. Nejlepším způsobem je řešit tento problém kompenzací přímo u spotřebitele.

V přenosové soustavě 400 a 220 kV se regulace provádí pomocí výroby jalového výkonu, regulací výkonu synchronních kompenzátorů a přepínáním odboček transformátorů 400 / 110 kV, 220 / 110 kV a 400 / 220 kV.

Je zřejmé, že důležitou roli v této problematice hraje regulace pomocí jalového výkonu. Při špatné kompenzaci jalového výkonu přímo u spotřebitelů však může dojít k problémům. Dojde-li k poklesu napětí v přenosové soustavě, kompenzuje se pomocí automatických regulátorů napětí generátorů. Pokud by byl tento pokles napětí větší, probíhá regulace pomocí odboček transformátorů, která ovšem neřeší nedostatek jalového výkonu. To má za následek další pokles napětí a celý proces pokračuje opět od začátku. To může způsobit až zhroucení celého systému. Z těchto důvodů je regulace napětí velice důležitým úkolem při řízení elektrizačních soustav.

4 Ustálený chod elektrizační soustavy [2]

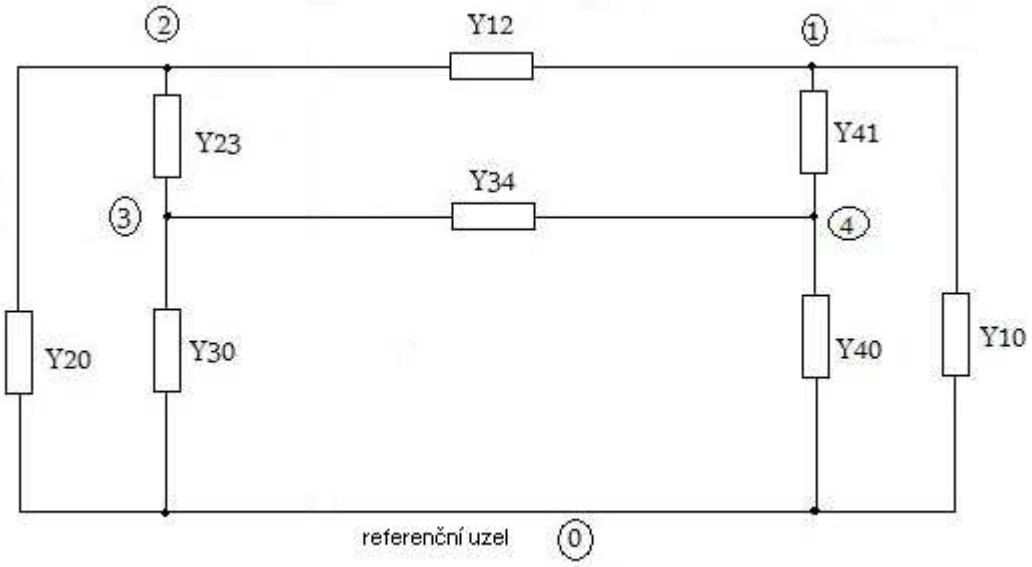
Pro řízení provozu elektrizační soustavy i pro její rozšiřování je důležité znát napěťové poměry, ztráty, jalové a činné výkony v jejích jednotlivých úsecích. Pro tyto účely nám slouží výpočet ustáleného chodu elektrizační soustavy. Ustálený chod je stav, při kterém je možné považovat proměnné parametry za konstantní. To znamená, že při ustáleném chodu neprobíhají žádné poruchy, údery blesku, připojování ani odpojování zátěží a zdrojů, přepínání odboček vinutí. Takový stav v praxi většinou nenastává, ale používáme ho proto, že provozní poměry sítí dovolují přijmout určitá zjednodušení.

4.1 Výpočet ustáleného chodu

Výpočet provádíme většinou pro maximální a minimální hodnoty zatížení. Protože se počítá s činnými i jalovými výkony, musíme řešit ustálený chod některou z integračních metod pro výpočet nelineárních rovnic. Z důvodu složitosti a zdlouhavosti těchto metod se často tyto výpočty linearizují.

4.1.1 Linearizovaný výpočet ustáleného chodu

Linearizaci provedeme vydělením výkonů v uzlech sítě střední hodnotou očekávaného napětí nebo napětím jmenovitým. Dále pak počítáme pomocí metody uzlových napětí nebo metody smyčkových proudů. Důsledkem toho je snížená přesnost výpočtu. Sestavení soustavy rovnic provedeme následujícím způsobem. Máme zapojení podle Obr. 4-1.



Obr. 4-1 Náhradní schéma sítě

$$\begin{bmatrix} \hat{I}_1 \\ \hat{I}_2 \\ \hat{I}_3 \\ \hat{I}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{Y}_{11} & \hat{Y}_{12} & \hat{Y}_{13} & \hat{Y}_{14} \\ \hat{Y}_{21} & \hat{Y}_{22} & \hat{Y}_{23} & \hat{Y}_{24} \\ \hat{Y}_{31} & \hat{Y}_{32} & \hat{Y}_{33} & \hat{Y}_{34} \\ \hat{Y}_{41} & \hat{Y}_{42} & \hat{Y}_{43} & \hat{Y}_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{U}_{10} \\ \hat{U}_{20} \\ \hat{U}_{30} \\ \hat{U}_{40} \end{bmatrix}, \qquad (4.1)$$

kde $\hat{U}_{10}, \hat{U}_{20}, \hat{U}_{30}, \hat{U}_{40}$ jsou neznámá napětí mezi uzly 1, 2, 3, 4 a uzlem 0,

$\hat{I}_1, \hat{I}_2, \hat{I}_3, \hat{I}_4$ jsou proudy tekoucí do uzlu (se znaménkem +) a z uzlu (se znaménkem -),

$\hat{Y}_{11}, \hat{Y}_{22}, \hat{Y}_{33}, \hat{Y}_{44}$ jsou součty admitancí připojených do daného uzlu,

ostatní $\hat{Y}$ jsou admitance mezi jednotlivými uzly se znaménkem –.

Soustavu rovnic můžeme také napsat ve tvaru:

$$\hat{I}_i = \sum_{j=1}^{n} \hat{Y}_{ij} \hat{U}_j \qquad \text{pro } i = 1, 2, 3, \ldots. \text{ n}, \qquad (4.2)$$

kde n je počet uzlů v síti bez referenčního uzlu 0.

Pokud nebudeme počítat s příčnými admitancemi, bude matice $\lfloor \hat{Y} \rfloor$ singulární, proto v tomto případě provedeme takzvanou eliminaci bilančního uzlu a budeme postupovat následovně. Protože jeden z uzlů musí nahradit neznámé proudy tekoucí příčnými větvemi a vyrovnávat tak dodávky a odběry, musíme v tomto takzvaném bilančním uzlu zadat známé napětí.

V našem případě je bilančním uzlem uzel 1. Poté můžeme přepsat soustavu rovnic (4.1) takto:

$$\begin{bmatrix} \hat{I}_1 \\ \hat{I}_2 \\ \hat{I}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{Y}_{21}\hat{U}_{10} \\ \hat{Y}_{31}\hat{U}_{10} \\ \hat{Y}_{41}\hat{U}_{10} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{Y}_{22} & \hat{Y}_{23} & \hat{Y}_{24} \\ \hat{Y}_{32} & \hat{Y}_{33} & \hat{Y}_{34} \\ \hat{Y}_{42} & \hat{Y}_{43} & \hat{Y}_{44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{U}_{20} \\ \hat{U}_{30} \\ \hat{U}_{40} \end{bmatrix} \qquad (4.3)$$

a rovnici (4.2):

$$\hat{I}_i = \hat{Y}_{ij}\hat{U}_1 + \sum_{j=2}^{n} \hat{Y}_{ij}\hat{U}_j = \sum_{j=1}^{n} \hat{Y}_{ij}\hat{U}_j \qquad \text{pro } i = 2, 3, 4, \ldots\ldots \text{n}. \qquad (4.4)$$

Tuto soustavu rovnic poté vyřešíme a zjistíme tak neznámá uzlová napětí. A nakonec dopočítáme bilanční proud $\hat{I}_1$ při určení proudů v jednotlivých větvích.

U odběrových uzlů udáváme proud se znaménkem – a u uzlů s dodávkou se znaménkem +. Názorně je vidět orientace výkonů z tabulky Tab. 4-1.

Tab. 4-1 Orientace výkonů:

	Uzel s dodávkou	Uzel s odběrem
	$P > 0$	$P < 0$
Induktivní posun proudu	$Q > 0$	$Q < 0$
Kapacitní posun proudu	$Q < 0$	$Q > 0$

Je vidět, že pokud je do uzlu dodáván induktivní jalový výkon nebo odebírán kapacitní jalový výkon, jsou znaménka stejná. Proto se kompenzaci jalového výkonu pomocí paralelně připojených kondenzátorů ke svorkám spotřebiče říká výroba jalového výkonu v místě spotřeby induktivního jalového výkonu. Jsou-li nahrazeny prvky sítě π články podle Obr. 4-2, pak platí pro uzel i:

$$\hat{I}_i = (\hat{U}_i - \hat{U}_j) \cdot \hat{y}_{ij} + \hat{U}_i \cdot \hat{y}_{i0}, \tag{4.5}$$

$$\hat{S}_i = P_i + jQ_i = \hat{U}_i \hat{I}_i^* . \tag{4.6}$$

Obdobně pro uzel j:

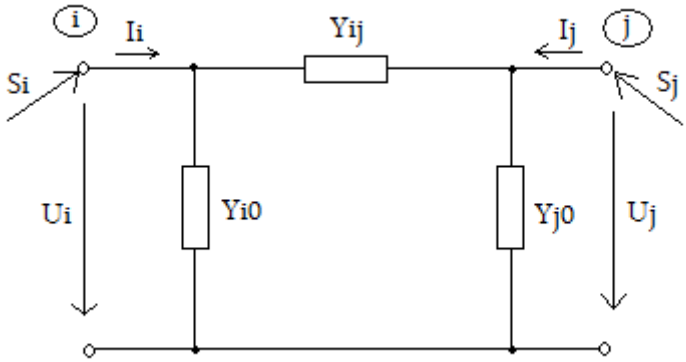
$$\hat{I}_j = (\hat{U}_j - \hat{U}_i) \cdot \hat{y}_{ij} + \hat{U}_j \cdot \hat{y}_{j0}, \tag{4.7}$$

$$\hat{S}_j = P_j + jQ_j = \hat{U}_j \hat{I}_j^* . \tag{4.8}$$

Činné a jalové ztráty v tomto π článku jsou:

$$\Delta P_{ij} = P_i + P_j , \tag{4.9}$$

$$\Delta Q_{ij} = Q_i + Q_j . \tag{4.10}$$



Obr. 4-2 π článek

Z rovnice (4.6) vyjádříme proud:

$$\hat{I}_i = \frac{\hat{S}_i^*}{\hat{U}_i^*} = \frac{P_i - jQ_i}{\hat{U}_i^*} \quad . \tag{4.11}$$

Při porovnání s rovnicí (4.4) dostaneme:

$$\hat{I}_i = \frac{P_i - jQ_i}{\hat{U}_i^*} = \sum_{j=1}^{n} \hat{Y}_{ij}\hat{U}_j \quad \text{pro } i = 2, 3, \ldots. \text{ n.} \tag{4.12}$$

4.1.2 Výpočet ustáleného chodu integrační metodou

Použijeme například Gauss-Seidlovu metodu pro řešení soustavy nelineárních rovnic:

$$\begin{aligned} f_1(x_1, x_2, \ldots. x_n) &= y_1 \\ f_2(x_1, x_2, \ldots. x_n) &= y_2 \\ &\ldots\ldots\ldots \\ f_n(x_1, x_2, \ldots. x_n) &= y_n \end{aligned} \quad . \tag{4.13}$$

Po úpravě:

$$\begin{aligned} x_1 &= y_1 + \Phi_1(x_1, x_2, \ldots. x_n) \\ x_2 &= y_2 + \Phi_2(x_1, x_2, \ldots. x_n) \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots \\ x_n &= y_n + \Phi_n(x_1, x_2, \ldots. x_n) \end{aligned} \quad . \tag{4.14}$$

Integrační postup výpočtu kořenů:

$$\begin{aligned} x_1^{(k+1)} &= y_1 + \Phi_1(x_1^k, x_2^k, \ldots. x_n^k) \\ x_2^{(k+1)} &= y_2 + \Phi_2(x_1^{(k+1)}, x_2^k, \ldots. x_n^k) \\ &\ldots\ldots\ldots \\ x_n^{(k+1)} &= y_n + \Phi_n(x_1^{(k+1)}, x_2^{(k+1)}, \ldots. x_{n-1}^{(k+1)}, x_n^k) \end{aligned} \quad , \tag{4.15}$$

kde (k+1) označuje 1., 2.,…. iteraci. Výpočet končí až rozdíl:

$$\left| x_i^{(k+1)} - x_i^k \right| \le \varepsilon \quad , \tag{4.16}$$

kde ε je zadaná přesnost výpočtu.

Tuto metodu nyní použijeme pro výpočet $\hat{U}_i$. Rovnici rozepíšeme:

$$\frac{P_i - jQ_i}{\hat{U}_i^*} = \sum_{j=1}^{i-1} \hat{Y}_{ij}\hat{U}_j + \hat{Y}_{ii}\hat{U}_i + \sum_{j=i+1}^{n} \hat{Y}_{ij}\hat{U}_j \quad . \tag{4.17}$$

Vyjádříme $\hat{U}_i$:

$$\hat{U}_i = \frac{1}{\hat{Y}_{ii}} \left(\frac{P_i - jQ_i}{\hat{U}_i^*} - \sum_{j=1}^{i-1} \hat{Y}_{ij}\hat{U}_j - \sum_{j=i+1}^{n} \hat{Y}_{ij}\hat{U}_j \right) \quad \text{pro } i = 2, 3, \ldots. \text{ n.} \tag{4.18}$$

Přepíšeme do interačního tvaru:

$$\hat{U}_i^{(k+1)} = \frac{1}{\hat{Y}_{ii}}\left[\frac{P_i - jQ_i}{\left(\hat{U}_i^{k}\right)^*} - \sum_{j=1}^{i-1}\hat{Y}_{ij}\hat{U}_j^{(k+1)} - \sum_{j=i+1}^{n}\hat{Y}_{ij}\hat{U}_j^{k}\right] \quad \text{pro } i = 2, 3, \ldots. \text{ n.} \qquad (4.19)$$

Výpočet tedy končí, je-li splněna podmínka:

$$\left|\hat{U}_i^{(k+1)} - \hat{U}_i^{k}\right| \le \varepsilon \ , \qquad (4.20)$$

kde ε je přesnost.

4.2 Třídění uzlů

Ustálený chod je určen absolutní hodnotou napětí U, úhlem napětí δ, činným výkonem P a jalovým výkonem Q. Uzly se tedy rozlišují podle toho, které z těchto veličin jsou známé a které se dopočítávají pomocí rovnic ustáleného chodu. Máme základní tři třídy uzlů:

a) **Třída (U, δ) – bilanční uzel:** Bilanční uzel je uzel, ve kterém je známo napětí a jeho úhel. Tento uzel hradí nerovnováhu uzlových výkonů, ztráty činného a jalového výkonu v síti. Z toho vyplívá, že v bilančním uzlu by měl být zdroj výkonu. Tento uzel je vhodné umístit do elektrického středu sítě, je to zpravidla uzel s největší vlastní admitancí. Činný a jalový výkon jsou dopočítávány.

b) **Třída (P, Q):** Jsou to uzly se známým dodávaným (se znaménkem +) nebo odebíraným (se znaménkem -) činným a jalovým výkonem. Dopočítává se napětí a jeho úhel.

c) **Třída (U, P):** Zde se vyskytují tzv. regulační nebo kompenzační uzly, což jsou uzly se zadaným činným výkonem a absolutní hodnotou napětí. Dopočítává se jalový výkon, který je nutno dodávat či odebírat, aby bylo dodrženo zadané napětí. Také se počítá úhel tohoto napětí.

5 Připojení zdroje do distribuční sítě

Pro připojení nového zdroje do distribuční sítě je zapotřebí znát:

- napěťové poměry ve všech posuzovaných uzlech sítě při jejím maximálním a minimálním zatížení
- zatížitelnost jednotlivých prvků sítě
- parametry zpětných vlivů na distribuční soustavu, tj. zejména změny napětí vyvolané trvalým provozem výrobny, změny napětí při spínání, útlumu signálu HDO, flikru, harmonických

K zabránění zavlečení zpětného napětí do distribučních sítí je zapotřebí zajistit technickými opatřeními, aby připojení vlastní výrobny bylo možné pouze tehdy, když jsou všechny fáze sítě pod napětím. K připojení může být použit jak spínač, který spojuje celé zařízení odběratele se sítí, tak i spínač, který spojuje generátor, popř. více paralelních generátorů, se zbylým zařízením odběratele. Zapnutí tohoto vazebního spínače musí být blokováno do té doby, dokud není na každé fázi napětí minimálně nad rozběhovou hodnotou podpěťové ochrany. K ochraně vlastní výrobny se doporučuje časové zpoždění mezi obnovením napětí v síti a připojením výrobny v rozsahu minut. **[6]**

5.1 Podmínky připojení **[6]**

Aby nebyla rušena zařízení dalších odběratelů, je zapotřebí omezit zpětné vlivy místních výroben. Pro posouzení je třeba vycházet z podmínek pro připojení.
Bez další kontroly zpětných vlivů mohou být výrobny připojeny, pokud poměr zkratového výkonu sítě S_{kV} ke jmenovitému výkonu celého zařízení S_{rA} je větší než 500.
Pro individuální posouzení připojení jedné nebo více vlastních výroben v jednom společném napájecím bodu je třeba vycházet z následujících mezních podmínek:

5.1.1 Zvýšení napětí

Zvýšení napětí, Δu_{AV} vyvolané provozem připojených výroben, nesmí v nejnepříznivějším případě překročit 2 % pro výrobny s přípojným místem v síti VN a 110 kV ve srovnání s napětím bez jejich připojení, pro výrobny s přípojným místem v síti NN nesmí překročit 3 %. Pokud je v síti NN a VN jen jedno přípojné místo, je možné tuto podmínku posoudit jednoduše pomocí zkratového poměru výkonů:

$$k_{k1} = \frac{S_{kV}}{\sum S_{A\max}} \ , \qquad (5.1)$$

kde S_{kV} je zkratový výkon v přípojném bodě a ΣS_{Amax} je součet maximálních zdánlivých výkonů všech připojených výroben.

Pokud je síť NN a VN silně induktivní, pak nelze použít posouzení pomocí činitele k_{k1}, protože dodávaný výkon bude silněji omezen, než je zapotřebí k dodržení zvýšení napětí. V takovém případě je nutné provést výpočet s komplexní hodnotou impedance sítě a s jejím fázovým úhlem ψ_{kV}, který poskytne mnohem přesnější výsledek.
Podmínka pro maximální výkon je poté pro výrobny s předávacím místem v síti VN:

$$S_{A\max} \leq \frac{2\% \cdot S_{kV}}{\left|\cos(\psi_{kV} - \varphi)\right|} = \frac{S_{kV}}{50 \cdot \left|\cos(\psi_{kV} - \varphi)\right|} \ , \qquad (5.2)$$

pro výrobny s předávacím místem v síti NN:

$$S_{A\max} \leq \frac{3\% \cdot S_{kV}}{\left|\cos(\psi_{kV} - \varphi)\right|} = \frac{S_{kV}}{33 \cdot \left|\cos(\psi_{kV} - \varphi)\right|} \ , \qquad (5.3)$$

kde φ je fázový úhel mezi proudem a napětím výrobny při maximálním zdánlivém výkonu S_{Amax}.
U výroben, které odebírají ze sítě jalový výkon (např. asynchronní generátory, podbuzené synchronní generátory, sítí řízené střídače) platí:

$$P > 0 \text{ a } Q < 0$$

$$270° \leq \varphi_E \leq 360° \ (-90° \leq \varphi_E \leq 0°).$$

V mnoha případech je v praxi udán maximální připojitelný výkon S_{Amax}, pro který je pak zapotřebí určit zvýšení napětí v přípojném bodu podle vztahu:

$$\Delta u_{AV} = \frac{S_{A\max} \cdot \cos(\psi_{kV} - \varphi)}{S_{kV}} \ . \qquad (5.4)$$

V propojených sítích, v sítích 110 kV a nebo při provozu více rozptýlených výroben v síti je zapotřebí určovat zvýšení napětí s pomocí komplexního chodu sítě. Přitom musí být dodržena podmínka pro zvýšení napětí v nejnepříznivějším přípojném bodě.

5.1.2 Změny napětí při spínání

Změny napětí ve společném napájecím bodě Δu_{max}, způsobené připojováním a odpojováním jednotlivých generátorů nebo zařízení, nevyvolávají nepřípustné zpětné vlivy, pokud největší změna napětí pro výrobny s předávacím místem v síti NN nepřekročí 3 % a s předávacím místem v síti VN 2 %. Toto platí, pokud spínání není častější než jednou za 1,5 minuty. Při velmi malé četnosti spínání, např. jednou denně, se mohou připustit větší změny napětí, pokud to dovolí poměry v síti. Pro výrobny v síti 110 kV platí pro omezení změny napětí vyvolané spínáním:

a) Normální provoz:

   Spínání jedné výrobní jednotky - $\Delta u_{\max} \leq 0{,}5\%$

   Spínání celého zařízení - $\Delta u_{\max} \leq 2\%$

b) Poruchový provoz:

   Pro změnu napětí při spínání celého zařízení - $\Delta u_{\max} \leq 5\%$

V závislosti na zkratovém výkonu S_{kV} a jmenovitém zdánlivém výkonu S_{nE} jednotlivé výrobny lze odhadnout změnu napětí:

$$\Delta u_{\max} = k_{i\max} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \ , \qquad (5.5)$$

kde k_{imax} je největší spínací ráz a udává poměr největšího proudu I_a, který se vyskytuje v průběhu spínacího pochodu ke jmenovitému proudu generátoru I_{nG}:

$$k_{i\max} = \frac{I_a}{I_{nG}} \ . \qquad (5.6)$$

U činitele zapínacího rázu se vyskytují následující směrné hodnoty:

$k_{imax} = 1 \rightarrow$ synchronní generátory s jemnou synchronizací, střídače,

$k_{imax} = 4 \rightarrow$ asynchronní generátory připojované s 95 až 105 % synchronních otáček,

$k_{imax} = I_a/I_{nG} \rightarrow$ asynchronní generátory motoricky rozbíhané ze sítě,

$k_{imax} = 8 \rightarrow$ pokud není známo I_a.

Asynchronní stroje připojované přibližně se synchronními otáčkami mohou vlivem svých vnitřních přechodných jevů způsobit velmi krátké poklesy napětí. Takovýto pokles smí dosáhnout dvojnásobku jinak přípustné hodnoty, tj. pro sítě VN 4 %, pro sítě NN 6 %, pokud netrvá déle než dvě periody a následující odchylka napětí od hodnoty před poklesem napětí nepřekročí jinak přípustnou hodnotu.

S ohledem na minimalizaci zpětného vlivu na distribuční síť je zapotřebí zamezit současnému spínání více generátorů v jednom předávacím místě. Toho dosáhneme časovým odstupňování jednotlivých spínání, které je závislé na vyvolaných změnách napětí. Při maximálním přípustném výkonu generátoru musí být minimálně 1,5 minuty. Při zdánlivém výkonu generátoru do poloviny přípustné hodnoty postačí odstup 12 s.

5.1.3 Dlouhodobý flikr

Změny zatížení mají za následek změny úbytků napětí na impedancích sítě a tím i změny dodávaného napětí. Proto je potřeba kontrolovat, zda nedochází k nepřípustným změnám napětí a s nimi spojenými nepřípustnými hodnotami flikru. [8]

Pro posouzení jedné nebo více výroben v jednom předávacím místě je zapotřebí se zřetelem na kolísání napětí vyvolávající flikr dodržet ve společném napájecím bodě NN a VN mezní hodnotu:

$$P_{lt} \leq 0{,}46 \, ,$$

ve společném napájecím bodě 110 kV mezní hodnotu:

$$P_{lt} \leq 0{,}37 \, ,$$

kde P_{lt} je dlouhodobá míra flikru a určuje se podle činitele flikru c:

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \ . \qquad (5.7)$$

Pokud je vypočtená hodnota větší než 0,46, je možné do výpočtu zahrnout fázové úhly:

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \cdot \left|\cos(\psi_{kV} + \varphi)\right| \ . \qquad (5.8)$$

U výrobny s více jednotlivými zařízeními je zapotřebí vypočítat P_{lt} pro každé zvlášť a výslednou hodnotu pro flikr ve společném napájecím bodě určit podle následujícího vztahu:

$$P_{lt\,res} = \sqrt{\sum_i P_{lt\,i}^{\ 2}} \ . \qquad (5.9)$$

U zařízení s *n* stejnými jednotkami je výsledný činitel pro flikr:

$$P_{lt\,res} = \sqrt{n} \cdot P_{lt} = \sqrt{n} \cdot c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \ . \qquad (5.10)$$

5.1.4 Proudy harmonických

Synchronní generátory elektráren můžeme považovat za zdroje sinusových napětí a také můžeme říci, že transformátory přenášejí napětí a proudy bez podstatných zkreslení. Naopak proudy tekoucí do některých zařízení spotřebitelů jsou nesinusové a způsobují na impedancích sítě úbytky napětí, které kromě složky s kmitočtem sítě obsahují i harmonické. Harmonické vznikají především u zařízení se střídači nebo měniči frekvence. [8]

a) **Výrobny v sítích NN:**

Za předpokladu, že do sítě NN nemohou být připojeny více než dvě větší vlastní výrobny s maximálním výkonem do 10 % jmenovitého výkonu distribučního transformátoru, je přípustný harmonický proud I_{vnn}:

$$I_{vnn} = i_v \cdot \frac{S_{kV}}{\sin \psi_{kV}} \ , \qquad (5.11)$$

kde i_v je maximální vztažný harmonický proud určený z tabulky Tab. 5-1.

Tab. 5-1 Vztažný proud NN:

Řád harmonické	i_v [A/MVA]
5	3
7	2,5
11	1,5
13	1

b) **Výrobny v sítích VN:**

Pro pouze jediné předávací místo v síti VN lze určit celkové v tomto bodě přípustné harmonické proudy I_{vvn}:

$$I_{vvn} = i_{př} \cdot S_{kV} \ , \qquad (5.12)$$

kde $i_{př}$ je maximální vztažný harmonický proud z Tab. 5-2.

Pokud je ve společném napájecím bodu připojeno několik zařízení, pak se určí harmonické proudy přípustné pro jednotlivá zařízení:

$$I_{vvn} = i_{př} \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} \ , \qquad (5.13)$$

kde S_A je zdánlivý výkon zařízení, S_{AV} je celkový připojitelný výkon v tomto napájecím bodě.

Tab. 5-2 Vztažný proud VN:

Řád harmonické	$i_{př}$ [A/MVA]	
	síť 22 kV	síť 35 kV
5	0,058	0,033
7	0,041	0,023
11	0,026	0,015
13	0,019	0,011
17	0,011	0,006
19	0,009	0,005
23	0,006	0,003

Jsou-li překročeny přípustné hodnoty harmonických proudů, pak jsou zapotřebí podrobnější posouzení. Přitom je třeba mít na paměti, že hodnoty přípustných harmonických proudů jsou voleny tak, aby platily i při vyšších frekvencích pro induktivní impedanci sítě, tj. např. pro čisté venkovní sítě. V sítích s významným podílem kabelů je ale síťová impedance v mnoha případech nižší, takže mohou být přípustné vyšší proudy harmonických.
Je-li v síti několik předávacích míst, musí být při posuzování poměrů v jednom předávacím místě brány v úvahu též ostatní předávací místa. Podle toho jsou proudy v síti VN přípustné, pokud v každém společném napájecím bodu nepřekročí harmonické proudy emitované do sítě hodnotu:

$$I_{vvn} = i_{př} \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_{AV}}{S_S} \ , \qquad (5.14)$$

kde S_{AV} je součet napájecích zdánlivých výkonů všech zařízení v daném společném napájecím bodě a S_S je celkový výkon, pro který je síť navržena.

c) **Výrobny v sítích 110 kV:**

Přípustné proudy harmonických jednoho výrobního zařízení se získají pak pro harmonické do řádu 13 takto:

$$I_{v110} = i_{zul} \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_A}{S_0} \ , \qquad (5.15)$$

pro harmonické řádů vyšších a pro meziharmonické:

$$I_{v110} = i_{zul} \cdot S_{kV} \cdot \sqrt{\frac{S_A}{S_0}} \ , \qquad (5.16)$$

kde I_{v110} je přípustný harmonický proud výrobního zařízení, i_{zul} je přípustný vztažný proud harmonické podle Tab. 5-3, S_{kV} je zkratový výkon v přípojném bodě, S_A je přípojný výkon výrobního zařízení a S_0 je referenční výkon.
Je-li výrobní zařízení připojeno k úseku vedení mezi dvěma transformovnami, dosazuje se za referenční výkon S_0 tepelný mezní výkon tohoto úseku vedení. Při připojení výrobního zařízení přímo nebo přes zákazníkovo vedení k transformovně se za S_0 dosazuje maximálně k transformovně připojitelný vyráběný výkon.

Tab. 5-3 Vztažný proud 110 kV:

Řád harmonické	i_{zul} [A/GVA]
5	2,6
7	3,75
11	2,4
13	1,6
17	0,92
19	0,7
23	0,46
25	0,32

5.1.5 Ovlivnění zařízení HDO

Zařízení hromadného dálkového ovládání jsou obvykle provozována s frekvencí v rozmezí 183,3 až 283,3 Hz. Vysílací úroveň je obvykle 1,5 % až 2,5 % *Un*. Vysílače HDO jsou dimenzovány na zatížení, jež do určité míry vychází z 50 Hz zatížení sítě, kterou napájí svým signálem. Výrobny připojené do přípojnice, do níž se vysílá signál HDO, ho ovlivňují přídavným zatížením vysílačů HDO, které plyne z vlastního zařízení výrobny nebo ze zvýšeného zatížení sítě, které je v důsledku výroby k síti připojeno. Přípustné zvýšení zatížení vysílače do 110 kV a VN je 5 % jmenovitého proudu. Pro frekvence 194 – 283,3 Hz jsou minimální úrovně signálu HDO pro NN 150 % U_f , pro VN 190% U_f a pro 110 kV 200% U_f, kde U_f je náběhové napětí přijímače, které obvykle bývá v rozmezí 0,8 – 0,9 *Un*. Při posuzování poklesů hladiny signálu HDO výrobnami je zapotřebí uvažovat následující hlediska:

- Zdroje připojené statickými střídači bez filtrů zpravidla nezpůsobují významné snížení hladiny signálu HDO. Pokud jsou vybaveny filtry nebo kompenzačními kondensátory, je zapotřebí přezkoušet sériovou rezonanci s reaktancí nakrátko transformátoru výrobny.
- Zdroje, jejichž synchronní nebo asynchronní generátory jsou připojeny do sítě přes transformátor, vyvolávají tím nižší pokles signálu, čím je vyšší zkratová reaktance generátoru a transformátoru, čím je vyšší frekvence HDO a zkratový výkon sítě. Kromě omezení poklesu hladiny signálu HDO nesmí být též produkována nežádoucí rušivá napětí. Obecně platí, že výrobnou vyvolané rušivé napětí, jehož frekvence odpovídá použité frekvenci HDO, nesmí překročit 0,1 % U_n a dále napětí produkovaná výrobnou, jejichž frekvence je do 100 Hz pod nebo nad použitou frekvencí HDO, nesmějí v přípojném bodu překročit 0,3 % U_n. Bez posouzení je možné připojit k síti

výrobny, nepřesáhne-li jejich výkon v přípojném bodu a výkon v celé síťové oblasti hodnoty uvedené v Tab. 5-4.

Tab. 5-4 Celkový výkon výrobních zařízení:

Napěťová úroveň [kV]	Celkový výkon výrobních zařízení [MVA]	
	v přípojném bodě	v síťové oblasti
0,4	0,01	0,02
22 nebo 35	2	4
110	20	40

Po realizaci výrobny nastává zkušební provoz výrobny. Tento provoz je časově omezen a je povolen pouze za účelem uvedení výrobny do provozu, provedení potřebných zkoušek a měření.

5.2 Připojení generátorů [6]

5.2.1 Připojení synchronních generátorů

U synchronních generátorů je nutné takové synchronizační zařízení, se kterým mohou být dodrženy následující podmínky pro synchronizaci:

- rozdíl napětí $\Delta U < \pm 10\% \ U_n$
- rozdíl frekvence $\Delta f < \pm 0{,}5$ Hz
- rozdíl fáze $\Delta \varphi < \pm 10°$

V závislosti na poměru impedance sítě k výkonu generátoru může být nutné k zabránění nepřípustných zpětných vlivů na síť stanovit pro spínání užší meze.

5.2.2 Připojení asynchronních generátorů

Asynchronní generátory rozbíhané pohonem musí být připojeny bez napětí při otáčkách v mezích 95 % až 105 % synchronních otáček. U asynchronních generátorů schopných ostrovního provozu, které nejsou připojovány bez napětí, je zapotřebí dodržet podmínky spínání jako pro synchronní generátory.

5.2.3 Připojení výroben se střídači

U výroben se střídači smějí střídače být spínány pouze tehdy, když je jejich střídavá strana bez napětí. U vlastních výroben se střídači, schopných ostrovního provozu, které nejsou spínány bez napětí, je zapotřebí dodržet podmínky zapnutí platné pro synchronní generátory.

5.3 Ochrany ve výrobně [6]

K ochraně vlastního zařízení a zařízení jiných odběratelů jsou potřebné ochrany, které při odchylkách napětí a frekvence vybaví příslušná spínací zařízení. Je zapotřebí zajistit ochrany s následujícími funkcemi:

Tab. 5-5 Ochrany:

Funkce	Rozsah nastavení	Příklad nastavení	Časové zpoždění	Příklad nastavení
Podpětí 1.stupeň $U<$	$0.7U_n$ až $1.0U_n$	90 % U_n	$t_U<$	0,5 s
Podpětí 2.stupeň $U<<$	$0.7U_n$ až $1.0U_n$	80 % U_n	$t_U<<$	0,1 s
Přepětí 1.stupeň $U>$	$1.0U_n$ až $1.2U_n$	110 % U_n	$t_U>$	0,5 s
Přepětí 2.stupeň $U>>$	$1.0U_n$ až $1.2U_n$	120 % U_n	$t_U>>$	0,1 s
Podfrekvence 1.stupeň $f<$	48 Hz až 50 Hz	49,8 Hz	$t_f<$	0,5 s
Podfrekvence 2.stupeň $f<<$	48 Hz až 50 Hz	49,5 Hz	$t_f<<$	0,1 s
Nadfrekvence $f>$	50 Hz až 52 Hz.	50,2 Hz	$t_f>$	0,5 s

5.4 Řízení jalového výkonu [6]

Způsob řízení jalového výkonu závisí vždy na konkrétním místě distribuční soustavy.

a) Zdroje připojené do sítí NN:

Účiník zdroje do 16 A/fázi za normálních ustálených provozních podmínek při dovoleném rozsahu jmenovitého napětí musí být mezi 0,95 kapacitní a 0,95 induktivní za předpokladu, že činná složka výkonu je nad 20 % jmenovitého výkonu zdroje.

Účiník ostatních zdrojů za normálních ustálených provozních podmínek při dovoleném rozsahu jmenovitého napětí musí být mezi 0,95 kapacitní a 0,95 induktivní za předpokladu, že činná složka výkonu je nad 3 % jmenovitého výkonu zdroje.

b) Zdroje připojené do sítí VN:

Tyto zdroje musí být při dodávce činného výkonu vybaveny některým z následujících režimů řízení jalového výkonu v předávacím místě:

- udržování pevné hodnoty zadaného účiníku
- udržování hodnoty účiníku $\cos \varphi = f(P)$
- udržování zadané hodnoty jalového výkonu v rámci provozního diagramu
- udržování napětí podle omezení daných *PQ* diagramem stroje

Zdroj musí být schopen dodávat jmenovitý činný výkon v rozmezí účiníku $\cos \varphi = 0{,}85$ až 1 (dodávka jalového výkonu) a účiníku $\cos \varphi = 1$ až 0,95 (odběr jalového výkonu) při dovoleném rozsahu napětí na svorkách generátoru ±5 % U_n a při kmitočtu v rozmezí 48,5 Hz až 50,5 Hz. Při nižších hodnotách činného výkonu se dovolené hodnoty jalového výkonu zjistí podle tzv. Provozních diagramů. Pokud technologie vlastní spotřeby elektrárny

a zajištění napájení vlastní spotřeby neumožňuje využití dovoleného rozsahu, lze zvýšit regulační rozsah generátoru, např. použitím odbočkového transformátoru napájení vlastní spotřeby s regulací pod zatížením. Pro jednoznačné přiřazení pásem účiníku slouží následující tabulka Tab. 5-6.

Tab. 5-6 Pásma účiníku:

Příklad	Zdrojová orientace	Spotřebičová orientace
Synchronní generátor	$P > 0$ a $Q > 0$ $0° < \varphi < 90°$	$P < 0$ a $Q < 0$ $180° < \varphi < 270°$
Asynchronní generátor	$P > 0$ a $Q < 0$ $270° < \varphi < 360°$	$P < 0$ a $Q > 0$ $90° < \varphi < 180°$
Synchronní motor	$P < 0$ a $Q > 0$ $90° < \varphi < 180°$	$P > 0$ a $Q < 0$ $270° < \varphi < 360°$
Asynchronní motor	$P < 0$ a $Q < 0$ $180° < \varphi < 270°$	$P > 0$ a $Q > 0$ $0° < \varphi < 90°$

5.5 Spínací zařízení [6]

Pro spojení vlastní výrobny se sítí musí být použito spínací zařízení minimálně se schopností vypínání zátěže, kterému je předřazena zkratová ochrana. Tento vazební spínač může být jak na straně NN, tak i na straně VN nebo 110 kV. Spínací zařízení musí zajišťovat galvanické oddělení ve všech fázích. U vlastních výroben se střídači je třeba spínací zařízení umístit na střídavé straně střídače. Při společném umístění ve skříni střídače nesmí být spínací zařízení vyřazeno z činnosti zkratem ve střídači.

5.6 Měření [6]

Měření se volí podle napěťové hladiny, do které výrobna pracuje a podle jejího výkonu:

- nízké napětí: podle výkonu výrobny měření přímé (do 80 A) nebo polopřímé
- vysoké napětí: do výkonu transformátoru 630 kVA polopřímé měření na straně NN, pro vyšší výkony nepřímé měření na straně VN
- 110 kV: nepřímé měření na straně 110 kV

5.7 Připojení k síti [6]

Posouzení možností připojení z hlediska zpětných vlivů na síť vychází z impedance sítě ve společném napájecím bodě, připojovaného výkonu, druhu a způsobu provozu vlastní výrobny. Připojení k síti se děje v předávacím místě s oddělovací funkcí. Spínací prvek může být samostatný nebo součástí střídače. Důležité je také posoudit, zda je možné zdroj připojit s ohledem na volnou kapacitu elektrizační soustavy a volnou distribuční kapacitu na úrovni transformace 110 kV/VN. Základem pro stanovení maximálního připojitelného výkonu v dané oblasti je vzorec:

$$P_{\max} = \left(\sum P_{i(N-1)} \cdot k_{TR} + P_{Bilance}\right) \cdot k_E \ , \qquad (5.17)$$

kde $\sum P_{i(N-1)}$ je součet instalovaných výkonů transformátorů 100 kV/VN, k_{TR} je redukční koeficient udávající optimální zatížení transformátoru, $P_{Bilance}$ je výkonová bilance oblasti a k_E je redukční koeficient udávající drobnou rozptýlenou výrobu. Volná přenosová kapacita se pak určí:

$$P_{Volná} = P_{max} - P_{Aktivní} \ , \qquad (5.18)$$

kde $P_{Aktivní}$ je součet instalovaných výkonů, které už v dané oblasti jsou.

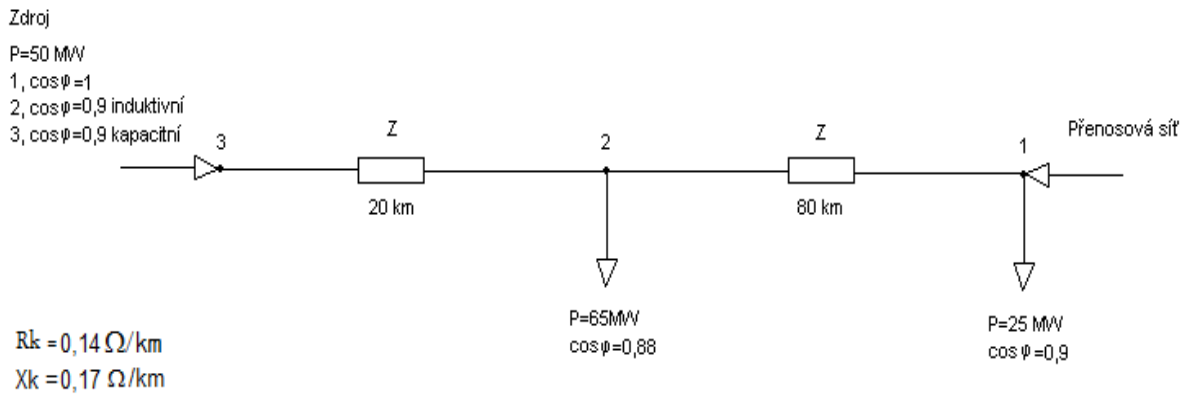
5.8 Kvalita elektrické energie [3]

Kvalita elektrické energie je definována jako odchylky od jmenovitých hodnot jejích parametrů. Důležitým parametrem pro posuzování kvality jsou tedy i změny napětí. Důsledkem kolísání napětí, které může být způsobeno rušením v procesu výroby, přenosu a distribuce elektrické energie, je tzv. flikr. Ten je velmi významným ukazatelem kvality elektrické energie. Flikr je vyjádřením nestálosti vizuálního vnímání vyvolaného světelnými efekty, jejichž jas nebo spektrální křivka se mění v čase. Obvykle je to aplikováno na cyklické změny svítivosti svítidel vlivem kolísání napájecího napětí. Většinou jsou způsobeny velkou proměnlivou zátěží, tj. zátěží, u níž se rychle mění činný a jalový odběr elektrické energie, ale také připojováním zdrojů do sítě. Primární příčinou změn napětí je časová změna jalového výkonu na proměnlivé zátěži. Takové zátěže jsou obloukové pece, pohony válcovacích stolic, navíječky atd. Obecně jsou to zátěže s velkým počtem změn výkonu při respektování zkratového výkonu v bodě připojení zátěže. Je důležité poznamenat, že malé výkonové zátěže, jako např. indukční motory, svářečky, ohřívače vody, regulátory výkonu, elektrické pily a kladiva, pumpy a kompresory, jeřáby a výtahy mohou být také původci flikru. Dalším případem je spínání kompenzačních kondenzátorů a přepínání transformátorových odboček, které mohou změnit induktivní složku náhradní impedance. Podobný efekt mohou mít změny v generování výkonu, například větrné elektrárny mohou mít tento efekt. V některých případech mohou být kolísání napětí způsobena nízkofrekvenčními napěťovými meziharmonickými. Avšak rozvoj výkonové elektroniky, zejména ve výrobě polovodičových zařízení, umožňuje realizace systémů dynamické stabilizace napětí se stále většími výkony. Dosažitelnost těchto zařízení spolu se schopností realizovat algoritmus komplexního řízení dovoluje realizovat různé funkce, včetně dynamické stabilizace napětí. Díky tomu je dnes snadnější změnám napětí zabránit.

6 Ukázka výpočtu

Je zadáno náhradní schéma vedení 110 kV podle Obr. 6-1. Vypočteme, jak se změní napětí v bodě 2 v případě kdy:

a) není připojen zdroj v bodě 3
b) je připojen v bodě 3 zdroj (cos φ = 1)
c) je připojen v bodě 3 zdroj (cos φ = 0,9 induktivní)
d) je připojen v bodě 3 zdroj (cos φ = 0,9 kapacitní)



Obr. 6-1 Ukázka výpočtu

a) Není připojen zdroj v bodě 3:

$$U_{1S} = 110kV$$

$$P_{12} = P_2 = 65MW$$

$$Q_{12} = Q_2 = P_2 \cdot tg\varphi = 65 \cdot 10^6 \cdot 0{,}54 = 35{,}1MVAr$$

$$I_{Č12} = \frac{P_{12}}{\sqrt{3} \cdot U_{1S}} = \frac{65 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} = 341{,}16A$$

$$I_{J12} = \frac{Q_{12}}{\sqrt{3} \cdot U_{1S}} = \frac{35{,}1 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3} = 184{,}23A$$

$$\Delta U_{12} = I_{Č12} \cdot R_k \cdot l_{12} + I_{J12} \cdot X_k \cdot l_{12}$$

$$\Delta U_{12} = I_{Č12} \cdot R_k \cdot 80 + I_{J12} \cdot X_k \cdot 80 = 341{,}16 \cdot 0{,}14 \cdot 80 + 184{,}23 \cdot 0{,}17 \cdot 80 = 6326{,}52V$$

$$\Delta U_{12S} = \sqrt{3} \cdot \Delta U_{12} = \sqrt{3} \cdot 6326{,}52 = 10957{,}85V$$

$$U_{2S} = U_{1S} - \Delta U_{12S} = 110 \cdot 10^3 - 10957{,}85 = \underline{99{,}04kV}$$

b) Je připojen v bodě 3 zdroj (cos φ = 1):

$$U_{1S} = 110kV$$

$$P_2 = 65MW$$

$$P_{32} = 50MW$$

$$P_{12} = P_2 - P_{32} = 65 - 50 = 15MW$$

$$Q_{32} = P_{32} \cdot tg\varphi = 50 \cdot 10^6 \cdot 0 = 0MVAr$$

$$Q_{12} = Q_2 = P_2 \cdot tg\varphi = 65 \cdot 10^6 \cdot 0{,}54 = 35{,}1MVAr$$

$$\Delta U_{12} = I_{Č12} \cdot R_k \cdot l_{12} + I_{J12} \cdot X_k \cdot l_{12}$$

$$\Delta U_{12} = I_{Č12} \cdot R_k \cdot 80 + I_{J12} \cdot X_k \cdot 80$$

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot R_k \cdot 80 + \frac{Q_{12}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot X_k \cdot 80$$

$$\frac{U_{1S} - U_{2S}}{\sqrt{3}} = \frac{P_{12}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot R_k \cdot 80 + \frac{Q_{12}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot X_k \cdot 80$$

$$U_{1S} - U_{2S} = \frac{P_{12}}{U_{2S}} \cdot R_k \cdot 80 + \frac{Q_{12}}{U_{2S}} \cdot X_k \cdot 80$$

$$-U_{2S}^{\ 2} + U_{1S} \cdot U_{2S} - \left(P_{12} \cdot R_k \cdot 80 + Q_{12} \cdot X_k \cdot 80\right) = 0$$

$$-U_{2S}^{\ 2} + 110 \cdot 10^3 \cdot U_{2S} - \left(15 \cdot 10^6 \cdot 0{,}14 \cdot 80 + 35{,}1 \cdot 10^6 \cdot 0{,}17 \cdot 80\right) = 0$$

$$-U_{2S}^{\ 2} + 110 \cdot 10^3 \cdot U_{2S} - \left(645360000\right) = 0$$

$$U_{2S} = \frac{-110 \cdot 10^3 - \sqrt{9518560000}}{-2} = 103781{,}55V$$

$$U_{2S} = \underline{103{,}78kV}$$

$$\Delta U_{23} = I_{Č23} \cdot R_k \cdot l_{23} + I_{J23} \cdot X_k \cdot l_{23}$$

$$\Delta U_{23} = I_{Č23} \cdot R_k \cdot 20 + I_{J23} \cdot X_k \cdot 20$$

$$\Delta U_{23} = \frac{P_{32}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot R_k \cdot 20 + \frac{Q_{32}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot X_k \cdot 20$$

$$\frac{U_{3S} - U_{2S}}{\sqrt{3}} = \frac{P_{32}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot R_k \cdot 20 + \frac{Q_{32}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot X_k \cdot 20$$

$$U_{3S} - U_{2S} = \frac{P_{32}}{U_{2S}} \cdot R_k \cdot 20 + \frac{Q_{32}}{U_{2S}} \cdot X_k \cdot 20$$

$$U_{3S} = 103781{,}55 + \frac{50 \cdot 10^6}{103781{,}55} \cdot 0{,}14 \cdot 20 + \frac{0}{103781{,}55} \cdot 0{,}17 \cdot 20 = 105130{,}54V$$

c) Je připojen v bodě 3 zdroj (cos φ = 0,9 induktivní):

$$U_{1S} = 110kV$$

$$P_2 = 65MW$$

$$P_{32} = 50MW$$

$$P_{12} = P_2 - P_{32} = 65 - 50 = 15MW$$

$$Q_{32} = P_{32} \cdot tg\varphi = 50 \cdot 10^6 \cdot 0{,}48 = 24MVAr$$

$$Q_2 = P_2 \cdot tg\varphi = 65 \cdot 10^6 \cdot 0{,}54 = 35{,}1MVAr$$

$$Q_{12} = Q_2 - Q_{32} = 35{,}1 - 24 = 11{,}1MVAr$$

$$\Delta U_{12} = I_{Č12} \cdot R_k \cdot l_{12} + I_{J12} \cdot X_k \cdot l_{12}$$

$$\Delta U_{12} = I_{Č12} \cdot R_k \cdot 80 + I_{J12} \cdot X_k \cdot 80$$

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot R_k \cdot 80 + \frac{Q_{12}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot X_k \cdot 80$$

$$\frac{U_{1S} - U_{2S}}{\sqrt{3}} = \frac{P_{12}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot R_k \cdot 80 + \frac{Q_{12}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot X_k \cdot 80$$

$$U_{1S} - U_{2S} = \frac{P_{12}}{U_{2S}} \cdot R_k \cdot 80 + \frac{Q_{12}}{U_{2S}} \cdot X_k \cdot 80$$

$$-U_{2S}^{\ 2} + U_{1S} \cdot U_{2S} - \left(P_{12} \cdot R_k \cdot 80 + Q_{12} \cdot X_k \cdot 80\right) = 0$$

$$-U_{2S}^{\ 2} + 110 \cdot 10^3 \cdot U_{2S} - \left(15 \cdot 10^6 \cdot 0{,}14 \cdot 80 + 11{,}1 \cdot 10^6 \cdot 0{,}17 \cdot 80\right) = 0$$

$$-U_{2S}^{\ 2} + 110 \cdot 10^3 \cdot U_{2S} - \left(318960000\right) = 0$$

$$U_{2S} = \frac{-110 \cdot 10^3 - \sqrt{1{,}08 \cdot 10^{10}}}{-2} = 106961{,}52V$$

$$U_{2S} = \underline{106{,}96kV}$$

$$\Delta U_{12} = I_{Č23} \cdot R_k \cdot l_{23} + I_{J23} \cdot X_k \cdot l_{23}$$

$$\Delta U_{23} = I_{Č23} \cdot R_k \cdot 20 + I_{J23} \cdot X_k \cdot 20$$

$$\Delta U_{23} = \frac{P_{32}}{\sqrt{3} \cdot U_2} \cdot R_k \cdot 20 + \frac{Q_{32}}{\sqrt{3} \cdot U_2} \cdot X_k \cdot 20$$

$$\frac{U_{3S} - U_{2S}}{\sqrt{3}} = \frac{P_{32}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot R_k \cdot 20 + \frac{Q_{32}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot X_k \cdot 20$$

$$U_{3S} - U_{2S} = \frac{P_{32}}{U_{2S}} \cdot R_k \cdot 20 + \frac{Q_{32}}{U_{2S}} \cdot X_k \cdot 20$$

$$U_{3S} = 106961{,}52 + \frac{50 \cdot 10^6}{106961{,}52} \cdot 0{,}14 \cdot 20 + \frac{24 \cdot 10^6}{106961{,}52} \cdot 0{,}17 \cdot 20 = 109033{,}29V$$

d) Je připojen v bodě 3 zdroj (cos φ = 0,9 kapacitní):

$$U_{1S} = 110kV$$

$$P_2 = 65MW$$

$$P_{32} = 50MW$$

$$P_{12} = P_2 - P_{32} = 65 - 50 = 15MW$$

$$Q_{32} = P_{32} \cdot tg\varphi = 50 \cdot 10^6 \cdot 0{,}48 = 24MVAr$$

$$Q_2 = P_2 \cdot tg\varphi = 65 \cdot 10^6 \cdot 0{,}54 = 35{,}1MVAr$$

$$Q_{12} = Q_2 + Q_{32} = 35{,}1 + 24 = 59{,}1MVAr$$

$$\Delta U_{12} = I_{Č12} \cdot R_k \cdot l_{12} + I_{J12} \cdot X_k \cdot l_{12}$$

$$\Delta U_{12} = I_{Č12} \cdot R_k \cdot 80 + I_{J12} \cdot X_k \cdot 80$$

$$\Delta U_{12} = \frac{P_{12}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot R_k \cdot 80 + \frac{Q_{12}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot X_k \cdot 80$$

$$\frac{U_{1S} - U_{2S}}{\sqrt{3}} = \frac{P_{12}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot R_k \cdot 80 + \frac{Q_{12}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot X_k \cdot 80$$

$$U_{1S} - U_{2S} = \frac{P_{12}}{U_{2S}} \cdot R_k \cdot 80 + \frac{Q_{12}}{U_{2S}} \cdot X_k \cdot 80$$

$$-U_{2S}^{\ 2} + U_{1S} \cdot U_{2S} - \left(P_{12} \cdot R_k \cdot 80 + Q_{12} \cdot X_k \cdot 80\right) = 0$$

$$-U_{2S}^{\ 2} + 110 \cdot 10^3 \cdot U_{2S} - \left(15 \cdot 10^6 \cdot 0{,}14 \cdot 80 + 59{,}1 \cdot 10^6 \cdot 0{,}17 \cdot 80\right) = 0$$

$$-U_{2S}^{\ 2} + 110 \cdot 10^3 \cdot U_{2S} - \left(971760000\right) = 0$$

$$U_{2S} = \frac{-110 \cdot 10^3 - \sqrt{8212960000}}{-2} = 100312{,}69V$$

$$U_{2S} = \underline{100{,}31kV}$$

$$\Delta U_{12} = I_{Č23} \cdot R_k \cdot l_{23} + I_{J23} \cdot X_k \cdot l_{23}$$

$$\Delta U_{23} = I_{Č23} \cdot R_k \cdot 20 + I_{J23} \cdot X_k \cdot 20$$

$$\Delta U_{23} = \frac{P_{32}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot R_k \cdot 20 + \frac{Q_{32}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot X_k \cdot 20$$

$$\frac{U_{3S} - U_{2S}}{\sqrt{3}} = \frac{P_{32}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot R_k \cdot 20 + \frac{Q_{32}}{\sqrt{3} \cdot U_{2S}} \cdot X_k \cdot 20$$

$$U_{3S} - U_{2S} = \frac{P_{32}}{U_{2S}} \cdot R_k \cdot 20 + \frac{Q_{32}}{U_{2S}} \cdot X_k \cdot 20$$

$$U_{3S} = 100312{,}69 + \frac{50 \cdot 10^6}{100312{,}69} \cdot 0{,}14 \cdot 20 + \frac{24 \cdot 10^6}{100312{,}69} \cdot 0{,}17 \cdot 20 = 102521{,}78V$$

Porovnání výsledků je vidět v Tab. 6-1.

Tab. 6-1 Výsledky ukázky výpočtu:

	Napětí v bodě 2 [kV]
Není připojen zdroj v bodě 3	99,04
Je připojen v bodě 3 zdroj (cos φ = 1)	103,78
Je připojen v bodě 3 zdroj (cos φ = 0,9 induktivní)	106,96
Je připojen v bodě 3 zdroj (cos φ = 0,9 kapacitní)	100,31

Změny napětí v procentech jmenovitého napětí jsou uvedeny v Tab. 6-2.

Tab. 6-2 Změny napětí:

	Změna napětí [kV]	Změna napětí [%]
Je připojen v bodě 3 zdroj (cos φ = 1)	4,74	4,31
Je připojen v bodě 3 zdroj (cos φ = 0,9 induktivní)	7,92	7,20
Je připojen v bodě 3 zdroj (cos φ = 0,9 kapacitní)	1,27	1,15

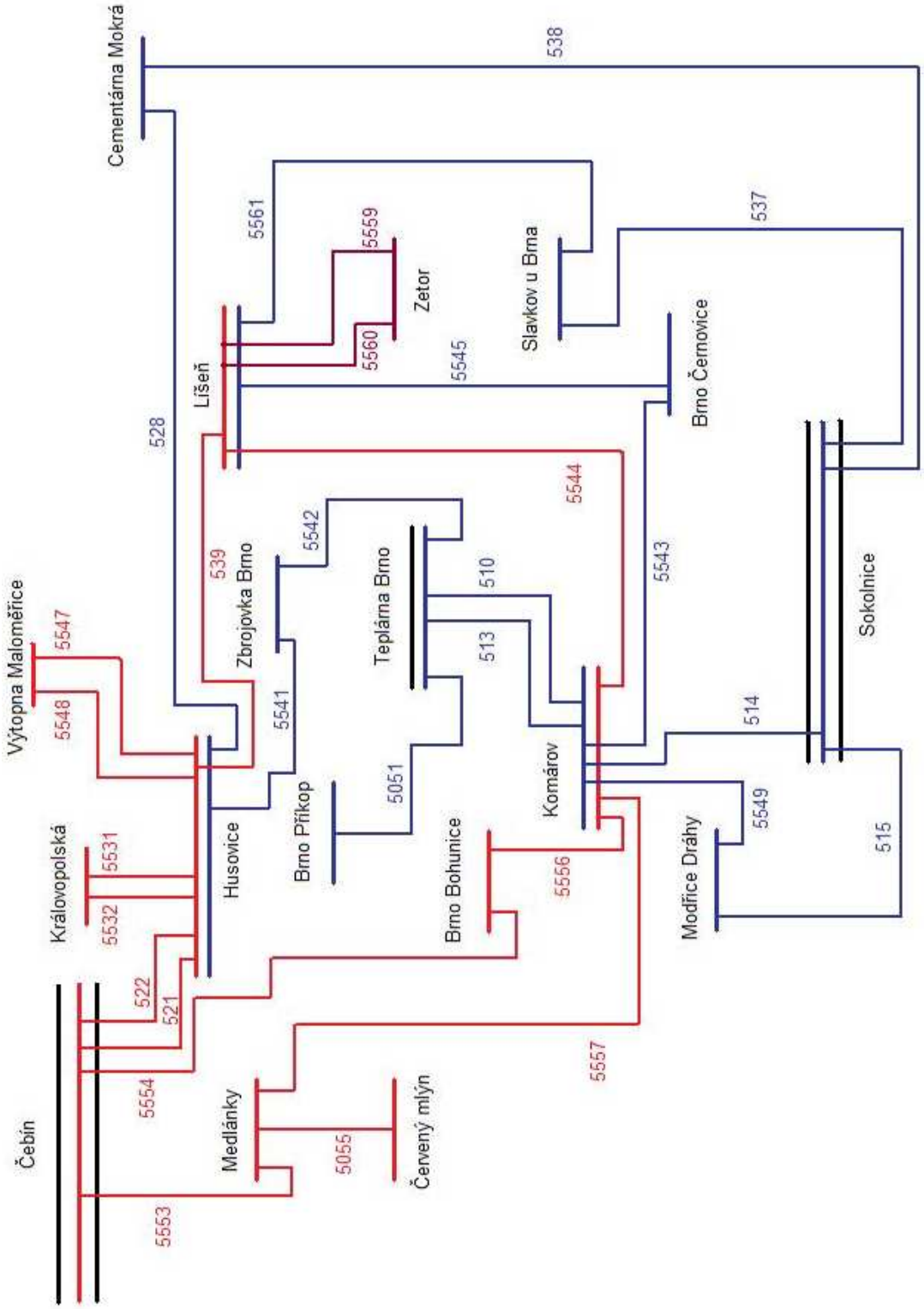
Pokud tyto výsledky shrneme, vidíme, že pouze zdroj s cos φ = 0,9 kapacitní vyhovuje podmínce pro připojení nového zdroje. Tento zdroj způsobí změnu napětí o velikosti 1,15 % jmenovitého napětí sítě. Výše uvedená podmínka povoluje pouze změnu napětí o velikosti 2 % jmenovitého napětí. To znamená, že ostatní zkoumané zdroje nemohou být připojeny do distribuční soustavy.

7 Posouzení možnosti připojení nového zdroje v praxi

7.1 Zadání

Úkolem této části práce je posoudit vliv nově připojeného zdroje do sítě 110 kV na napětí, ztráty na vedení, zatížení vedení a zkratové poměry v síti. Jedná se o plynovou elektrárnu se dvěma generátory 45 MW. Celkový instalovaný výkon je tedy 90 MW. Tento zdroj se bude nacházet v Brně v areálu společnosti Zetor a bude připojen do sítě 110 kV distribuční společnosti E.ON přes rozvodnu Zetor. Síť 110 kV v oblasti Brna lze v podstatě za běžného provozu rozdělit do dvou okruhů. Každý z okruhů je napojen přes jednu rozvodnu do přenosových sítí 400 a 220 kV. První okruh je spojen s přenosovou sítí přes rozvodnu Čebín a skládá se z rozvoden Husovice, Královopolská, Výtopna Maloměřice, Líšeň, Zetor, Komárov, Brno Bohunice, Červený mlýn, Medlánky. Druhý okruh je spojen s přenosovou sítí přes rozvodnu Sokolnice a skládá se z rozvoden Modřice dráhy, Komárov, Teplárna Brno, Brno Příkop, Brno Černovice, Zbrojovka Brno, Husovice, Cementárna Mokrá, Líšeň, Slavkov u Brna. Celé toto zapojení je vidět na Obr. 7-1. Při výpočtech se počítá s maximální možnou výrobou elektrické energie i ostatních zdrojů v oblasti Brna. Konkrétně to je tedy Teplárna Brno – 40 MW (provoz v zimě) nebo 30 MW (provoz v létě), spalovna Sako (rozvodna Brno Černovice) – 19 MW, Výtopna Maloměřice – 103,5 MW, Červený mlýn – 65 MW. Výše uvedené vlivy je zapotřebí porovnat při zapojení zdroje do okruhu na rozvodnu Čebín nebo Sokolnice, a to v zimním a letním období.

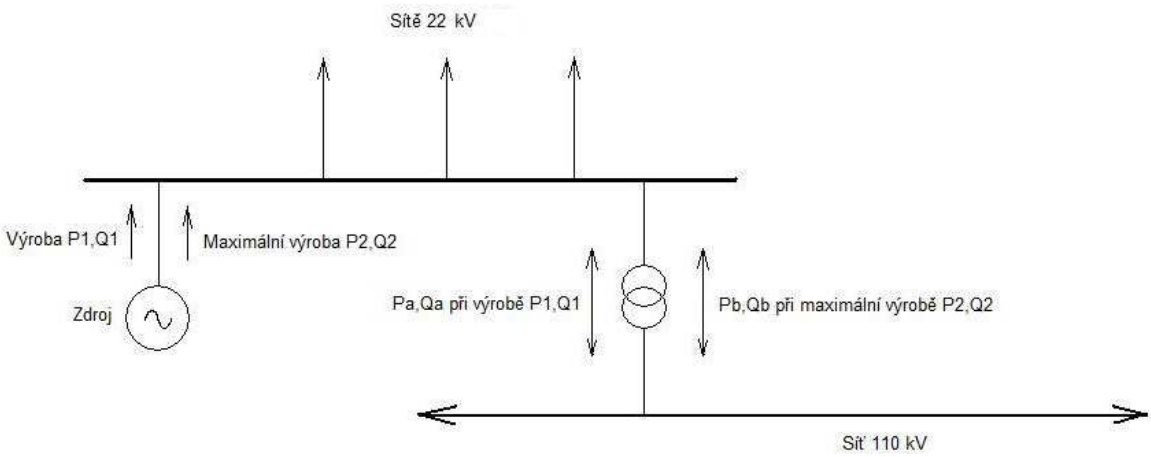
7.2 Schéma sítě 110 kV v oblasti Brna



Obr. 7-1 Síť 110 kV v oblasti Brna

7.3 Počáteční hodnoty pro výpočet

Tyto hodnoty vyjadřují výkonovou bilanci mezi rozvodnou a sítí 110 kV. Záporné hodnoty vyjadřují přenos výkonu ze sítě 110 kV do rozvodny, kladné hodnoty potom přenos výkonu z rozvodny do sítě 110 kV. U rozvoden, do nichž jsou připojené zdroje elektrické energie, je zapotřebí přepočítat bilanci vzhledem k maximálnímu možnému vyráběnému výkonu. To znamená, že do výpočtu nedosazujeme hodnoty naměřené P_a a Q_a, nýbrž hodnoty přepočtené P_b a Q_b, jak je znázorněno na Obr. 7-2.



Obr. 7-2 Výkonová bilance

7.3.1 Naměřené hodnoty v zimním období

Přepočet výkonové bilance v rozvodně Teplárna Brno:

$P_1 = 16{,}6MW$ $\quad$ $Q_1 = 0{,}6MVAr$

$P_2 = 40MW$ $\quad$ $Q_2 = 1{,}446MVAr$

$\Delta P = P_2 - P_1 = 40 - 16{,}6 = 23{,}4MW$ $\quad$ $\Delta Q = Q_2 - Q_1 = 1{,}446 - 0{,}6 = 0{,}846MVAr$

$P_a = -37{,}16$ $\quad$ $Q_a = -4{,}7MVAr$

$P_b = P_a + \Delta P = -37{,}16 + 23{,}4 = -13{,}76MW$ $\quad$ $Q_b = Q_a + \Delta Q = -4{,}7 + 0{,}846 = -3{,}854MVAr$

Přepočet výkonové bilance v rozvodně Brno Černovice (spalovna Sako):

$P_1 = 9{,}3MW$ $\quad$ $Q_1 = 0{,}95MVAr$

$P_2 = 19MW$ $\quad$ $Q_2 = 1{,}91MVAr$

$\Delta P = P_2 - P_1 = 19 - 9{,}3 = 9{,}7MW$ $\quad$ $\Delta Q = Q_2 - Q_1 = 1{,}91 - 0{,}95 = 0{,}96MVAr$

$P_a = -1{,}7MW$ $\quad$ $Q_a = 1{,}12MVAr$

$P_b = P_a + \Delta P = -1{,}7 + 9{,}7 = 8MW$ $\quad$ $Q_b = Q_a + \Delta Q = 1{,}12 + 0{,}96 = 2{,}08MVAr$

Přepočet výkonové bilance v rozvodně Zetor (pouze pokud počítáme s chodem zdroje):

$P_1 = 0MW$ $\quad$ $Q_1 = 0MVAr$

$P_2 = 90MW$ $\quad$ $Q_2 = 9MVAr$

$\Delta P = P_2 - P_1 = 90 - 0 = 90MW$ $\quad$ $\Delta Q = Q_2 - Q_1 = 9 - 0 = 9MVAr$

$P_a = -10{,}5MW$ $\quad$ $Q_a = -1{,}7MVAr$

$P_b = P_a + \Delta P = -10{,}5 + 90 = 79{,}5MW$ $\quad$ $Q_b = Q_a + \Delta Q = -1{,}7 + 9 = 7{,}3MVAr$

Přepočet výkonové bilance v rozvodně Výtopna Maloměřice:

$P_1 = 0MW$ $\quad$ $Q_1 = 0MVAr$

$P_2 = 103{,}5MW$ $\quad$ $Q_2 = 10{,}4MVAr$

$\Delta P = P_2 - P_1 = 103{,}5 - 0 = 103{,}5MW$ $\quad$ $\Delta Q = Q_2 - Q_1 = 10{,}4 - 0 = 10{,}4MVAr$

$P_a = -0{,}4MW$ $\quad$ $Q_a = 0{,}2MVAr$

$P_b = P_a + \Delta P = -0{,}4 + 103{,}5 = 103{,}1MW$ $\quad$ $Q_b = Q_a + \Delta Q = 0{,}2 + 10{,}4 = 10{,}6MVAr$

Přepočet výkonové bilance v rozvodně Červený mlýn:

Přepočet není třeba provádět, protože v této rozvodně nejsou připojené žádné sítě 22 kV, ale pouze zdroj.

Tab. 7-1 Počáteční hodnoty pro výpočet - zima:

Rozvodna	*P* [MW]	*Q* [MVAr]
Brno Černovice	8,0	2,1
Brno Příkop	-23,8	-4,0
Teplárna Brno	-13,8	-3,9
Brno Bohunice	-46,1	0,5
Červený mlýn	65,0	11,3
Husovice	-39,1	-1,9
Královopolská	-2,5	-0,4
Komárov	-37,2	-4,6
Líšeň	-23,9	-0,7
Medlánky	-39,8	1,5
Cementárna Mokrá	0,0	0,0
Slavkov u Brna	-16,4	-2,7
Zbrojovka Brno	-0,7	-0,2
Zetor	-10,5/79,5	-1,7/7,3
Sokolnice	-38,3	-3,8
Modřice dráhy	0,0	0,0
Čebín	-27,4	-7,4
Výtopna Maloměřice	103,1	10,6

7.3.2 Naměřené hodnoty v letním období

Přepočet výkonové bilance v rozvodně Teplárna Brno:

$P_1 = 0MW$ $\quad Q_1 = 0MVAr$

$P_2 = 30MW$ $\quad Q_2 = 1{,}34MVAr$

$\Delta P = P_2 - P_1 = 30 - 0 = 30MW$ $\quad \Delta Q = Q_2 - Q_1 = 1{,}34 - 0 = 1{,}34MVAr$

$P_a = -42{,}8MW$ $\quad Q_a = -4{,}7MVAr$

$P_b = P_a + \Delta P = -42{,}8 + 30 = -12{,}8MW$ $\quad Q_b = Q_a + \Delta Q = -4{,}7 + 1{,}34 = -3{,}36MVAr$

Přepočet výkonové bilance v rozvodně Brno Černovice (spalovna Sako):

$P_1 = 9{,}6MW$ $\quad Q_1 = 2{,}8MVAr$

$P_2 = 19MW$ $\quad Q_2 = 5{,}542MVAr$

$\Delta P = P_2 - P_1 = 19 - 9{,}6 = 9{,}4MW$ $\quad \Delta Q = Q_2 - Q_1 = 5{,}542 - 2{,}8 = 2{,}74MVAr$

$P_a = 0{,}1MW$ $\quad Q_a = 0MVAr$

$P_b = P_a + \Delta P = 0 + 9{,}4 = 9{,}5MW$ $\quad Q_b = Q_a + \Delta Q = 0 + 2{,}74 = 2{,}74MVAr$

Přepočet výkonové bilance v rozvodně Zetor (pouze pokud počítáme s chodem zdroje):

$P_1 = 0MW$ $\quad Q_1 = 0MVAr$

$P_2 = 90MW$ $\quad Q_2 = 9MVAr$

$\Delta P = P_2 - P_1 = 90 - 0 = 90MW$ $\quad \Delta Q = Q_2 - Q_1 = 9 - 0 = 9MVAr$

$P_a = -1{,}3MW$ $\quad Q_a = -1{,}7MVAr$

$P_b = P_a + \Delta P = -1{,}3 + 90 = 88{,}7MW$ $\quad Q_b = Q_a + \Delta Q = -1{,}7 + 9 = 7{,}3MVAr$

Přepočet výkonové bilance v rozvodně Výtopna Maloměřice:

$P_1 = 0MW$ $\quad Q_1 = 0MVAr$

$P_2 = 103{,}5MW$ $\quad Q_2 = 10{,}4MVAr$

$\Delta P = P_2 - P_1 = 103{,}5 - 0 = 103{,}5MW$ $\quad \Delta Q = Q_2 - Q_1 = 10{,}4 - 0 = 10{,}4MVAr$

$P_a = -1MW$ $\quad Q_a = 0MVAr$

$P_b = P_a + \Delta P = -1 + 103{,}5 = 102{,}5MW$ $\quad Q_b = Q_a + \Delta Q = 0 + 10{,}4 = 10{,}4MVAr$

Přepočet výkonové bilance v rozvodně Červený mlýn:

Přepočet není třeba provádět, protože v této rozvodně nejsou připojené žádné sítě 22 kV, ale pouze zdroj.

Tab. 7-2 Počáteční hodnoty pro výpočet - léto:

Rozvodna	*P* [MW]	*Q* [MVAr]
Brno Černovice	9,5	2,7
Brno Příkop	-19,0	-4,0
Teplárna Brno	-12,8	-3,4
Brno Bohunice	-27,9	0,5
Červený mlýn	65,0	11,3
Husovice	-21,2	-1,9
Královopolská	-2,3	-0,4
Komárov	-18,0	-4,6
Líšeň	-10,8	-0,7
Medlánky	-23,0	1,5
Cementárna Mokrá	-11,6	-2,3
Slavkov u Brna	-9,1	-2,7
Zbrojovka Brno	-2,2	-0,2
Zetor	-1,3/88,7	-1,7/7,3
Sokolnice	-28,3	-3,8
Modřice dráhy	-2,2	-0,7
Čebín	-15,8	-7,4
Výtopna Maloměřice	102,5	10,4

7.4 Vypočtené hodnoty

Celý výpočet byl prováděn pomocí softwaru SINAUT Spectrum 4.4 ve společnosti E.ON. Z tohoto důvodu zde není uveden žádný postup výpočtu, protože je tento program nezobrazuje.

7.4.1 Výpočty sítě v zimním období

Tab. 7-3 Vliv na napětí, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima:

Napětí [kV]	Zetor připojen na Čebín			
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl napětí	Procentuální rozdíl napětí [%]
Brno Černovice	116,1	116,1	0	0,00
Brno Příkop	115,9	115,9	0	0,00
Teplárna Brno	116	116	0	0,00
Brno Bohunice	117,8	118,2	0,4	0,36
Červený mlýn	118,8	119	0,2	0,18
Husovice - SBA	118,4	118,8	0,4	0,36
Husovice - SBB	116	116	0	0,00
Královopolská	118,4	118,8	0,4	0,36
Komárov - SBA	116,1	116,1	0	0,00
Komárov - SBB	118,1	118,6	0,5	0,45
Líšeň - SBA	116	116	0	0,00
Líšeň - SBB	118,1	118,9	0,8	0,73
Medlánky	118,7	118,8	0,1	0,09
Cementárna Mokrá	116,1	116,1	0	0,00
Slavkov u Brna	116,2	116,2	0	0,00
Zbrojovka Brno	116	116	0	0,00
Zetor	118,1	119	0,9	0,82
Sokolnice - SBA	119,8	119,8	0	0,00
Sokolnice - SBB	116,8	116,8	0	0,00
Sokolnice - SBC	119,8	119,8	0	0,00
Modřice dráhy	116,5	116,5	0	0,00
Čebín - SBA	117,4	117,4	0	0,00
Čebín - SBB	118,1	118	-0,1	-0,09
Čebín - SBC	116,2	116,2	0	0,00
Výtopna Maloměřice - T101	118,5	118,9	0,4	0,36
Výtopna Maloměřice - T102	118,5	118,9	0,4	0,36

Tab. 7-4 Vliv na napětí, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - zima:

Napětí [kV]	Zetor připojen na Sokolnici			
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl napětí	Procentuální rozdíl napětí [%]
Brno Černovice	115,9	117	1,1	1,00
Brno Příkop	115,7	116,6	0,9	0,82
Teplárna Brno	115,8	116,6	0,8	0,73
Brno Bohunice	117,9	117,9	0	0,00
Červený mlýn	118,9	118,9	0	0,00
Husovice - SBA	118,5	118,5	0	0,00
Husovice - SBB	115,8	116,6	0,8	0,73
Královopolská	118,5	118,5	0	0,00
Komárov - SBA	115,9	116,8	0,9	0,82
Komárov - SBB	118,2	118,2	0	0,00
Líšeň - SBA	115,7	117,1	1,4	1,27
Líšeň - SBB	118,3	118,3	0	0,00
Medlánky	118,7	118,7	0	0,00
Cementárna Mokrá	116	116,7	0,7	0,64
Slavkov u Brna	116	116,9	0,9	0,82
Zbrojovka Brno	115,8	116,6	0,8	0,73
Zetor	115,7	117,2	1,5	1,36
Sokolnice - SBA	119,8	119,8	0	0,00
Sokolnice - SBB	116,7	117,2	0,5	0,45
Sokolnice - SBC	119,8	119,8	0	0,00
Modřice dráhy	116,4	117	0,6	0,55
Čebín - SBA	117,4	117,4	0	0,00
Čebín - SBB	118,2	118,2	0	0,00
Čebín - SBC	116,2	116,2	0	0,00
Výtopna Maloměřice - T101	118,6	118,6	0	0,00
Výtopna Maloměřice - T102	118,6	118,6	0	0,00

Tab. 7-5 Celkové ztráty, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima:

Zetor připojen na Čebín			
Celkové ztráty	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl ztrát
P [MW]	13,351	14,058	0,707
Q [MVAr]	36,201	33,692	-2,509

Tab. 7-6 Celkové ztráty, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - zima:

Zetor připojen na Sokolnici			
Celkové ztráty	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl ztrát
P [MW]	13,450	13,177	-0,273
Q [MVAr]	35,701	37,238	1,537

Tab. 7-7 Ztráty činného výkonu na jednotlivých vedeních v oblasti Brno, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima:

Ztráty *P* [MW]	Zetor připojen na Čebín		
Vedení	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl ztrát
5545	0,006	0,006	0,000
5544	0,021	0,140	0,119
5560	0,002	0,018	0,016
5559	0,000	0,018	0,018
5561	0,000	0,000	0,000
539	0,069	0,030	-0,039
537	0,094	0,094	0,000
528	0,004	0,004	0,000
538	0,069	0,069	0,000
5541	0,001	0,001	0,000
5542	0,000	0,000	0,000
513	0,014	0,014	0,000
510	0,014	0,014	0,000
5051	0,008	0,008	0,000
5543	0,002	0,002	0,000
515	0,039	0,039	0,000
5549	0,065	0,065	0,000
5556	0,058	0,129	0,071
5557	0,026	0,005	-0,021
514	0,130	0,130	0,000
5554	0,021	0,006	-0,015
5055	0,062	0,062	0,000
5553	0,016	0,072	0,056
521	0,036	0,286	0,250
522	0,019	0,162	0,143
5532	0,000	0,000	0,000
5531	0,000	0,000	0,000
5548	0,056	0,057	0,001
5547	0,056	0,056	0,000
518	0,388	0,388	0,000
536	0,044	0,044	0,000
517	0,014	0,014	0,000
5534	0,047	0,047	0,000
5533	0,032	0,032	0,000
5537	0,004	0,004	0,000
526	0,026	0,024	-0,002
5597	0,035	0,035	0,000
505	0,038	0,038	0,000
506	0,038	0,038	0,000
507	0,004	0,004	0,000
508	0,004	0,004	0,000
523	0,040	0,040	0,000
524	0,040	0,040	0,000
511	0,003	0,003	0,000
512	0,001	0,001	0,000
530	0,047	0,047	0,000
531	0,080	0,080	0,000

Tab. 7-8 Ztráty jalového výkonu na jednotlivých vedeních v oblasti Brno, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima:

Ztráty *Q* [MW]	Zetor připojen na Čebín		
Vedení	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl ztrát
5545	0,140	0,140	0,000
5544	0,245	-0,276	-0,521
5560	0,045	-0,002	-0,047
5559	0,047	-0,002	-0,049
5561	0,016	0,016	0,000
539	0,057	0,161	0,104
537	0,316	0,316	0,000
528	0,550	0,550	0,000
538	0,820	0,820	0,000
5541	0,167	0,167	0,000
5542	0,099	0,099	0,000
513	0,120	0,120	0,000
510	0,120	0,120	0,000
5051	1,809	1,809	0,000
5543	0,192	0,192	0,000
515	0,090	0,090	0,000
5549	0,126	0,126	0,000
5556	0,112	-0,203	-0,315
5557	0,875	0,975	0,100
514	-0,387	-0,387	0,000
5554	1,393	1,470	0,077
5055	4,412	4,430	0,018
5553	0,774	0,440	-0,334
521	0,612	-0,201	-0,813
522	0,354	-0,111	-0,465
5532	0,099	0,100	0,001
5531	0,099	0,100	0,001
5548	-0,089	-0,086	0,003
5547	-0,086	-0,086	0,000
518	0,189	0,189	0,000
536	2,374	2,374	0,000
517	0,303	0,303	0,000
5534	1,477	1,477	0,000
5533	0,651	0,651	0,000
5537	1,086	1,086	0,000
526	1,405	1,405	0,000
5597	0,966	0,966	0,000
505	1,039	1,040	0,001
506	1,039	1,040	0,001
507	1,114	1,114	0,000
508	1,114	1,114	0,000
523	0,483	0,484	0,001
524	0,483	0,484	0,001
511	1,091	1,091	0,000
512	1,043	1,043	0,000
530	0,865	0,865	0,000
531	1,739	1,739	0,000

Tab. 7-9 Ztráty činného výkonu na jednotlivých vedeních v oblasti Brno, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - zima:

Ztráty *P* [MW]	Zetor připojen na Sokolnici		
Vedení	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl ztrát
5545	0,014	0,040	0,026
5544	0,030	0,030	0,000
5560	0,001	0,019	0,018
5559	0,000	0,019	0,019
5561	0,000	0,000	0,000
539	0,045	0,045	0,000
537	0,008	0,000	-0,008
528	0,006	0,000	-0,006
538	0,077	0,028	-0,049
5541	0,001	0,000	-0,001
5542	0,000	0,000	0,000
513	0,013	0,019	0,006
510	0,013	0,019	0,006
5051	0,010	0,002	-0,008
5543	0,008	0,068	0,060
515	0,046	0,006	-0,040
5549	0,078	0,008	-0,070
5556	0,065	0,065	0,000
5557	0,019	0,019	0,000
514	0,154	0,019	-0,135
5554	0,013	0,013	0,000
5055	0,062	0,062	0,000
5553	0,020	0,020	0,000
521	0,053	0,053	0,000
522	0,029	0,029	0,000
5532	0,000	0,000	0,000
5531	0,000	0,000	0,000
5548	0,056	0,056	0,000
5547	0,056	0,056	0,000
518	0,389	0,385	-0,004
536	0,044	0,044	0,000
517	0,014	0,014	0,000
5534	0,047	0,047	0,000
5533	0,032	0,032	0,000
5537	0,004	0,004	0,000
526	0,024	0,024	0,000
5597	0,035	0,035	0,000
505	0,038	0,038	0,000
506	0,038	0,038	0,000
507	0,004	0,004	0,000
508	0,004	0,004	0,000
523	0,040	0,040	0,000
524	0,040	0,040	0,000
511	0,003	0,003	0,000
512	0,001	0,001	0,000
530	0,047	0,047	0,000
531	0,080	0,080	0,000

Tab. 7-10 Ztráty jalového výkonu na jednotlivých vedeních v oblasti Brno, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - zima:

Ztráty *Q* [MW]	Zetor připojen na Sokolnici		
Vedení	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl ztrát
5545	0,106	-0,009	-0,115
5544	0,208	0,208	0,000
5560	0,043	-0,010	-0,053
5559	0,051	-0,010	-0,061
5561	0,023	0,023	0,000
539	0,120	0,122	0,002
537	0,045	0,082	0,037
528	0,544	0,565	0,021
538	0,799	0,934	0,135
5541	0,164	0,171	0,007
5542	0,097	0,099	0,002
513	0,121	0,108	-0,013
510	0,121	0,108	-0,013
5051	1,801	1,832	0,031
5543	0,167	-0,099	-0,266
515	0,051	0,281	0,230
5549	0,091	0,274	0,183
5556	0,083	0,083	0,000
5557	0,908	0,908	0,000
514	-0,525	0,256	0,781
5554	1,429	1,429	0,000
5055	4,422	4,420	-0,002
5553	0,751	0,752	0,001
521	0,557	0,557	0,000
522	0,323	0,323	0,000
5532	0,100	0,100	0,000
5531	0,100	0,102	0,002
5548	-0,088	-0,086	0,002
5547	-0,085	-0,084	0,001
518	0,183	0,204	0,021
536	2,374	2,374	0,000
517	0,303	0,303	0,000
5534	1,477	1,477	0,000
5533	0,651	0,651	0,000
5537	1,086	1,086	0,000
526	1,405	1,405	0,000
5597	0,966	0,966	0,000
505	1,039	1,040	0,001
506	1,039	1,040	0,001
507	1,114	1,114	0,000
508	1,114	1,114	0,000
523	0,483	0,484	0,001
524	0,483	0,484	0,001
511	1,091	1,091	0,000
512	1,041	1,051	0,010
530	0,865	0,865	0,000
531	1,739	1,739	0,000

Tab. 7-11 Vliv na zatížení, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima:

Zatížení *P* [MW]	Zetor připojen na Čebín			
Vedení	Maximální zatížitelnost vedení	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl zatížení
5545	120	16,8	16,8	0,0
5544	95	22,1	57,4	35,3
5560	65	10,5	39,6	29,1
5559	65	0,0	39,6	39,6
5561	80	7,2	7,2	0,0
539	80	32,7	21,7	-11,0
537	80	23,7	23,7	0,0
528	80	5,0	5,0	0,0
538	80	14,9	14,9	0,0
5541	80	5,0	5,0	0,0
5542	80	4,3	4,3	0,0
513	80	16,8	16,8	0,0
510	80	16,8	16,8	0,0
5051	80	23,8	23,9	0,1
5543	120	8,8	8,8	0,0
515	130	31,0	31,0	0,0
5549	130	27,0	26,9	-0,1
5556	120	35,2	52,8	17,6
5557	120	13,1	4,6	-8,5
514	140	53,2	53,2	0,0
5554	120	11,2	6,2	-5,0
5055	110	64,8	64,8	0,0
5553	140	11,4	29,2	17,8
521	95	14,8	41,5	26,7
522	95	14,3	41,4	27,1
5532	80	0,0	0,0	0,0
5531	80	0,0	0,0	0,0
5548	35	51,6	51,6	0,0
5547	35	51,1	51,1	0,0
518	80	34,7	34,7	0,0
536	80	7,9	7,9	0,0
517	140	12,9	12,9	0,0
5534	95	10,9	10,9	0,0
5533	95	13,4	13,4	0,0
5537	95	3,3	3,3	0,0
526	95	7,2	7,2	0,0
5597	95	10,8	10,8	0,0
505	80	10,7	10,7	0,0
506	80	10,7	10,7	0,0
507	80	2,9	2,9	0,0
508	80	2,9	2,9	0,0
523	80	14,9	14,9	0,0
524	80	14,9	14,9	0,0
511	80	3,1	3,1	0,0
512	80	1,6	1,6	0,0
530	80	13,0	13,0	0,0
531	80	12,0	12,0	0,0

Tab. 7-12 Vliv na zatížení, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - zima:

Zatížení *P* [MW]	Zetor připojen na Sokolnici			
Vedení	Maximální zatížitelnost vedení	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl zatížení
5545	120	24,7	43,0	18,3
5544	95	26,2	26,2	0,0
5560	65	10,5	39,6	29,1
5559	65	0,0	39,6	39,6
5561	80	9,8	12,2	2,4
539	80	26,3	26,2	-0,1
537	80	26,3	4,3	-22,0
528	80	5,7	0,6	-5,1
538	80	15,7	9,3	-6,4
5541	80	5,7	0,6	-5,1
5542	80	5,0	1,3	-3,7
513	80	16,5	19,6	3,1
510	80	16,5	19,6	3,1
5051	80	23,9	23,9	0,0
5543	120	16,7	50,9	34,2
515	130	33,5	12,1	-21,4
5549	130	29,4	8,1	-21,3
5556	120	37,3	37,3	0,0
5557	120	11,1	11,1	0,0
514	140	57,9	17,8	-40,1
5554	120	9,2	9,2	0,0
5055	110	64,8	64,8	0,0
5553	140	13,5	13,5	0,0
521	95	17,9	17,9	0,0
522	95	17,5	17,5	0,0
5532	80	0,0	0,0	0,0
5531	80	0,0	0,0	0,0
5548	35	51,6	51,6	0,0
5547	35	51,1	51,1	0,0
518	80	34,7	34,7	0,0
536	80	7,9	7,9	0,0
517	140	12,9	12,9	0,0
5534	95	10,9	10,9	0,0
5533	95	13,4	13,4	0,0
5537	95	3,3	3,3	0,0
526	95	7,2	7,2	0,0
5597	95	10,8	10,8	0,0
505	80	10,7	10,7	0,0
506	80	10,7	10,7	0,0
507	80	2,9	2,9	0,0
508	80	2,9	2,9	0,0
523	80	14,9	14,9	0,0
524	80	14,9	14,9	0,0
511	80	3,1	3,1	0,0
512	80	1,6	1,6	0,0
530	80	13,0	13,0	0,0
531	80	12,0	12,0	0,0

Tab. 7-13 Vliv na jednofázové zkraty (S''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima:

S''_k [MVA]	Zetor připojen na Čebín			
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl S''_k	Zkratová odolnost rozvodny
Brno Černovice	2087,7	2088,2	0,5	3500
Brno Příkop	2681,8	2682,7	0,9	5000
Teplárna Brno	2824,6	2825,6	1,0	5000
Brno Bohunice	1479,4	1625,0	145,6	3500
Červený mlýn	1609,1	1691,6	82,5	3500
Husovice - SBA	2358,9	2723,3	364,4	3500
Husovice - SBB	1634,6	1634,9	0,3	3500
Královopolská	2070,0	2345,1	275,1	3500
Komárov - SBA	2810,6	2811,6	1,0	3500
Komárov - SBB	1675,6	1954,1	278,5	3500
Líšeň - SBA	1780,3	1780,6	0,3	3500
Líšeň - SBB	1771,0	2373,0	602,0	3500
Medlánky	1788,2	1900,5	112,3	3500
Cementárna Mokrá	1091,6	1091,7	0,1	3500
Slavkov u Brna	1294,1	1294,3	0,2	3500
Zbrojovka Brno	2190,1	2190,7	0,6	2500
Zetor	1592,6	2307,8	715,2	3500
Sokolnice - SBA	3200,2	3200,5	0,3	5000
Sokolnice - SBB	3041,9	3043,1	1,2	5000
Sokolnice - SBC	3200,2	3200,5	0,3	5000
Modřice dráhy	2094,0	2094,6	0,6	3500
Čebín - SBA	2046,8	2049,1	2,3	5000
Čebín - SBB	2649,8	2856,1	206,3	5000
Čebín - SBC	2805,8	2809,1	3,3	5000
Výtopna Maloměřice - T101	2020,2	2254,7	234,5	2500
Výtopna Maloměřice - T102	2015,0	2249,0	234,0	2500

Tab. 7-14 Vliv na jednofázové zkraty (I''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima:

I''_k [kA]	Zetor připojen na Čebín		
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl I''_k
Brno Černovice	10,960	10,960	0,000
Brno Příkop	14,070	14,080	0,010
Teplárna Brno	14,830	14,840	0,010
Brno Bohunice	7,770	8,540	0,770
Červený mlýn	8,450	8,890	0,440
Husovice - SBA	12,390	14,310	1,920
Husovice - SBB	8,590	8,590	0,000
Královopolská	10,860	12,300	1,440
Komárov - SBA	14,760	14,780	0,020
Komárov - SBB	8,800	10,250	1,450
Líšeň - SBA	9,360	9,360	0,000
Líšeň - SBB	9,300	12,470	3,170
Medlánky	9,400	9,970	0,570
Cementárna Mokrá	5,730	5,730	0,000
Slavkov u Brna	6,800	6,800	0,000
Zbrojovka Brno	11,500	11,500	0,000
Zetor	8,360	12,410	4,050
Sokolnice - SBA	16,800	16,800	0,000
Sokolnice - SBB	15,990	15,990	0,000
Sokolnice - SBC	16,800	16,800	0,000
Modřice dráhy	11,010	11,010	0,000
Čebín - SBA	10,760	10,770	0,010
Čebín - SBB	13,920	15,010	1,090
Čebín - SBC	14,730	14,750	0,020
Výtopna Maloměřice - T101	10,610	11,840	1,230
Výtopna Maloměřice - T102	10,590	11,810	1,220

Tab. 7-15 Vliv na jednofázové zkraty (S''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - zima:

S"k [MVA]	Zetor připojen na Sokolnici			
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl S''_k	Zkratová odolnost rozvodny
Brno Černovice	2030,8	2457,9	427,1	3500
Brno Příkop	2629,8	2934,4	304,6	5000
Teplárna Brno	2767,1	3106,8	339,7	5000
Brno Bohunice	1394,2	1394,5	0,3	3500
Červený mlýn	1689,8	1690,1	0,3	3500
Husovice - SBA	1847,4	1847,9	0,5	3500
Husovice - SBB	1634,6	1719,9	85,3	3500
Královopolská	1514,9	1515,2	0,3	3500
Komárov - SBA	2758,5	3138,9	380,4	3500
Komárov - SBB	1542,7	1543,1	0,4	3500
Líšeň - SBA	1540,7	1541,0	0,3	3500
Líšeň - SBB	1699,5	2269,9	570,4	3500
Medlánky	1807,1	1807,5	0,4	3500
Cementárna Mokrá	1085,5	1124,5	66,0	3500
Slavkov u Brna	1279,6	1386,0	106,4	3500
Zbrojovka Brno	2156,6	2352,3	195,7	2500
Zetor	1612,9	2209,7	596,8	3500
Sokolnice - SBA	2021,8	2022,0	0,2	5000
Sokolnice - SBB	3011,8	3262,3	250,5	5000
Sokolnice - SBC	3200,2	3287,8	87,6	5000
Modřice dráhy	2072,9	2230,3	157,4	3500
Čebín - SBA	2895,0	2896,4	1,4	5000
Čebín - SBB	2649,8	2651,2	1,4	5000
Čebín - SBC	2592,3	2593,4	1,1	5000
Výtopna Maloměřice - T101	1541,2	1541,6	0,4	2500
Výtopna Maloměřice - T102	1537,4	1537,8	0,4	2500

Tab. 7-16 Vliv na jednofázové zkraty (I''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - zima:

I''_k [kA]	Zetor připojen na Sokolnici		
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl I''_k
Brno Černovice	10,670	12,900	2,230
Brno Příkop	13,800	15,400	1,600
Teplárna Brno	14,430	16,320	1,890
Brno Bohunice	7,310	7,320	0,010
Červený mlýn	8,870	8,870	0,000
Husovice - SBA	9,710	9,710	0,000
Husovice - SBB	8,490	9,030	0,540
Královopolská	7,950	7,950	0,000
Komárov - SBA	14,500	16,480	1,980
Komárov - SBB	8,110	8,110	0,000
Líšeň - SBA	8,090	8,090	0,000
Líšeň - SBB	8,940	11,930	2,990
Medlánky	9,500	9,500	0,000
Cementárna Mokrá	5,690	5,900	11,590
Slavkov u Brna	6,720	7,290	0,570
Zbrojovka Brno	11,330	12,350	1,020
Zetor	8,460	11,620	3,160
Sokolnice - SBA	10,620	16,620	0,000
Sokolnice - SBB	15,830	17,130	1,300
Sokolnice - SBC	16,800	17,800	1,000
Modřice dráhy	10,900	11,720	0,820
Čebín - SBA	15,240	15,240	0,000
Čebín - SBB	13,920	13,920	0,000
Čebín - SBC	13,630	13,630	0,000
Výtopna Maloměřice - T101	8,090	8,100	0,010
Výtopna Maloměřice - T102	8,070	8,070	0,000

Tab. 7-17 Vliv na trojfázové zkraty (S''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima:

S''_k [MVA]	Zetor připojen na Čebín			
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl S''_k	Zkratová odolnost rozvodny
Brno Černovice	1855,1	1855,7	0,6	3500
Brno Příkop	1954,6	1955,3	0,7	5000
Teplárna Brno	2030,5	2031,2	0,7	5000
Brno Bohunice	1528,9	1693,6	164,7	3500
Červený mlýn	1692,5	1815,4	122,9	3500
Husovice - SBA	2114,2	2427,3	313,1	3500
Husovice - SBB	1588,4	1588,9	0,5	3500
Královopolská	1954,4	2218,9	264,5	3500
Komárov - SBA	2224,4	2225,3	0,9	3500
Komárov - SBB	1748,4	2007,4	259,0	3500
Líšeň - SBA	1670,6	1671,2	0,6	3500
Líšeň - SBB	1809,1	2199,9	390,8	3500
Medlánky	1772,5	1911,9	139,4	3500
Cementárna Mokrá	1339,4	1339,7	0,3	3500
Slavkov u Brna	1522,5	1522,9	0,4	3500
Zbrojovka Brno	1824,4	1825,0	0,6	2500
Zetor	1683,8	2137,9	454,1	3500
Sokolnice - SBA	3631,1	3631,5	0,4	5000
Sokolnice - SBB	3055,3	3057,1	1,8	5000
Sokolnice - SBC	3631,1	3631,5	0,4	5000
Modřice dráhy	2109,5	2110,4	0,9	3500
Čebín - SBA	2242,9	2246,8	3,9	5000
Čebín - SBB	2887,8	3173,3	285,5	5000
Čebín - SBC	2670,6	2674,8	4,2	5000
Výtopna Maloměřice - T101	1889,1	2124,9	235,8	2500
Výtopna Maloměřice - T102	1882,3	2117,3	235,0	2500

Tab. 7-18 Vliv na trojfázové zkraty (I''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - zima:

I''_k [kA]	Zetor připojen na Čebín		
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl I''_k
Brno Černovice	9,737	9,740	0,003
Brno Příkop	10,259	10,262	0,003
Teplárna Brno	10,657	10,661	0,004
Brno Bohunice	8,024	8,889	0,865
Červený mlýn	8,883	9,528	0,645
Husovice - SBA	11,097	12,740	1,643
Husovice - SBB	8,337	8,339	0,002
Královopolská	10,258	11,646	1,388
Komárov - SBA	11,675	11,680	0,005
Komárov - SBB	9,177	10,536	1,359
Líšeň - SBA	8,769	8,771	0,002
Líšeň - SBB	9,496	11,546	2,050
Medlánky	9,303	10,035	0,732
Cementárna Mokrá	7,030	7,032	0,002
Slavkov u Brna	7,991	7,993	0,002
Zbrojovka Brno	9,576	9,579	0,003
Zetor	8,838	11,221	2,383
Sokolnice - SBA	19,058	19,061	0,003
Sokolnice - SBB	16,036	16,045	0,009
Sokolnice - SBC	19,058	19,061	0,003
Modřice dráhy	11,072	11,076	0,004
Čebín - SBA	11,772	11,793	0,021
Čebín - SBB	15,157	16,656	1,499
Čebín - SBC	14,017	14,039	0,022
Výtopna Maloměřice - T101	9,915	11,153	1,238
Výtopna Maloměřice - T102	9,879	11,113	1,234

Tab. 7-19 Vliv na trojfázové zkraty (S''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice -zima:

S''_k [MVA]	Zetor připojen na Sokolnici			
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl S''_k	Zkratová odolnost rozvodny
Brno Černovice	1855,1	2207,9	352,8	3500
Brno Příkop	1954,6	2196,1	241,5	5000
Teplárna Brno	2030,5	2292,5	262,0	5000
Brno Bohunice	1528,9	1529,3	0,4	3500
Červený mlýn	1692,5	1693,0	0,5	3500
Husovice - SBA	2114,2	2115,0	0,8	3500
Husovice - SBB	1588,4	1732,9	144,5	3500
Královopolská	1954,4	1955,1	0,7	3500
Komárov - SBA	2224,4	2555,7	331,3	3500
Komárov - SBB	1748,4	1749,0	0,6	3500
Líšeň - SBA	1670,6	2061,4	390,8	3500
Líšeň - SBB	1809,1	1809,7	0,6	3500
Medlánky	1772,5	1773,1	0,6	3500
Cementárna Mokrá	1339,4	1424,7	85,3	3500
Slavkov u Brna	1522,5	1682,5	160,0	3500
Zbrojovka Brno	1824,4	2027,5	203,1	2500
Zetor	1683,8	2008,9	325,1	3500
Sokolnice - SBA	3631,1	3632,5	1,4	5000
Sokolnice - SBB	3055,3	3399,0	343,7	5000
Sokolnice - SBC	3631,1	3632,5	1,4	5000
Modřice dráhy	2109,5	2329,8	220,3	3500
Čebín - SBA	2242,9	2244,6	1,7	5000
Čebín - SBB	2887,8	2889,6	1,8	5000
Čebín - SBC	2670,6	2672,5	1,9	5000
Výtopna Maloměřice - T101	1889,1	1889,7	0,6	2500
Výtopna Maloměřice - T102	1882,3	1882,9	0,6	2500

Tab. 7-20 Vliv na trojfázové zkraty (I''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice -zima:

I''_k [kA]	Zetor připojen na Sokolnici		
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl I''_k
Brno Černovice	9,737	11,588	1,851
Brno Příkop	10,259	11,526	1,267
Teplárna Brno	10,657	12,033	1,376
Brno Bohunice	8,024	8,027	0,003
Červený mlýn	8,883	8,886	0,003
Husovice - SBA	11,097	11,101	0,004
Husovice - SBB	8,337	9,095	0,758
Královopolská	10,258	10,262	0,004
Komárov - SBA	11,675	13,414	1,739
Komárov - SBB	9,177	9,180	0,003
Líšeň - SBA	8,769	10,820	2,051
Líšeň - SBB	9,496	9,499	0,003
Medlánky	9,303	9,306	0,003
Cementárna Mokrá	7,030	7,478	0,448
Slavkov u Brna	7,991	8,831	0,840
Zbrojovka Brno	9,576	10,642	1,066
Zetor	8,838	10,544	1,706
Sokolnice - SBA	19,058	19,066	0,008
Sokolnice - SBB	16,036	17,840	1,804
Sokolnice - SBC	19,058	19,066	0,008
Modřice dráhy	11,072	12,229	1,157
Čebín - SBA	11,772	11,781	0,009
Čebín - SBB	15,157	15,166	0,009
Čebín - SBC	14,017	14,027	0,010
Výtopna Maloměřice - T101	9,915	9,918	0,003
Výtopna Maloměřice - T102	9,879	9,883	0,004

7.4.2 Výpočty sítě v letním období

Tab. 7-21 Vliv na napětí, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto:

Napětí [kV]	Zetor připojen na Čebín			
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl napětí	Procentuální rozdíl napětí [%]
Brno Černovice	118,3	118,3	0,0	0,00
Brno Příkop	118,0	118,0	0,0	0,00
Teplárna Brno	118,1	118,1	0,0	0,00
Brno Bohunice	118,4	119,2	0,8	0,73
Červený mlýn	119,1	119,6	0,5	0,45
Husovice - SBA	119,0	119,8	0,8	0,73
Husovice - SBB	118,1	118,1	0,0	0,00
Královopolská	119,0	119,8	0,8	0,73
Komárov - SBA	118,2	118,2	0,0	0,00
Komárov - SBB	118,7	119,6	0,9	0,82
Líšeň - SBA	118,8	120,1	1,3	1,18
Líšeň - SBB	118,2	118,2	0,0	0,00
Medlánky	118,9	119,5	0,6	0,55
Cementárna Mokrá	118,1	118,1	0,0	0,00
Slavkov u Brna	118,4	118,4	0,0	0,00
Zbrojovka Brno	118,1	118,1	0,0	0,00
Zetor	118,8	120,2	1,4	1,27
Sokolnice - SBA	120,0	120,0	0,0	0,00
Sokolnice - SBB	118,8	118,8	0,0	0,00
Sokolnice - SBC	120,0	120,0	0,0	0,00
Modřice dráhy	118,5	118,5	0,0	0,00
Čebín - SBA	117,6	117,6	0,0	0,00
Čebín - SBB	118,2	118,4	0,2	0,18
Výtopna Maloměřice - T101	119,2	120,0	0,8	0,73
Výtopna Maloměřice - T102	119,2	120,0	0,8	0,73

Tab. 7-22 Vliv na napětí, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto:

Napětí [kV]	Zetor připojen na Sokolnici			
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl napětí	Procentuální rozdíl napětí [%]
Brno Černovice	118,1	119,6	1,5	1,36
Brno Příkop	117,9	119,0	1,1	1,00
Teplárna Brno	117,9	119,1	1,2	1,09
Brno Bohunice	118,5	118,5	0,0	0,00
Červený mlýn	119,2	119,2	0,0	0,00
Husovice - SBA	119,1	119,1	0,0	0,00
Husovice - SBB	118,0	119,1	1,1	1,00
Královopolská	119,1	119,1	0,0	0,00
Komárov - SBA	118,1	119,3	1,2	1,09
Komárov - SBB	118,8	118,8	0,0	0,00
Líšeň - SBA	118,9	118,9	0,0	0,00
Líšeň - SBB	118,1	119,8	1,7	1,55
Medlánky	119,0	119,0	0,0	0,00
Cementárna Mokrá	118,0	119,0	1,0	0,91
Slavkov u Brna	118,3	119,4	1,1	1,00
Zbrojovka Brno	117,9	119,1	1,2	1,09
Zetor	118,1	119,9	1,8	1,64
Sokolnice - SBA	120,0	120,0	0,0	0,00
Sokolnice - SBB	118,7	119,4	0,7	0,64
Sokolnice - SBC	120,0	120,0	0,0	0,00
Modřice dráhy	118,5	119,3	0,8	0,73
Čebín - SBA	117,6	117,6	0,0	0,00
Čebín - SBB	118,3	118,3	0,0	0,00
Výtopna Maloměřice - T101	119,3	119,3	0	0,00
Výtopna Maloměřice - T102	119,3	119,3	0	0,00

Tab. 7-23 Celkové ztráty, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto:

Zetor připojen na Čebín			
Celkové ztráty	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl ztrát
P [MW]	16,670	17,870	1,200
Q [MVAr]	15,553	11,371	-4,182

Tab. 7-24 Celkové ztráty, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto:

Zetor připojen na Sokolnici			
Celkové ztráty	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl ztrát
P [MW]	16,674	16,857	0,183
Q [MVAr]	15,475	15,331	-0,144

Tab. 7-25 Ztráty činného výkonu na jednotlivých vedeních v oblasti Brno, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto:

Ztráty *P* [MW]	Zetor připojen na Čebín		
Vedení	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl ztrát
5545	0,001	0,001	0,000
5544	0,016	0,127	0,111
5560	0,000	0,022	0,022
5559	0,000	0,022	0,022
5561	-0,004	-0,004	0,000
539	0,028	0,720	0,692
537	0,002	0,002	0,000
528	0,000	0,000	0,000
538	0,047	0,047	0,000
5541	0,000	0,000	0,000
5542	0,000	0,000	0,000
513	0,016	0,016	0,000
510	0,016	0,016	0,000
5051	0,008	0,008	0,000
5543	0,000	0,000	0,000
515	0,016	0,016	0,000
5549	0,027	0,027	0,000
5556	0,042	0,104	0,062
5557	0,015	0,006	-0,009
514	0,053	0,053	0,000
5554	0,001	0,063	0,062
5055	0,061	0,060	-0,001
5553	0,077	0,186	0,109
521	0,133	0,500	0,367
522	0,075	0,287	0,212
5532	0,000	0,000	0,000
5531	0,000	0,000	0,000
5548	0,056	0,055	-0,001
5547	0,056	0,055	-0,001
518	0,315	0,315	0,000
536	0,075	0,075	0,000
517	0,057	0,057	0,000
5534	0,068	0,068	0,000
5533	0,038	0,038	0,000
5537	0,004	0,004	0,000
526	0,028	0,028	0,000
5597	0,045	0,045	0,000
505	0,050	0,050	0,000
506	0,050	0,050	0,000
507	0,005	0,005	0,000
508	0,005	0,005	0,000
523	0,044	0,044	0,000
524	0,044	0,044	0,000
511	0,001	0,001	0,000
512	0,001	0,001	0,000
530	0,077	0,077	0,000
531	0,184	0,184	0,000

Tab. 7-26 Ztráty jalového výkonu na jednotlivých vedeních v oblasti Brno, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto:

Ztráty *Q* [MW]	Zetor připojen na Čebín		
Vedení	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl ztrát
5545	0,168	0,168	0,000
5544	0,270	-0,209	-0,479
5560	0,051	-0,020	-0,071
5559	0,051	-0,020	-0,071
5561	0,039	0,039	0,000
539	0,166	0,057	-0,109
537	0,076	0,076	0,000
528	0,579	0,579	0,000
538	0,911	0,911	0,000
5541	0,173	0,173	0,000
5542	0,102	0,102	0,000
513	0,122	0,122	0,000
510	0,122	0,122	0,000
5051	1,875	1,875	0,000
5543	0,208	0,208	0,000
515	0,238	0,238	0,000
5549	0,235	0,235	0,000
5556	0,187	-0,086	-0,273
5557	0,933	0,985	0,052
514	0,070	0,070	0,000
5554	1,499	1,194	-0,305
5055	4,439	4,482	0,043
5553	0,411	-0,231	-0,642
521	0,299	-0,889	-1,188
522	0,173	-0,514	-0,687
5532	0,102	0,102	0,000
5531	0,102	0,102	0,000
5548	-0,084	-0,082	0,002
5547	-0,084	-0,082	0,002
518	0,411	0,411	0,000
536	2,295	2,295	0,000
517	0,164	0,164	0,000
5534	1,416	1,416	0,000
5533	0,633	0,632	-0,001
5537	1,111	1,111	0,000
526	1,432	1,432	0,000
5597	0,961	0,961	0,000
505	1,015	1,014	-0,001
506	1,014	1,014	0,000
507	1,139	1,139	0,000
508	1,139	1,139	0,000
523	0,488	0,488	0,000
524	0,488	0,488	0,000
511	1,103	1,103	0,000
512	1,080	1,080	0,000
530	0,790	0,790	0,000
531	1,469	1,469	0,000

Tab. 7-27 Ztráty činného výkonu na jednotlivých vedeních v oblasti Brno, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto:

Ztráty *P* [MW]	Zetor připojen na Sokolnici		
Vedení	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl ztrát
5545	0,001	0,076	0,075
5544	0,017	0,017	0,000
5560	0,000	0,022	0,022
5559	0,000	0,022	0,022
5561	-0,004	0,004	0,008
539	0,026	0,026	0,000
537	0,002	0,001	-0,001
528	0,000	0,005	0,005
538	0,048	0,013	-0,035
5541	0,000	0,001	0,001
5542	0,000	0,002	0,002
513	0,015	0,020	0,005
510	0,015	0,020	0,005
5051	0,002	0,004	0,002
5543	0,000	0,121	0,121
515	0,016	0,001	-0,015
5549	0,028	0,003	-0,025
5556	0,043	0,043	0,000
5557	0,014	0,014	0,000
514	0,055	0,004	-0,051
5554	0,002	0,002	0,000
5055	0,060	0,060	0,000
5553	0,079	0,079	0,000
521	0,138	0,138	0,000
522	0,078	0,078	0,000
5532	0,000	0,000	0,000
5531	0,000	0,000	0,000
5548	0,056	0,056	0,000
5547	0,056	0,056	0,000
518	0,316	0,312	-0,004
536	0,075	0,075	0,000
517	0,057	0,057	0,000
5534	0,068	0,068	0,000
5533	0,038	0,038	0,000
5537	0,004	0,004	0,000
526	0,028	0,028	0,000
5597	0,045	0,045	0,000
505	0,050	0,050	0,000
506	0,050	0,050	0,000
507	0,005	0,005	0,000
508	0,005	0,005	0,000
523	0,044	0,044	0,000
524	0,044	0,044	0,000
511	0,001	0,001	0,000
512	0,001	0,001	0,000
530	0,077	0,077	0,000
531	0,184	0,184	0,000

Tab. 7-28 Ztráty jalového výkonu na jednotlivých vedeních v oblasti Brno, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto:

Ztráty *Q* [MW]	Zetor připojen na Sokolnici		
Vedení	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl ztrát
5545	0,168	-0,160	-0,328
5544	0,267	0,268	0,001
5560	0,049	-0,021	-0,070
5559	0,049	-0,021	-0,070
5561	0,016	0,008	-0,008
539	0,173	0,173	0,000
537	0,074	0,082	0,008
528	0,578	0,576	-0,002
538	0,907	1,013	0,106
5541	0,174	0,175	0,001
5542	0,103	0,100	-0,003
513	0,123	0,112	-0,011
510	0,123	0,112	-0,011
5051	1,879	1,914	0,035
5543	0,207	-0,326	-0,533
515	0,233	0,326	0,093
5549	0,231	0,302	0,071
5556	0,185	0,184	-0,001
5557	0,938	0,938	0,000
514	0,056	0,357	0,301
5554	1,499	1,499	0,000
5055	4,449	4,453	0,004
5553	0,403	0,403	0,000
521	0,286	0,286	0,000
522	0,166	0,166	0,000
5532	0,100	0,102	0,002
5531	0,100	0,102	0,002
5548	-0,085	-0,084	0,001
5547	-0,085	-0,084	0,001
518	0,408	0,434	0,026
536	2,295	2,295	0,000
517	0,164	0,164	0,000
5534	1,416	1,416	0,000
5533	0,632	0,632	0,000
5537	1,111	1,111	0,000
526	1,432	1,432	0,000
5597	0,961	0,961	0,000
505	1,014	1,014	0,000
506	1,014	1,014	0,000
507	1,139	1,139	0,000
508	1,139	1,139	0,000
523	0,488	0,487	-0,001
524	0,488	0,487	-0,001
511	1,103	1,103	0,000
512	1,079	1,092	0,013
530	0,790	0,790	0,000
531	1,469	1,469	0,000

Tab. 7-29 Vliv na zatížení, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto:

Zatížení *P* [MW]	Zetor připojen na Čebín			
Vedení	Maximální zatížitelnost vedení	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl zatížení
5545	120	16,8	16,8	0,0
5544	95	22,1	57,4	35,3
5560	65	10,5	39,6	29,1
5559	65	0,0	39,6	39,6
5561	80	7,2	7,2	0,0
539	80	32,7	21,7	-11,0
537	80	23,7	23,7	0,0
528	80	5,0	5,0	0,0
538	80	14,9	14,9	0,0
5541	80	5,0	5,0	0,0
5542	80	4,3	4,3	0,0
513	80	16,8	16,8	0,0
510	80	16,8	16,8	0,0
5051	80	23,9	23,9	0,0
5543	120	8,8	8,8	0,0
515	130	31,0	31,0	0,0
5549	130	26,9	26,9	0,0
5556	120	35,2	52,8	17,6
5557	120	13,1	4,6	-8,5
514	140	53,2	53,2	0,0
5554	120	11,2	6,2	-5,0
5055	110	64,8	64,8	0,0
5553	140	11,4	29,2	17,8
521	95	14,8	41,5	26,7
522	95	14,3	41,4	27,1
5532	80	0,0	0,0	0,0
5531	80	0,0	0,0	0,0
5548	35	51,6	51,6	0,0
5547	35	51,1	51,1	0,0
518	80	34,7	34,7	0,0
536	80	7,9	7,9	0,0
517	140	12,9	12,9	0,0
5534	95	10,9	10,9	0,0
5533	95	13,4	13,4	0,0
5537	95	3,3	3,3	0,0
526	95	7,2	7,2	0,0
5597	95	10,8	10,8	0,0
505	80	10,7	10,7	0,0
506	80	10,7	10,7	0,0
507	80	2,9	2,9	0,0
508	80	2,9	2,9	0,0
523	80	14,9	14,9	0,0
524	80	14,9	14,9	0,0
511	80	3,1	3,1	0,0
512	80	1,6	1,6	0,0
530	80	13,0	13,0	0,0
531	80	12,0	12,0	0,0

Tab. 7-30 Vliv na zatížení, je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto:

Zatížení *P* [MW]	Zetor připojen na Sokolnici			
Vedení	Maximální zatížitelnost vedení	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl zatížení
5545	120	24,7	43,0	18,3
5544	95	26,2	26,2	0,0
5560	65	10,5	39,6	29,1
5559	65	0,0	39,6	39,6
5561	80	9,8	12,2	2,4
539	80	26,3	26,2	-0,1
537	80	26,3	4,3	-22,0
528	80	5,7	0,6	-5,1
538	80	15,7	9,3	-6,4
5541	80	5,7	0,6	-5,1
5542	80	5,0	1,3	-3,7
513	80	16,5	19,6	3,1
510	80	16,5	19,6	3,1
5051	80	23,9	23,9	0,0
5543	120	16,7	50,9	34,2
515	130	33,5	12,1	-21,4
5549	130	29,4	8,1	-21,3
5556	120	37,3	37,3	0,0
5557	120	11,1	11,1	0,0
514	140	57,9	17,8	-40,1
5554	120	9,2	9,2	0,0
5055	110	64,8	64,8	0,0
5553	140	13,5	13,5	0,0
521	95	17,9	17,9	0,0
522	95	17,5	17,5	0,0
5532	80	0,0	0,0	0,0
5531	80	0,0	0,0	0,0
5548	35	51,6	51,6	0,0
5547	35	51,1	51,1	0,0
518	80	34,7	34,7	0,0
536	80	7,9	7,9	0,0
517	140	12,9	12,9	0,0
5534	95	10,9	10,9	0,0
5533	95	13,4	13,4	0,0
5537	95	3,3	3,3	0,0
526	95	7,2	7,2	0,0
5597	95	10,8	10,8	0,0
505	80	10,7	10,7	0,0
506	80	10,7	10,7	0,0
507	80	2,9	2,9	0,0
508	80	2,9	2,9	0,0
523	80	14,9	14,9	0,0
524	80	14,9	14,9	0,0
511	80	3,1	3,1	0,0
512	80	1,6	1,6	0,0
530	80	13,0	13,0	0,0
531	80	12,0	12,0	0,0

Tab. 7-31 Vliv na jednofázové zkraty (S''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto:

S''_k [MVA]	Zetor připojen na Čebín			
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl S''_k	Zkratová odolnost rozvodny
Brno Černovice	2057,9	2058,3	0,4	3500
Brno Příkop	2689,5	2690,2	0,7	5000
Teplárna Brno	2833,1	2833,9	0,8	5000
Brno Bohunice	1518,8	1659,5	140,7	3500
Červený mlýn	1794,0	1879,5	85,5	3500
Husovice - SBA	2429,8	2788,7	358,9	3500
Husovice - SBB	1637,4	1637,6	0,2	3500
Královopolská	2124,2	2393,3	269,1	3500
Komárov - SBA	2811,4	2812,2	0,8	3500
Komárov - SBB	1731,0	2006,1	275,1	3500
Líšeň - SBA	1819,9	2423,7	603,8	3500
Líšeň - SBB	1717,7	1718,0	0,3	3500
Medlánky	1937,6	2049,2	111,6	3500
Cementárna Mokrá	1092,7	1092,8	0,1	3500
Slavkov u Brna	1287,4	1287,5	0,1	3500
Zbrojovka Brno	2195,2	2195,7	0,5	2500
Zetor	1720,9	2354,0	633,1	3500
Sokolnice - SBA	3192,8	3193,0	0,2	5000
Sokolnice - SBB	3046,0	3047,0	1,0	5000
Sokolnice - SBC	3192,8	3193,0	0,2	5000
Modřice dráhy	2095,3	2095,8	0,5	3500
Čebín - SBA	2969,0	2972,1	3,1	5000
Čebín - SBB	2910,5	3123,0	212,5	5000
Výtopna Maloměřice - T101	2065,4	2293,8	228,4	2500
Výtopna Maloměřice - T102	2065,4	2293,8	228,4	2500

Tab. 7-32 Vliv na jednofázové zkraty (I''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto:

I''_k [kA]	Zetor připojen na Čebín		
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl I''_k
Brno Černovice	10,790	10,810	0,020
Brno Příkop	14,110	14,120	0,010
Teplárna Brno	14,880	14,880	0,000
Brno Bohunice	7,970	8,720	0,750
Červený mlýn	9,430	9,880	0,450
Husovice - SBA	12,770	14,640	1,870
Husovice - SBB	8,600	8,600	0,000
Královopolská	11,140	12,560	1,420
Komárov - SBA	14,790	14,790	0,000
Komárov - SBB	9,080	10,530	1,450
Líšeň - SBA	9,560	12,740	3,180
Líšeň - SBB	9,030	9,030	0,000
Medlánky	10,190	10,770	0,580
Cementárna Mokrá	5,740	5,740	0,000
Slavkov u Brna	6,760	6,760	0,000
Zbrojovka Brno	11,520	11,520	0,000
Zetor	9,040	12,360	3,320
Sokolnice - SBA	16,760	16,760	0,000
Sokolnice - SBB	16,000	16,010	0,010
Sokolnice - SBC	16,760	16,770	0,010
Modřice dráhy	11,020	11,020	0,000
Čebín - SBA	15,600	15,620	0,020
Čebín - SBB	15,300	16,410	1,110
Výtopna Maloměřice - T101	10,850	12,050	1,200
Výtopna Maloměřice - T102	10,850	12,050	1,200

Tab. 7-33 Vliv na jednofázové zkraty (S''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto:

S''_k [MVA]	Zetor připojen na Sokolnici			
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl S''_k	Zkratová odolnost rozvodny
Brno Černovice	2057,9	2485,7	427,8	3500
Brno Příkop	2689,5	2992,4	302,9	5000
Teplárna Brno	2833,1	3171,7	338,6	5000
Brno Bohunice	1518,8	1519,1	0,3	3500
Červený mlýn	1794,0	1794,3	0,3	3500
Husovice - SBA	2429,8	2430,3	0,5	3500
Husovice - SBB	1637,4	1737,7	100,3	3500
Královopolská	2124,2	2124,7	0,5	3500
Komárov - SBA	2811,4	3190,6	379,2	3500
Komárov - SBB	1731,0	1731,3	0,3	3500
Líšeň - SBA	1819,9	1820,3	0,4	3500
Líšeň - SBB	1717,7	2291,2	573,5	3500
Medlánky	1937,6	1937,9	0,3	3500
Cementárna Mokrá	1092,7	1130,5	37,8	3500
Slavkov u Brna	1287,4	1392,4	105,0	3500
Zbrojovka Brno	2195,2	2388,1	192,9	2500
Zetor	1720,9	2229,5	508,6	3500
Sokolnice - SBA	3192,8	3193,5	0,7	5000
Sokolnice - SBB	3046,0	3292,5	246,5	5000
Sokolnice - SBC	3192,8	3193,5	0,7	5000
Modřice dráhy	2095,3	2249,8	154,5	3500
Čebín - SBA	2969,0	2970,4	1,4	5000
Čebín - SBB	2910,5	2911,6	1,1	5000
Výtopna Maloměřice - T101	2065,4	2065,8	0,4	2500
Výtopna Maloměřice - T102	2065,4	2065,8	0,4	2500

Tab. 7-34 Vliv na jednofázové zkraty (I''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto:

I''_k [kA]	Zetor připojen na Sokolnici		
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl I''_k
Brno Černovice	10,790	13,050	2,260
Brno Příkop	14,110	15,710	1,600
Teplárna Brno	14,880	16,650	1,770
Brno Bohunice	7,970	7,970	0,000
Červený mlýn	9,430	9,430	0,000
Husovice - SBA	12,770	12,770	0,000
Husovice - SBB	8,600	9,130	0,530
Královopolská	11,140	11,160	0,020
Komárov - SBA	14,790	16,770	1,980
Komárov - SBB	9,080	9,090	0,010
Líšeň - SBA	9,560	9,560	0,000
Líšeň - SBB	9,030	12,040	3,010
Medlánky	10,190	10,190	0,000
Cementárna Mokrá	5,740	5,930	0,190
Slavkov u Brna	6,760	7,310	0,550
Zbrojovka Brno	11,520	12,540	1,020
Zetor	9,040	11,720	2,680
Sokolnice - SBA	16,760	16,760	0,000
Sokolnice - SBB	16,000	17,320	1,320
Sokolnice - SBC	16,760	16,770	0,010
Modřice dráhy	11,020	11,820	0,800
Čebín - SBA	15,600	15,610	0,010
Čebín - SBB	15,300	15,310	0,010
Výtopna Maloměřice - T101	10,850	10,860	0,010
Výtopna Maloměřice - T102	10,850	10,860	0,010

Tab. 7-35 Vliv na trojfázové zkraty (S''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto:

S''_k [MVA]	Zetor připojen na Čebín			
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl S''_k	Zkratová odolnost rozvodny
Brno Černovice	1861,6	1862,2	0,6	3500
Brno Příkop	1961,5	1962,1	0,6	5000
Teplárna Brno	2038,0	2038,6	0,6	5000
Brno Bohunice	1570,8	1732,0	161,2	3500
Červený mlýn	1817,7	1940,1	122,4	3500
Husovice - SBA	2174,1	2483,8	309,7	3500
Husovice - SBB	1593,1	1593,5	0,4	3500
Královopolská	2005,4	2265,9	260,5	3500
Komárov - SBA	2233,7	2234,5	0,8	3500
Komárov - SBB	1808,7	2066,1	257,4	3500
Líšeň - SBA	1862,1	2252,8	390,7	3500
Líšeň - SBB	1676,0	1676,4	0,4	3500
Medlánky	1894,7	2033,5	138,8	3500
Cementárna Mokrá	1342,9	1343,2	0,3	3500
Slavkov u Brna	1527,2	1527,5	0,3	3500
Zbrojovka Brno	1830,5	1831,0	0,5	2500
Zetor	1793,4	2187,1	393,7	3500
Sokolnice - SBA	3636,2	3636,5	0,3	5000
Sokolnice - SBB	3074,4	3075,8	1,4	5000
Sokolnice - SBC	3636,2	3636,5	0,3	5000
Modřice dráhy	2118,3	2119,0	0,7	3500
Čebín - SBA	2687,2	2690,9	3,7	5000
Čebín - SBB	2992,5	3272,6	280,1	5000
Výtopna Maloměřice - T101	1933,1	2164,5	231,4	2500
Výtopna Maloměřice - T102	1933,1	2164,5	231,4	2500

Tab. 7-36 Vliv na trojfázové zkraty (I''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Čebín - léto:

I''_k [kA]	Zetor připojen na Čebín		
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl I''_k
Brno Černovice	9,771	9,774	0,003
Brno Příkop	10,295	10,298	0,003
Teplárna Brno	10,697	10,700	0,003
Brno Bohunice	8,245	9,091	0,846
Červený mlýn	9,541	10,183	0,642
Husovice - SBA	11,411	13,037	1,626
Husovice - SBB	8,362	8,364	0,002
Královopolská	10,526	11,893	1,367
Komárov - SBA	11,724	11,728	0,004
Komárov - SBB	9,493	10,844	1,351
Líšeň - SBA	9,774	11,824	2,050
Líšeň - SBB	8,797	8,799	0,002
Medlánky	9,945	10,673	0,728
Cementárna Mokrá	7,048	7,050	0,002
Slavkov u Brna	8,016	8,017	0,001
Zbrojovka Brno	9,608	9,610	0,002
Zetor	9,413	11,479	2,066
Sokolnice - SBA	19,085	19,087	0,002
Sokolnice - SBB	16,136	16,144	0,008
Sokolnice - SBC	19,085	19,087	0,002
Modřice dráhy	11,118	11,122	0,004
Čebín - SBA	14,104	14,123	0,019
Čebín - SBB	15,706	17,177	1,471
Výtopna Maloměřice - T101	10,146	11,361	1,215
Výtopna Maloměřice - T102	10,146	11,361	1,215

Tab. 7-37 Vliv na trojfázové zkraty (S''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto:

S''_k [MVA]	Zetor připojen na Sokolnici			
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl S''_k	Zkratová odolnost rozvodny
Brno Černovice	1861,6	2214,4	352,8	3500
Brno Příkop	1961,5	2202,6	241,1	5000
Teplárna Brno	2038,0	2299,6	261,6	5000
Brno Bohunice	1570,8	1571,2	0,4	3500
Červený mlýn	1817,7	1818,2	0,5	3500
Husovice - SBA	2174,1	2174,7	0,6	3500
Husovice - SBB	1593,1	1737,2	144,1	3500
Královopolská	2005,4	2006,0	0,6	3500
Komárov - SBA	2233,7	2564,9	331,2	3500
Komárov - SBB	1808,7	1809,2	0,5	3500
Líšeň - SBA	1862,1	1862,6	0,5	3500
Líšeň - SBB	1676,0	2066,8	390,8	3500
Medlánky	1894,7	1895,2	0,5	3500
Cementárna Mokrá	1342,9	1427,8	84,9	3500
Slavkov u Brna	1527,2	1686,8	159,6	3500
Zbrojovka Brno	1830,5	2033,2	202,7	2500
Zetor	1793,4	2013,9	220,5	3500
Sokolnice - SBA	3636,2	3637,4	1,2	5000
Sokolnice - SBB	3074,4	3418,2	343,8	5000
Sokolnice - SBC	3636,2	3637,4	1,2	5000
Modřice dráhy	2118,3	2338,2	219,9	3500
Čebín - SBA	2687,2	2688,8	1,6	5000
Čebín - SBB	2992,5	2994,1	1,6	5000
Výtopna Maloměřice - T101	1933,1	1933,6	0,5	2500
Výtopna Maloměřice - T102	1933,1	1933,6	0,5	2500

Tab. 7-38 Vliv na trojfázové zkraty (I''_k), je-li rozvodna Zetor připojena do okruhu Sokolnice - léto:

I''_k [kA]	Zetor připojen na Sokolnici		
Rozvodna	Bez nového zdroje	S novým zdrojem	Rozdíl I''_k
Brno Černovice	9,771	11,623	1,852
Brno Příkop	10,295	11,561	1,266
Teplárna Brno	10,697	12,070	1,373
Brno Bohunice	8,245	8,247	0,002
Červený mlýn	9,541	9,543	0,002
Husovice - SBA	11,411	11,414	0,003
Husovice - SBB	8,362	9,118	0,756
Královopolská	10,526	10,529	0,003
Komárov - SBA	11,724	13,462	1,738
Komárov - SBB	9,493	9,496	0,003
Líšeň - SBA	9,774	9,776	0,002
Líšeň - SBB	8,797	10,848	2,051
Medlánky	9,945	9,947	0,002
Cementárna Mokrá	7,048	7,494	0,446
Slavkov u Brna	8,016	8,853	0,837
Zbrojovka Brno	9,608	10,671	1,063
Zetor	9,413	10,570	1,157
Sokolnice - SBA	19,085	19,092	0,007
Sokolnice - SBB	16,136	17,941	1,805
Sokolnice - SBC	19,085	19,092	0,007
Modřice dráhy	11,118	12,273	1,155
Čebín - SBA	14,104	14,113	0,009
Čebín - SBB	15,706	15,715	0,009
Čebín - SBC	9,771	11,623	1,852
Výtopna Maloměřice - T101	10,146	10,149	0,003
Výtopna Maloměřice - T102	10,146	10,149	0,003

8 Závěr

Používání elektrických spotřebičů je dnes natolik rozšířené, že je každý člověk závislý na dodávkách elektrické energie. Tento fakt klade na elektrizační soustavu a její provozování velké požadavky. Je nutné dodávat ke spotřebiteli dostatečný výkon a také zajistit co nejvyšší kvalitu elektrické energie z důvodu citlivosti spotřebičů na výchylky od jmenovitých hodnot parametrů elektrické energie. Z toho je zřejmé, jak moc je důležité řízení výroby i transportu. Významnou roli hraje i promyšlené plánování rozšiřování elektrizační soustavy a dodržování pravidel pro připojování nových zdrojů do sítě tak, aby nedocházelo ke zhoršení kvality elektrické energie nebo dokonce k poruchám spotřebičů.

V praktické části této práce byly provedeny výpočty pro zjištění vlivů na napětí, na ztráty na vedení, na zatížení vedení a na zkratové poměry v síti, způsobené připojením nového zdroje o instalovaném výkonu 90 MW do sítě 110 kV přes rozvodnu Zetor Brno. Výpočty byly provedeny v programu SINAUT Spectrum 4.4.

Pokud se zaměříme na změnu napětí, zjistíme, že tato změna vyhovuje podmínkám pro připojení nového zdroje do distribuční soustavy jak v případě zapojení do okruhu na rozvodnu Čebín, tak na rozvodu Sokolnice, a to při výpočtech s hodnotami v zimním i letním období. Konkrétně tedy v zimním období a při připojení nového zdroje do okruhu na rozvodnu Čebín činí největší změna napětí 0,82 % jmenovitého napětí, a to v rozvodně Zetor. Při zapojení zdroje do okruhu na rozvodnu Sokolnice dosahuje změna napětí 1,36 % jmenovitého napětí, a to opět v rozvodně Zetor. Při celkovém pohledu na tyto výsledky je zřejmé, že v důsledku prvního způsobu zapojení vznikají menší změny napětí než v druhém případě. V letním období poté činí maximální změny napětí 1,27 % jmenovitého napětí v rozvodně Zetor a při zapojení zdroje do okruhu Čebín. V druhém případě zapojení pak 1,64 % jmenovitého napětí opět v rozvodně Zetor. Při celkovém pohledu na výsledky opět vidíme, že první způsob zapojení způsobuje menší změny napětí než druhý způsob zapojení.

Při zpracování výpočtů ztrát na vedení je vidět, že tyto ztráty jsou menší při zapojování zdroje na okruh Sokolnice. Když je zdroj na okruhu Čebín v letním období, rostou ztráty na linkách 521, 522, 5545, 5556, 5553. Je-li zapojen na Sokolnice, zvýší se ztráty na linkách 5543, 5559, 5560, 5545. V zimě se zdrojem zapojeným na Čebín jsou větší ztráty na linkách 5544, 5553, 539, 521, 522. A se zdrojem v okruhu Sokolnice vzrostou ztráty na vedení 5545, 5543, 5559, 5560.

Pokud pozorujeme vliv na zatížení vedení, vidíme, že při zapojení nového zdroje do okruhu na rozvodnu Čebín dochází ke zvýšení zatížení vedení 5559, 5560, 5544, 5543, 5556, 5553, 522, 521 a naopak ke snížení zatížení na vedení 539, 5557 a 5554. Pokud je zapojen nový zdroj do okruhu na rozvodnu Sokolnice, zvýší se zatížení vedení 5559, 5560, 5561, 5545, 5543, 510, 513 a sníží se zatížení vedení 514, 515, 5549, 537, 538, 528, 5542, 5541. K překročení maximálního povoleného zatížení dochází na vedení 5547 a 5548, avšak důvodem přetížení není připojení nového zdroje. Tyto linky jsou stejně zatíženy i bez tohoto zdroje. Příčinou je předpoklad dodávky maximálního možného výkonu z Výtopny Maloměřice. Ale protože tento zdroj v běžném provozu nepracuje na maximální

výkon, jsou na linkách 5547 a 5548 instalovány měřící transformátory, které je možné zatížit maximálně výkonem 35 MW. Pokud by tedy Výtopna Maloměřice měla pracovat na své instalovaném výkonu 103,5 MW, musí se tyto měřící transformátory vyměnit. Vodiče jsou dimenzovány dostatečně, jejich výměna není nutná.

Při porovnání vlivu na zkratové poměry v síti je vidět, že zkratová odolnost rozvoden není v žádném případě překročena. Rázový zkratový výkon výrazněji vzrostl při zapojení zdroje na okruh rozvodny Čebín na rozvodnách Brno Bohunice, Červený mlýn, Husovice, Královopolská, Komárov, Líšeň, Medlánky, Zetor, Čebín, Výtopna Maloměřice. A to jak v zimním, tak i v letním období. V případě zapojení zdroje na okruh Sokolnice výrazněji vzrostl v letním i zimním období tento zkratový výkon na rozvodnách Brno Černovice, Brno Příkop, Teplárna Brno, Komárov, Líšeň, Slavkov u Brna, Zbrojovka Brno, Zetor, Modřice dráhy. Obdobně se ve všech případech měnil i rázový zkratový proud.

Při pohledu na síť 110 kV v oblasti Brna je vidět, že se jedná o poměrně hustou síť s dosti rozloženou spotřebou elektrické energie a s krátkými vzdálenostmi mezi jednotlivými místy odběru. Z toho je zřejmé, že nový zdroj elektrické energie je umístěný velmi blízko místu spotřeby. Výkony se nepřenáší na velké vzdálenosti, a proto nezpůsobuje připojení tohoto zdroje žádné výrazné potíže na této síti. Pokud všechny výsledky výpočtů shrneme, můžeme říci, že pro připojení nového zdroje není potřeba provádět žádné úpravy sítě. Jako mírně výhodnější se jeví zapojení tohoto zdroje do okruhu na rozvodnu Sokolnice, a to především z důvodu menších ztrát na vedení, avšak za cenu většího vlivu na napětí. Je tedy důležité rozhodnout, jestli je pro distribuční společnost důležitější udržet nižší změny napětí nebo nižší ztráty na vedení.

Použitá literatura

[1] BLAŽEK, V., SKALKA, P. *Distribuce elektrické energie*. Brno, 140 stran.

[2] HALUZÍK, E. *Řízení provozu elektrizačních soustav*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1984, 125 stran. ISBN 4-0873.116

[3] HANZELKA, Z., BIEN, A. *Kvalita elektrické energie*. Krakow, 2006, 19 stran.

[4] HANZELKA, Z., BIEN, A. *Poruchy napětí*. Krakow, 2005, 11 stran.

[5] KOLCUN, P., CHLADNÝ, V., VARGA, L. *Počítačová analýza elektrizačnej sústavy*. Košice, 2006, 305 stran. ISBN 80-8073-453-4

[6] PROVOZOVATELÉ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV. *Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy*. Energetický regulační úřad, 2009, 52 stran.

[7] PROVOZOVATELÉ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV. *Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy – Změna 01/2010*. Energetický regulační úřad, 2010, 9 stran.

[8] PROVOZOVATELÉ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV. *Výpočetní hodnocení zpětných vlivů odběratelů a zdrojů distribučních soustav*. Energetický regulační úřad, 2003, 39 stran.

[9] MACHÁČ, P. *Posouzení možnosti připojení nového zdroje z hlediska napěťových poměrů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009, 81 stran.