



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Doprava

Ministerstvo dopravy  
Státní fond dopravní  
infrastruktury



			ČÍSLO SOUPRAVY:
1	11/2018	Náhrada balancérů statickými měniči	
REVIZE Č.	DATUM	ZMĚNA	



**SUDOP BRNO, spol. s r.o.**  
Kounilcova 26  
611 36 Brno

OBJEDNAVATEL:		SŽDC, s.o., Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1 Stavební správa východ (organizační jednotka)		tel. : +420 972 625 804 E-mail: sudop@sudop-brno.cz	
PROFESNÍ SKUPINA:	24 SILNOPROUD	VEDOUcí PROF. SKUPINY ING. JAN ZÁŘECKÝ <i>Galuch</i>		GENERÁLNÍ ŘEDITEL Ing. Kamil Chmela	
ODPOVĚDNÝ PROJ. ZAKÁZKY Ing. Radoslav Molák v.r.		ODPOVĚDNÝ PROJ. PS, SO ING. VÍTĚZSLAV ŠIMÁČEK <i>Šimáček</i>		NAVRHL, VYPRACOVAL PETR KUDĚLKA	
KRAJ: Olomoucký, Zlínský		POVĚŘENÝ OÚ: Otrokovice		KONTROLOVAL ING. JAN ZÁŘECKÝ <i>Galuch</i>	
<div>Změna trakční soustavy na AČ 25 kV, 50 Hz v úseku Nedakonice - Říkovice D.3.3,5,6 Silnoproudá technologie TNS, stanic VN/NN a stanic 6kV</div> <div>Zemní spojení v soustavě LDSŽ 22kV</div>				STUPEŇ: DÚR	
				ZAK. ČÍSLO 18059-01-1218	ARCH. ČÍSLO 2018240035
				MĚŘÍTKO	POČET FORMÁTŮ
				DATUM: 11/2018	
				ČÁST DOKUM. D.3.3,5,6	PŘÍLOHA 19

## 1. Úvod

Tento dokument se zabývá problematikou způsobu uzemnění lokální distribuční sítě 22 kV (LDS 22kV). Síť LDS 22kV je řešena pro přípravnou dokumentaci stavby: „Modernizace a elektrizace trati Otrokovice – Vizovice.“

Předmětem tohoto dokumentu je:

- Návrh způsobu uzemnění uzlu vn sítě 22 kV
- Návrh parametrů odporníku pro síť 22kV s odporovým uzemněním uzlu zdroje – transformátoru
- Výpočet dotykových napětí při zemním spojení – stanovení požadovaného odporu uzemnění
- Návrh ochrany a ochranných funkcí LDS 22 kV
- Výpočet zkratových poměrů (z obou stran napájení)

LDS 22kV na této trati je navrhována použita na elektrizované trati s jednofázovou trakční soustavou 25kV AC. Vzhledem k požadovanému uložení kabelu 22 kV na trakčních podpěrách je trakční síť 25kV rozhodující a má vliv na návrh řešení. Proto nelze zde uváděné výsledky přímo aplikovat na LDS 22kV instalovanou na elektrizované trati s jinou trakční sítí.

### 1. Návrh způsobu uzemnění uzlu vn sítě 22 kV

Účelem této kapitoly je návrh vhodného způsobu uzemnění uzlu sítě 22 kV. Obecně existují tři základní způsoby uzemnění uzlu v sítích vysokého napětí:

- Izolovaná síť s izolovaným (neuzemněným) uzlem zdroje
- Kompenzovaná síť s uzemněním uzlu zdroje přes zhášecí tlumivku
- Odporově uzemněná síť s uzemněním uzlu zdroje přes odporník

V případě navrhované sítě není izolovaná síť vhodná. Zemní proud při zemním spojení vyvolaný kapacitním proudem je příliš velký. Takže provoz sítě se zemním spojením není možný a není povolen dle platných technických norem. Jedinou možností by bylo rychlé vypnutí sítě v případě zemního spojení. Toto však není výhodné z důvodů vypnutí celé sítě v případě poruchy a náročného následného vyhledávání poruchy pomocí vymezení zemního spojení.

Kompenzovaná síť je výhodná tím, že je možné provozovat síť se zemním spojením po určitou dobu. Zemní proud způsobený kapacitním proudem je kompenzován indukčností kompenzační tlumivky zapojené v uzlu transformátoru. Vyhledávání poruch se nejčastěji provádí pomocí zemních směrových ochran. V případě uvažované sítě LDS 22 kV tvořené kabelovým rozvodem 22 kV se závěsným kabelem 22 kV zavěšeným na trakčních podpěrách není použití kompenzované sítě vhodné. Důvodem je, že nemůžeme využít výhody provozování kabelové sítě 22 kV se zemním spojením. Je zde nebezpečí, že dojde ke změně jednofázové zemní poruchy na dvoufázovou poruchu – zkrat na kabelu a poškození kabelu 22 kV. Dalším důvodem je nemožnost zajistit povolenou hodnotu dotykového napětí na neživých částech trakčních podpěr ukolejňených přes průrazku při časech delších časech poruchy, kdy je povolené dotykové napětí 60 V (dle ČSN EN 50 122-1 ed. 2 pro časy > 300s). Z těchto důvodů se využití kompenzované sítě nejeví jako výhodné, a to i z důvodů vyšších pořizovacích nákladů spojených s pořízením kompenzační tlumivky a jejího příslušenství (automatika ladění tlumivky, odporník pro připínání pro vyhledávání poruch).

V odporově uzemněné síti se používá odporník zapojený v uzlu zdroje – transformátoru. Vymezení poruchy v odporově uzemněné síti je jednoduché a je možné provádět pomocí nadproudových ochran, nebo pomocí diferenciálních ochran kabelu. Odporově uzemněnou síť není

možné provozovat se zemní poruchou. Tato nevýhoda není v kabelových sítích rozhodující, protože většina poruch v kabelových sítích je trvalá. Navíc u kabelů 22 kV zavěšených na trakčních podpěrách se neuvažuje o provozování sítě LDS 22 kV se zemní poruchou. S výhodou proto můžeme využít jednoduché detekce místa poruchy a zatlumení přepětí v síti při zemní poruše vlivem činného proudu tekoucího odporníkem do sítě.

Dále proto navrhuji použití odporově uzemněné sítě pomocí odporníku instalovaného do uzlu zdroje – transformátoru.

## 2. Návrh parametrů odporníku pro síť 22kV s odporovým uzemněním uzlu zdroje – transformátoru

Pro návrh odporníku jsou rozhodující parametry sítě 22 kV. Jako přenosové médium bude sloužit kabel 22kV typu AXCES+O 3x95/25 12/20(24)kV. Tento kabel bude zapojen mezi jednotlivé trafostanice lineární sítě v úseku tratě TNS Otrokovice – žst. Vizovice. Tato síť je definována jako lokální distribuční síť SŽDC a bude napájena ze dvou možných zdrojů, kterými jsou TNS Otrokovice nebo žst. Vizovice. Napájení sítě bude vždy jednostranné, a to buď celé sítě, nebo jejich dílčích částí. Pro návrh parametrů odporníku je tedy rozhodující největší délka připojeného kabelu 22 kV.

Kapacitance kabelu je 0,25 uF/km. Hodnota proudu při zemním spojení je 3,3 A/km.

### Výpočet kapacity sítě při celkové konfiguraci:

začátek	konec	kabel	délka km	l <sub>kap</sub> /km A	l <sub>c</sub> A
TNS Otrokovice	žst. Otrokovice	3x22-AXEKVCEY 1x240/25	0,8	2,9	2,32
TNS Otrokovice	žst. Otrokovice	3x22-AXEKVCEY 1x240/25	0,8	2,9	2,32
žst. Otrokovice	žst. Otrokovice tunel	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)kV	0,65	3,3	2,145
žst. Otrokovice tunel	žst. Zlín-Malenovice		3	3,3	9,9
žst. Zlín-Malenovice	Odbočka Zlín-Malenovice		2,5	3,3	8,25
Odbočka Zlín-Malenovice	žst. Zlín-Prštné		2,9	3,3	9,57
žst. Zlín-Prštné	žst. Zlín-střed		1,7	3,3	5,61
žst. Zlín-střed	zast. Zlín-Dlouhá		1,2	3,3	3,96
zast. Zlín-Dlouhá	zast. Zlín-Podvesná		1,6	3,3	5,28
zast. Zlín-Podvesná	výhybna Zlín-Přiluky		2,75	3,3	9,075
výhybna Zlín-Přiluky	Zast. Želechovice nad Dřevnicí		1,55	3,3	5,115
Zast. Želechovice nad Dřevnicí	žst. Lípa nad Dřevnicí		2,05	3,3	6,765
žst. Lípa nad Dřevnicí	zast. Zádveřice		3,25	3,3	10,73
zast. Zádveřice	žst. Vizovice		3,15	3,3	10,4
<b>Celkem</b>			<b>27,9</b>		<b>91,43</b>

### Výpočet rezistence odporníku:

S ohledem na správnou funkci ochrany a zajištění podmínek tlumení při zemních poruchách se velikost primárního odporníku volí přibližně na 120 % kapacitního proudu sítě. Zemní kapacitní proud sítě je dle tab. č. 1 vypočten na hodnotu 91,43 A.

$$I_R = 1,2 \cdot I_c [A, A]$$

$$I_R = 109,8 A$$

Odporník navrhuji volit s rezervou se jmenovitým krátkodobým proudem  $I_N = 125 A$ . Hodnota je vybrána z normové řady dle ČSN EN 60059).

Jmenovitá rezistence odporníku bude:

$$R_N = \frac{U_f}{I_N} = \frac{U_f}{\sqrt{3} \cdot I_N} = \frac{23000}{\sqrt{3} \cdot 125} = 106,23 \, \Omega$$

Návrh parametrů odporníku:

Jmenovité napětí sítě:	23 kV
Jmenovité napětí odporníku:	13,3 kV
Jmenovitý proud odporníku:	125 A
Jmenovitý odpor odporníku:	106,23 ±10%
Doba zatížení odporníku:	6 s
Trvalé povolené napětí:	5% (665 V)
Chlazení:	AN
Stupeň krytí:	IP23
Instalace:	vnitřní/venkovní
Proudový transformátor 1 na NN straně	125//5 A; 30VA; 1FS5
Proudový transformátor 2 na NN straně (kostrový)	100//1 A; 15VA; 1FS5

#### **Výpočet poruchového proudu v místě zemní poruchy:**

Tento výpočet je určen pro účely nastavení funkce ochran a dimenzování uzemnění.

Minimální hodnota poruchového proudu:

Minimální hodnotu poruchového proudu lze odhadnout za předpokladu určení hodnoty napětí  $U_0 = 0,3 \cdot U_f = 0,3 \cdot U_s / \sqrt{3}$ . Kapacitní proud lze pro tento účel zanedbat, protože se počítá s poruchou pro minimální rozsah sítě, kde se kapacita kabelu výrazně neprojeví.

$$I_{por \min} = I_R = \frac{0,3 \cdot U_s}{\sqrt{3} \cdot R_N} = \frac{0,3 \cdot 23000}{\sqrt{3} \cdot 106,23} = 37,5 \, A$$

Pro účely nastavení ochran je možné uvažovat s minimálním poruchovým proudem 37,5 A. Tato hodnota je dostatečná i v případě minimální konfigurace sítě.

Maximální hodnota poruchového proudu:

Maximální hodnota poruchového proudu se vypočte pro maximální rozsah sítě, to je pro jmenovitý proud odporníku a vypočtený kapacitní proud.

$$I_{por \max} = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{125^2 + 91,5^2} = 154,91 \, A$$

Pro účely dimenzování uzemnění je nutné počítat s maximálním poruchovým proudem 154,91 A.

### 3. Výpočet dotykových napětí při zemním spojení – stanovení požadovaného odporu uzemnění

V sítích s uzemněním přes odporník dochází při jednofázové poruše (spojení jedné fáze se zemí) k zemnímu spojení. Hodnota poruchového proudu je dána vektorovým součtem zemního kapacitního proudu a proudu tekoucího přes odporník. Hodnota poruchového proudu  $I_{\text{por max}}$  (zemního proudu  $I_E$ ) je vypočtena v předchozí kapitole.  $I_{\text{por max}} = I_E = 154,91 \text{ A}$ , zaokrouhlená hodnota je 155 A.

Dimenzování uzemnění se provádí pro uzavřené elektrické provozovny dle ČSN EN 50522. Pro LDS 22kV se jedná o trakční napájecí stanice a trafostanice 22/0,4 kV v železničních stanicích, zastávkách a výhybnách.

Dimenzování uzemnění pro neživé části kabelového vedení mimo uzavřené elektrické provozovny se provádí podle ČSN EN 50341 ed. 2. Pro účely LDS 22 kV se jedná o nosné konstrukce závěsného kabelu 22 kV, které jsou tvořeny trakčními podpěrami. Je však potřeba přihlídnout k ČSN EN 50 122-1 ed. 2, která pro dovolená dotyková napětí AC střídavých trakčních soustav udává v tab. 4 nižší hodnoty než ČSN EN 50341 ed. 2 na obr. 6.1. Proto volím nižší hodnoty dotykového napětí dle ČSN EN 50 122-1 ed. 2.

Pro výpočet dimenzování uzemnění jsou rozhodující:

Zemní proud $I_E$	155 A	
Trvání poruchy $t_f$	0,30 s	viz kapitola č. 4
Dovolené dotykové napětí $U_{Tp}$	400 V	dle ČSN EN 50522 tab. B.3
Dovolené dotykové napětí $U_{Tp}$	480 V	dle ČSN EN 50122-1 ed. 2 tab. 4

#### Dimenzování uzemnění na trakční napájecí stanici:

Požadovaná hodnota zemního odporu:

$$R_E = \frac{U_{Tp}}{I_E} \frac{400}{155} = 2,58 \Omega$$

U trakčních transformoven je dle ČSN 34 1500 ed. 2 dle čl. 5.4.4.3 požadovaná hodnota ochranného uzemnění max. 1  $\Omega$ .

Nárůst potenciálu země  $U_E$  při zemním spojení v síti LDS 22 kV tedy bude:

$$U_E = I_E \cdot R_E = 155 \cdot 1 = 155 \text{ V}$$

Je splněna podmínka ČSN EN 50522:

$$U_E = 155 \text{ V} \leq 2 \cdot U_{Tp} = 2 \cdot 400 \text{ V} = 800 \text{ V}$$

Návrh hodnoty uzemnění je správný.

Návrh hodnoty uzemnění platí pro uzemnění odporníku a uzemnění technologického zařízení trakční napájecí stanice – trakční transformovny.

### Dimenzování uzemnění na trafostanice 22/0,4 kV:

Požadovaná hodnota zemního odporu pro stranu VN:

$$R_E = \frac{U_{Tp}}{I_E} = \frac{400}{155} = 2,58 \, \Omega$$

Navrhuje se společné uzemnění zařízení VN a NN. Hodnota odporu ochranného uzemnění pro stranu VN  $R_E \leq 2,58 \, \Omega$  je v pořádku, protože hodnota odporu uzemnění trafostanice, kde je společné uzemnění zařízení VN a NN v sítích TN je dle ČSN 33 2000-4-41 NB.1:  $R_A \leq 5 \, \Omega$  a  $R_B \leq 2 \, \Omega$

Uvedený výpočet vyhovuje také požadavku PNE 33 0000-1 5. vydání čl. 3.3.3.9:

$$R_B \leq \frac{U_{Tp}}{I_E} = \frac{400}{155} = 2,58 \, \Omega \text{ to znamená } (R_B \leq 2 \, \Omega) \leq 2,58 \, \Omega$$

Kde  $R_B$  je celkový odpor uzemnění vodičů PEN (případně vodičů PE) všech odcházejících vedení z transformovny včetně odporu uzemněného středu (uzlu) zdroje v  $\Omega$ .

$R_A$  je odpor uzemnění nulového bodu (uzlu) zdroje nebo pracovní uzemněného místa zdroje.

Návrh hodnoty uzemnění je správný.

### Dimenzování uzemnění trakčních podpěr, na kterých je uložen závěsný kabel 22kV:

Požadovaná hodnota zemního odporu:

$$R_E = \frac{U_{Tp}}{I_E} = \frac{480}{155} = 3,09 \, \Omega$$

U střídavé trakční soustavy 25 kV AC se není reálné provádět strojené zemniče pro každou trakční podpěru pro dosažení požadované hodnoty uzemnění. Pro uzemnění se navrhuje využití kolejnice jako náhodného zemniče. Kolejnice jsou připojeny k ochrannému uzemnění trakčních transformoven, k němuž je rovněž připojeno uzemnění odporníků zapojených v uzlu zdroje sítě 22 kV. Každá trakční podpěra je ukolejněna. Ukolejnění je dle ČSN 34 1500 ed. 2 přímé nebo nepřímé přes opakovatelnou průrazku. V obou případech je nutné vypočítat celkový odpor uzemnění od trakční podpěry až po uzemnění v trakčních transformovnách a posoudit vznik nárůstu potenciálu, aby tento nepřekročil dovolené dotykové napětí.

V případech, kde by nebylo možné dosáhnout dovoleného dotykového napětí na neživých částech trakčních podpěr, je nutné provést na snížení rizika dotykových napětí. Reálně se jeví zavěšení kabelu 22 kV na izolátor (se jmenovitým napětím 24 kV) dle ČSN EN 50341 ed. 2, obr. 6.2 Opatření vyžadovaná pro snížení dotykových napětí, čl. 6.4.3 bod 8 poznámka. Blíže specifikováno v PNE 33 0000-1 čl. 3.4.1.1 v případě, že je použito rychlé automatické vypnutí poruchy. Toto opatření lze považovat za rovnocenné jako použití neprůrazných izolátorů nebo konzol z izolujícího materiálu.

Poznámka: Mimo uzavřené elektrické provozovny nesmí být kabelové vedení 22kV přístupné dotyku. Nejkratší vnější vzdálenosti stanoví ČSN EN 50341 ed. 2.

### Uzemnění stínění kabelů 22 kV

Uzemnění stínění kabelů 22kV/0,4 kV se provede v trakčních transformovnách nebo v trafostanicích 22 kV na ochranné uzemnění dle návrhu projektanta (viz Schéma napájení z rozvodu 22 kV). Dle ČSN 34 1530 ed. 2 čl. 7.6 se stínění kabelů uzemňuje jen na jedné straně, na druhé straně

musí být stínění izolovaně odděleno od uzemněné konstrukce nebo konstrukce spojené se zpětným vedením.

V případě závěsného kabelu 22 kV se izolovaná strana stínění chrání omezovačem přepětí vůči atmosférickým přepětím a přepětím na stínění v případě poruchy, které by mohl narušit izolační pevnost pláště kabelu. Tyto omezovače přepětí se navrhují s opakovatelnou funkcí a v případě odeznění přepětí izolují.

#### 4. Návrh ochran a ochranných funkcí LDS 22 kV

Účelem vhodného výběru ochranných funkcí a ochran je zajištění vypnutí elektrického zařízení v případě poruchy v požadovaném čase trvání poruchy a zajištění selektivního vypnutí části elektrické sítě s poruchou a zachování provozu ostatních částí elektrické sítě bez poruch.

Elektrické zařízení z pohledu chránění můžeme rozdělit na:

- Ochrany oddělovacího transformátoru 22/22 kV
- Ochrany rozvodu 22 kV na TNS
- Ochrany odporníku
- Ochrany kabelového rozvodu 22 kV
- Ochrany trafostanic 22/0,4 kV

Pro výběr vhodných ochranných funkcí je rozhodující:

- Volba druhu sítě 22 kV
- Požadovaný vypínací čas
- Topologie sítě 22 kV
- Požadavky platných technických norem a předpisů

Pro bezpečnost působení ochran je důležité zejména

- Dimenzování elektrického zařízení
- Výpočet nastavení ochran
- Správné provedení zkoušek ochran
- Volba hlavní a záložní ochrany
- Volba druhu sítě 22 kV

V této kapitole se budu zabývat zejména návrhem ochranných funkcí. Účelem je popsat navržený systém ochran a jeho realizovatelnost pro účel přípravné dokumentace stavby a jako podklad pro další stupně projektové dokumentace.

Pro návrh systému ochran je rozhodující požadavek na maximální dobu poruchy  $t_f = 0,3$  s. Je to doba, která odpovídá hodnotám dovoleného dotykového napětí  $U_{Tp}$  stanoveným v kapitole č. 3. Síť 22 kV je definována jako síť s rychlým automatickým vypnutím poruchy (ITr).

Pro zajištění tak krátkého vypínacího času a zajištění selektivního vypnutí postižené části sítě poruchou se jeví výhodné použití diferenciálních ochran kabelu 22 kV. Z tohoto předpokladu bud dále vycházet i při volbě jiných ochran celé sítě.

Návrh ochran vychází z předpokladu:

- Přehledové schéma napájení rozvodu 22 kV (viz přípravná dokumentace)
- Síť 22 kV tvořící LDS 22 kV je napájena přes oddělovací transformátory 22/22 kV

- Z hlediska topologie sítě se jedná o liniovou síť s jedním paprskem napájeným z obou krajních stran (rozveden 22 kV na TNS)
- Napájení sítě bude jednostranné, a to buď celé sítě, nebo jejich dílčích částí
- Nebude provozován provoz paralelního napájení sítě LDS 22 kV z obou stran možného napájení

#### Ochrany oddělovacího transformátoru 22/22 kV

Pro ochranu oddělovacího transformátoru 22/22 kV o předpokládaném jmenovitém výkonu 1600kV navrhuji použití dvě multifunkční ochrany s rozdělením funkcí dle níže uvedeného soupisu. Jedná se o multifunkční ochrany i s funkcemi ovládání, funkcemi PLC, vizualizace a komunikace s nadřazeným řídicím systémem a s možností komunikace s ostatními ochranami.

Na primární straně:

Název:	Diferenciální ochrana dvouvinutového transformátoru
ANSI:	87T
IEC 61850:	TR2PTDF
MTP	Zapojeny na primární a sekundární stranu

Název:	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana
ANSI:	51P-1
IEC 61850:	PHLPTOC (časově závislá)
MTP	Zapojeny na primární stranu

Název:	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana – zkratová ochrana
ANSI:	51P-3
IEC 61850:	PHIPTOC (časově nezávislá)
MTP	Zapojeny na primární stranu

Název:	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana – nádobová ochrana
ANSI:	51P-2
IEC 61850:	PHLPTOC (časově nezávislá)
MTP	Zapojen na součtový transformátor nádobové ochrany

Na sekundární straně:

Ochrana na sekundární straně je současně ochrana přípojníc rozvodny 22kV na TNS.

Název:	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana
ANSI:	51P-1
IEC 61850:	PHLPTOC (časově závislá)
MTP	Zapojeny na sekundární stranu

Název:	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana – zkratová ochrana
ANSI:	51P-3
IEC 61850:	PHIPTOC (časově nezávislá)
MTP	Zapojeny na sekundární stranu

Název:	Přepětová ochrana vyhodnocující nulovou složku napětí
ANSI:	59N
IEC 61850:	ROVPTOV (časově nezávislá)
MTN	Zapojeny na sekundární stranu

Název:	Třífázová přepětová ochrana
ANSI:	59
IEC 61850:	PHPTOV (časově nezávislá)
MTN	Zapojeny na sekundární stranu

Název:	Třífázová podpětová ochrana
ANSI:	27
IEC 61850:	PHPTUV (časově nezávislá)
MTN	Zapojeny na sekundární stranu

#### Ochrany odporníku zapojeného v uzlu transformátoru 22/22 kV

První ochranná funkce bude chránit jednak samostatný odporník, a to pomocí nádobové ochrany. Ochranná funkce vypne transformátor z primární a sekundární strany při přeskočení na nádobu (kostru) odporníku. K tomuto účelu slouží MTP zapojený mezi kostru odporníku a uzemnění. Ochrana bude nadproudová.

Druhá ochranná funkce bude chránit síť LDS 22 kV při zemním spojení a bude určena zejména jako záložní ochrana. Ochrana bude nadproudová a bude zapojena na MTP instalované v uzlu transformátoru s odporníkem. V případě, že přes odporník poteče poruchový proud zemního spojení a tento nebude včas vypnut některou z diferenciálních ochran kabelu 22 kV, dojde k vypnutí touto záložní ochranou. Tato záložní ochrana nebude selektivní, to znamená, že vypne celou postiženou síť 22kV. Čas zpoždění vypnutí této záložní ochranné funkce musí být nastaven na 0,2 s, aby bylo zajištěno vypnutí poruchy do 0,3 s.

Ochranu navrhuji jako jeden samostatný přístroj multifunkční ochrany.

Pro ochranu odporníku zapojeného v uzlu transformátoru 22/22 kV o předpokládaném jmenovitém výkonu 1600kV navrhuji použití:

Název:	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana
ANSI:	51P-2
IEC 61850:	PHLPTOC (časově nezávislá)
MTP	Zapojeno na MTP v uzlu transformátoru s odporníkem

Název:	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana – zkratová ochrana
ANSI:	51P-3
IEC 61850:	PHIPTOC (časově nezávislá)
MTP	Zapojeno na MTP nádobové ochrany

## Ochrany kabelového rozvodu 22 kV a trafostanic 22/0,4 kV

Ochrany kabelového rozvodu 22 kV a trafostanic 22/0,4 kV budou součástí multifunkčních ochranných zařízení, které budou instalovány na vývodech rozvodů 22 kV na TNS a v přívodech trafostanic. Hlavní ochranou funkcí navrhuji diferenciální ochranu kabelu. Tato ochrana bude vyhodnocovat rozdílový proud na obou stranách daného kabelového úseku mezi rozvodnami 22 kV v LDS 22 kV. Tyto ochrany budou propojeny pomocí opto komunikace. Pomocí optokomunikace si ochrany předávají informaci o aktuálním proudu a povely k vypnutí sousedního vypínače v případě vypnutí ochrannou funkcí. Opto kabel navrhuji instalovat přímo do kabelu 22 kV do předem připravené opto trubičky. Výhodou je, že v případě přerušení kabelu dojde k vypnutí nadřazených vypínačů na obou stranách z důvodu přerušení informací přenášovaných opto komunikací.

Kromě diferenciální ochrany má smysl využít také nadproudové a zkratové ochrany. Tyto, i když nebudou směrové, mohou pomoci při vyhledávání poruch, které by případně vznikly v rozvaděčích 22 kV v trafostanicích. I když by v tomto případě nebylo vypnutí selektivní, je možné z popudů jednotlivých ochranných zařízení určit místo předpokládané poruchy. Přesné určení místa poruchy v rozvaděčích 22 kV by bylo možné jen pomocí směrových nadproudových ochranných zařízení. Jejich použití má však nevýhodu ve vyšší pořizovací ceně a náročnějšímu zkoušení a provozování ochranných zařízení. U každé ochrany by navíc musely být instalovány měřicí transformátory napětí pro zajištění určení směru proudu. Tím se zařízení prodraží. Vzhledem k malé pravděpodobnosti poruchy na rozvaděčích 22 kV doporučuji směrové nadproudové ochrany neosazovat. Doporučuji však vybavit rozvaděče 22 kV havarijní zábleskovou ochranou (HZO), zvláště, jestliže budou použity rozvaděče se vzduchovou izolací. HZO svým rychlým působením zajišťuje rychlé vypnutí zařízení v poruše, pokud bylo způsobeno elektrickým obloukem - přeskokem, který způsobuje záblesk.

Výhodou digitálních diferenciálních ochranných zařízení je také možnost přenášení signálů a povelů mezi ochrannými, a tak zajistit např. vypnutí nadřazeného vypínače.

Na vývodech rozvodů 22 kV na TNS a v přívodech rozvodů 22 kV na trafostanicích navrhuji multifunkční ochrany s funkcemi:

Název:	Diferenciální ochrana kabelu
ANSI:	87L
IEC 61850:	LNPLDF
MTP	Zapojeny na vývodech - přívodech

Název:	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana
ANSI:	51P-1
IEC 61850:	PHLPTOC (časově závislá)
MTP	Zapojeny na vývodech - přívodech

Název:	Třífázová nesměrová nadproudová ochrana – zkratová ochrana
ANSI:	51P-3
IEC 61850:	PHIPTOC (časově nezávislá)
MTP	Zapojeny na vývodech - přívodech

Čas zpoždění diferenciální ochrany kabelu navrhuji nastavit v rozmezí 0,05 až 0,1 s. Je to z důvodu požadavku na rychlé vypnutí poruchy do 0,15 až 0,2 s. Selektivita mezi hlavní a záložní ochranou bude 100 až 150 ms. U moderního technologického zařízení a při použití digitálních ochrany je takováto selektivita vyhovující.

#### Volba hlavní a záložní ochrany sítě LDS 22 kV

##### **Kabelového rozvodu 22kV**

Jako hlavní ochrana kabelu 22 kV v LDS 22 kV bude složit diferenciální ochrana kabelu (87L). Tato ochrana bude působit nejrychleji se zpožděním vypnutí 0,05 až 0,1s. Tato ochranná funkce bude působit jak při nadproudu a zkratu, tak při zemním spojení na kabelu v odporově uzemněné síti 22kV. Je to dáno tím, že všechny uvedené poruchy vyvolají rozdíl proudu dostatečný k popudu ochrany.

Jako záložní ochrana při zemním spojení na kabelu 22 kV budou sloužit dvě ochranné funkce, které budou požit:

1. v multifunkční ochraně na sekundární straně transformátoru 22 kV:
  - Přepěťová ochrana vyhodnocující nulovou složku napětí (59N)
2. V ochraně odporníku zapojeného v uzlu transformátoru 22/22 kV
  - Třífázová nesměrová nadproudová ochrana

Obě ochranné funkce budou mít čas zpoždění vypnutí 0,2 s a budou zajišťovat záložní neselektivní vypnutí v čase do 0,3 s.

Jako záložní ochrana při nadproudu a zkratu budou sloužit ochranné funkce v multifunkční ochraně na sekundární straně transformátoru 22/22 kV.

##### **Rozvaděčů 22kV na trafostanicích**

Jako hlavní a záložní ochrana při zemním spojení v rozvaděčích 22 kV na trafostanicích budou sloužit ochrany:

3. v multifunkční ochraně na sekundární straně transformátoru 22 kV:
  - Přepěťová ochrana vyhodnocující nulovou složku napětí (59N)
4. V ochraně odporníku zapojeného v uzlu transformátoru 22/22 kV
  - Třífázová nesměrová nadproudová ochrana

Obě ochranné funkce budou mít čas zpoždění vypnutí 0,2 s a budou zajišťovat záložní neselektivní vypnutí v čase do 0,3 s. Ochrany budou vzájemně záložní se stejným časem zpoždění při vypnutí. Jak je vysvětleno výše, v případě poruch na přípojnicích rozvaděčů 22 kV, nebude vypnutí pomocí ochrany selektivní, pokud nebude působit ochrana HZO, jestliže bude použita.

Jako hlavní ochrana při nadproudu a zkratu budou sloužit ochranné funkce v multifunkčních ochranách v trafostanicích.

Jako záložní ochrana při nadproudu a zkratu budou sloužit ochranné funkce v multifunkčních ochranách na vývodech rozvaděčů 22 kV na TNS.

## Příloha 1: Výpočet zkratových poměrů (z obou zdrojů napájení)

Viz samostatná příloha.

Ve Vřesině: říjen 2016

Vypracoval:

**Petr Kudělka**

Projektování elektrických zařízení

U Sadu 354/30B

747 20 Vřesina

mobil: 604 917 151

e-mail: [petr.kudelka@petrkudelka.cz](mailto:petr.kudelka@petrkudelka.cz)

## Obsah

1. Výpočet zkratových poměrů (z obou stran napájení).....	2
2. Napájení z TNS Otrokovice – maximální zkratové poměry.....	3
2.1 Vstupní údaje .....	3
2.2 Vypočtené hodnoty.....	5
3. Napájení TNS Otrokovice – minimální zkratové poměry.....	8
3.1 Vstupní údaje .....	8
3.2 Vypočtené hodnoty.....	10
4. Napájení z ŽST Vizovice – maximální zkratové poměry.....	13
4.2 Vstupní údaje .....	13
4.2 Vypočtené hodnoty.....	15
6. Napájení z ŽST Vizovice – minimální zkratové poměry.....	18
5.1 Vstupní údaje .....	18
6.1 Vypočtené hodnoty.....	20
7. Popis metody výpočtu, definice.....	23

## 1. Výpočet zkratových poměrů (z obou stran napájení)

Přípravná dokumentace stavby: „Modernizace a elektrizace trati Otrokovice – Vizovice“

Výpočet zkratových poměrů byl proveden v programu Zkraty 2.0 (ELCOM, a.s.

Výpočet zkratových poměrů je proveden pro lokální distribuční síť 22kV, která je navržena mezi TNS Otrokovice a ŽST. Vizovice dle přehledového schéma projektu.

Počátečními body výpočtu jsou oddělovací transformátory 22/22kV 1600kVA. Protože nejsou známy zkratové poměry v místě budoucí instalace na rozhraní distribuční sítě, byla zvolena síť 22kV, 500MVA. Vzhledem použitým transformátorům 22/22kV nemá na přesnost výpočtu na sekundární straně hodnota primárního zkratového proudu příliš velký vliv. Výpočet je nutné upřesnit po upřesnění zkratových poměrů distribuční sítě v projektu stavby.

Tento výpočet je určen pro ověření dimenzování elektrického zařízení v rámci zpracování přípravné dokumentace. Výpočet není určen jako podklad pro výpočet a nastavení ochran. Pro tyto účely bude potřeba použít upřesněný výpočet, viz výše.

Výpočet je proveden pro obě možné strany napájení:

- TNS Otrokovice
- ŽST Vizovice

Výpočet je proveden pro maximální a minimální zkratové proudy.

Ve Vřesině: říjen 2016

Vypracoval:

**Petr Kudělka**

Projektování elektrických zařízení

U Sadu 354/30B

747 20 Vřesina

mobil: 604 917 151

e-mail: [petr.kudelka@petrkudelka.cz](mailto:petr.kudelka@petrkudelka.cz)

## 2. Napájení z TNS Otrokovice – maximální zkratové poměry

### 2.1 Vstupní údaje

<b>Zakázka:</b>	Otrokovice - Vizovice
<b>Varianta:</b>	10.2016
<b>Poznámka:</b>	Otrokovice - MAX

Maximální zkratové proudy

Jmenovité napětí sítě	c max	c min
100V ... 1000V	1.10	0.95
>1kV ... 35kV	1.10	1.00
>35kV	1.10	1.00

Uzly			
Uzel	Un [kV]	Název	tk [sec]
1	22.0	TNS Otrokovice - P	1.00
2	22.0	TNS Otrokovice - S	0.30
3	22.0	ŽST Otrokovice	0.30
4	22.0	ŽST Otrokovice tunel	0.30
5	22.0	ZAST Zlín-Malenovice obec	0.30
6	22.0	Odbočka Zlín-Malenovice	0.30
7	22.0	Zast. Zlín-Prštné	0.30
8	22.0	ŽST Zlín-střed	0.30
9	22.0	Zast. Zlín-Dlouhá	0.30
10	22.0	Zast. Zlín-Podvesná	0.30
11	22.0	Výhybna Přílíky	0.30
12	22.0	Zast. Želechovice nad Dřevnicí	0.30
13	22.0	ŽST Lípa nad Dřevnicí	0.30
14	22.0	Zast. Zádveřice	0.30
15	22.0	ŽST Vizovice - S	0.30
16	22.0	ŽST Vizovice - P	1.00

Sítové napaječe						
Uzel	Ik'' [kA]	R/X	Korekce	Stav	Typ	Název
1	13.122	0.1	1.0	ZAP	22kV, 500MVA	TNS Otrokovice
16	13.122	0.1	1.0	VYP	22kV, 500MVA	ŽST Vizovice

Transformátory											
i (prim.)	j (sek.)	St [MVA]	ek [%]	Pk [kW]	Up [kV]	Us [kV]	Regul. ační	Ref. uzel	Stav	Typ	Název
1	2	1.6	6.0	17.0	22.0	22.0	ano	sek.	ZAP	Transformátor 22/22kV, 1600kVA	T22-1
15	16	1.6	6.0	17.0	22.0	22.0	ano	sek.	VYP	Transformátor 22/22kV, 1600kVA	T22-2

Vedení a kabely										
i	j	l [km]	para l.	Rk [Ohm/km]	Xk [Ohm/km]	Tz [C]	K [...]	Stav	Typ	Název
2	3	0.8	2	0.125	0.113	90.0	94.0	ZAP	22-AXEKCY(1x240/25) delta	WH1
3	4	0.65	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH2
4	5	3.0	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH3
5	6	2.5	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH4
6	7	2.9	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH5
7	8	1.7	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH6
8	9	1.2	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH7
9	10	1.6	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH8
10	11	2.75	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH9
11	12	1.55	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH10
12	13	2.05	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH11
13	14	3.25	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH12
14	15	3.15	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH13

## 2.2 Vypočtené hodnoty

1. Uzlové hodnoty (uk pro zkrat v uzlu 1)															
Uze 1	Un [kV]	Název	tk [s]	Ik'' [kA]	Sk'' [MVA]	kapa( 1)	kapa( 2)	ip(1) [kA]	m	n	Ith [kA]	Ik2'' [kA]	r [p.u. ]	x [p.u. ]	uk [p.u.]
1	22.0	TNS Otrokovice - P	1.00	13.12	500.02	1.746	1.746	32.40	0.0 34	1.0 00	13.34	11.36	0.021 89	0.218 90	0.000
2	22.0	TNS Otrokovice - S	0.30	0.73	27.71	1.599	1.599	1.64	0.0 65	1.0 00	0.75	0.63	0.685 95	3.909 64	0.000
3	22.0	ŽST Otrokovice	0.30	0.73	27.64	1.595	1.595	1.64	0.0 64	1.0 00	0.75	0.63	0.696 28	3.918 98	0.000
4	22.0	ŽST Otrokovice tunel	0.30	0.72	27.49	1.578	1.578	1.61	0.0 61	1.0 00	0.74	0.62	0.739 26	3.932 41	0.000
5	22.0	ZAST Zlín-Malenovice obec	0.30	0.70	26.81	1.505	1.505	1.50	0.0 49	1.0 00	0.72	0.61	0.937 61	3.994 39	0.000
6	22.0	Odbočka Zlín- Malenovice	0.30	0.69	26.23	1.453	1.453	1.41	0.0 42	1.0 00	0.70	0.60	1.102 90	4.046 04	0.000
7	22.0	Zast. Zlín-Prštné	0.30	0.67	25.55	1.401	1.401	1.33	0.0 36	1.0 00	0.68	0.58	1.294 63	4.105 96	0.000
8	22.0	ŽST Zlín-střed	0.30	0.66	25.15	1.374	1.374	1.28	0.0 34	1.0 00	0.67	0.57	1.407 03	4.141 08	0.000
9	22.0	Zast. Zlín-Dlouhá	0.30	0.65	24.87	1.356	1.356	1.25	0.0 32	1.0 00	0.66	0.57	1.486 37	4.165 88	0.000
10	22.0	Zast. Zlín-Podvesná	0.30	0.64	24.50	1.334	1.334	1.21	0.0 30	1.0 00	0.65	0.56	1.592 15	4.198 94	0.000
11	22.0	Výhybna Přílíky	0.30	0.63	23.86	1.301	1.301	1.15	0.0 28	1.0 00	0.63	0.54	1.773 97	4.255 75	0.000
12	22.0	Zast. Želechovice nad Dřevnicí	0.30	0.62	23.50	1.284	1.284	1.12	0.0 26	1.0 00	0.62	0.53	1.876 45	4.287 78	0.000

13	22.0	ŽST Lípa nad Dřevnicí	0.30	0.60	23.04	1.263	1.263	1.08	0.0 25	1.0 00	0.61	0.52	2.011 99	4.330 13	0.000
14	22.0	Zast. Zádveřice	0.30	0.59	22.32	1.234	1.234	1.02	0.0 23	1.0 00	0.59	0.51	2.226 86	4.397 28	0.000
15	22.0	ŽST Vizovice - S	0.30	0.57	21.64	1.211	1.211	0.97	0.0 21	1.0 00	0.57	0.49	2.435 13	4.462 37	0.000
16	22.0	ŽST Vizovice - P	1.00												

Větвовé hodnoty (iv(re), iv(im), Iv(i), Iv(j) pro zkrat v uzlu 1)											
i	j	Typ	Název	iv(re) [p.u.]	iv(im) [p.u.]	Iv(i) [kA]	Iv(j) [kA]	r [p.u.]	x [p.u.]	R [Ohm]	X [Ohm]
0	1	ns	TNS Otrokovice	0.49753	-4.97534	13.12	13.12	0.02189	0.21890	0.106	1.059
1	2	tr	T22-1	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.66406	3.69073	3.214	17.863
15	16	tr	T22-2	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.66406	3.69073	3.214	17.863
2	3	vk	WH1	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.01033	0.00934	0.050	0.045
3	4	vk	WH2	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.04298	0.01343	0.208	0.065
4	5	vk	WH3	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.19835	0.06198	0.960	0.300
5	6	vk	WH4	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.16529	0.05165	0.800	0.250
6	7	vk	WH5	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.19174	0.05992	0.928	0.290
7	8	vk	WH6	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.11240	0.03512	0.544	0.170
8	9	vk	WH7	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.07934	0.02479	0.384	0.120
9	10	vk	WH8	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.10579	0.03306	0.512	0.160
10	11	vk	WH9	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.18182	0.05682	0.880	0.275
11	12	vk	WH10	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.10248	0.03202	0.496	0.155
12	13	vk	WH11	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.13554	0.04236	0.656	0.205
13	14	vk	WH12	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.21488	0.06715	1.040	0.325

14	15	vk	WH13	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.20826	0.06508	1.008	0.315	
----	----	----	------	---------	---------	------	------	---------	---------	-------	-------	--

Vedení a kabely (Iv pro zkrat v uzlu 1)									
i	j	Název	Ith(i) [kA]	tk(i) [sec]	Smin(i) [mm2]	Ith(j) [kA]	tk(j) [sec]	Smin(j) [mm2]	Iv [kA]
2	3	WH1	0.75	0.30	4	0.75	0.30	4	0.00
3	4	WH2	0.75	0.30	5	0.74	0.30	5	0.00
4	5	WH3	0.74	0.30	5	0.72	0.30	5	0.00
5	6	WH4	0.72	0.30	5	0.70	0.30	5	0.00
6	7	WH5	0.70	0.30	5	0.68	0.30	5	0.00
7	8	WH6	0.68	0.30	5	0.67	0.30	5	0.00
8	9	WH7	0.67	0.30	5	0.66	0.30	5	0.00
9	10	WH8	0.66	0.30	5	0.65	0.30	5	0.00
10	11	WH9	0.65	0.30	5	0.63	0.30	5	0.00
11	12	WH10	0.63	0.30	5	0.62	0.30	5	0.00
12	13	WH11	0.62	0.30	5	0.61	0.30	4	0.00
13	14	WH12	0.61	0.30	4	0.59	0.30	4	0.00
14	15	WH13	0.59	0.30	4	0.57	0.30	4	0.00

### 3. Napájení TNS Otrokovice – minimální zkratové poměry

#### 3.1 Vstupní údaje

<b>Zakázka:</b>	Otrokovice - Vizovice
<b>Varianta:</b>	10.2016
<b>Poznámka:</b>	Otrokovice MIN

Minimální zkratové proudy

Jmenovité napětí sítě	c max	c min
100V ... 1000V	1.10	0.95
>1kV ... 35kV	1.10	1.00
>35kV	1.10	1.00

Uzly			
Uzel	Un [kV]	Název	tk [sec]
1	22.0	TNS Otrokovice - P	1.00
2	22.0	TNS Otrokovice - S	0.30
3	22.0	ŽST Otrokovice	0.30
4	22.0	ŽST Otrokovice tunel	0.30
5	22.0	ZAST Zlín-Malenovice obec	0.30
6	22.0	Odbočka Zlín-Malenovice	0.30
7	22.0	Zast. Zlín-Prštné	0.30
8	22.0	ŽST Zlín-střed	0.30
9	22.0	Zast. Zlín-Dlouhá	0.30
10	22.0	Zast. Zlín-Podvesná	0.30
11	22.0	Výhybna Přílíky	0.30
12	22.0	Zast. Želechovice nad Dřevnicí	0.30
13	22.0	ŽST Lípa nad Dřevnicí	0.30
14	22.0	Zast. Zádveřice	0.30
15	22.0	ŽST Vizovice - S	0.30
16	22.0	ŽST Vizovice - P	1.00

Sítové napaječe						
Uzel	Ik'' [kA]	R/X	Korekce	Stav	Typ	Název
1	13.122	0.1	1.0	ZAP	22kV, 500MVA	TNS Otrokovice
16	13.122	0.1	1.0	VYP	22kV, 500MVA	ŽST Vizovice

Transformátory											
i (prim.)	j (sek.)	St [MVA]	ek [%]	Pk [kW]	Up [kV]	Us [kV]	Regul. ační	Ref. uzel	Stav	Typ	Název
1	2	1.6	6.0	17.0	22.0	22.0	ano	sek.	ZAP	Transformátor 22/22kV, 1600kVA	T22-1
15	16	1.6	6.0	17.0	22.0	22.0	ano	sek.	VYP	Transformátor 22/22kV, 1600kVA	T22-2

Vedení a kabely										
i	j	l [km]	para l.	Rk [Ohm/km]	Xk [Ohm/km]	Tz [C]	K [...]	Stav	Typ	Název
2	3	0.8	2	0.125	0.113	90.0	94.0	ZAP	22-AXEKCY(1x240/25) delta	WH1
3	4	0.65	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH2
4	5	3.0	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH3
5	6	2.5	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH4
6	7	2.9	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH5
7	8	1.7	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH6
8	9	1.2	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH7
9	10	1.6	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH8
10	11	2.75	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH9
11	12	1.55	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH10
12	13	2.05	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH11
13	14	3.25	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH12
14	15	3.15	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH13

### 3.2 Vypočtené hodnoty

Uzlové hodnoty (uk pro zkrat v uzlu 1)															
Uze 1	Un [kV]	Název	tk [s]	Ik'' [kA]	Sk'' [MVA]	kapa( 1)	kapa( 2)	ip(1) [kA]	m	n	Ith [kA]	Ik2'' [kA]	r [p.u. ]	x [p.u. ]	uk [p.u.]
1	22.0	TNS Otrokovice - P	1.00	13.12	500.02	1.746	1.746	32.40	0.0 34	1.0 00	13.34	11.36	0.019 90	0.199 00	0.000
2	22.0	TNS Otrokovice - S	0.30	0.66	25.32	1.598	1.598	1.50	0.0 65	1.0 00	0.69	0.58	0.683 96	3.889 74	0.000
3	22.0	ŽST Otrokovice	0.30	0.66	25.25	1.593	1.593	1.49	0.0 64	1.0 00	0.68	0.57	0.697 19	3.899 08	0.000
4	22.0	ŽST Otrokovice tunel	0.30	0.66	25.10	1.570	1.570	1.46	0.0 59	1.0 00	0.68	0.57	0.752 19	3.912 51	0.000
5	22.0	ZAST Zlín-Malenovice obec	0.30	0.64	24.39	1.479	1.479	1.34	0.0 45	1.0 00	0.65	0.55	1.006 08	3.974 49	0.000
6	22.0	Odbočka Zlín- Malenovice	0.30	0.62	23.77	1.416	1.416	1.25	0.0 38	1.0 00	0.64	0.54	1.217 65	4.026 14	0.000
7	22.0	Zast. Zlín-Prštné	0.30	0.60	23.04	1.355	1.355	1.16	0.0 32	1.0 00	0.61	0.52	1.463 07	4.086 06	0.000
8	22.0	ŽST Zlín-střed	0.30	0.59	22.61	1.324	1.324	1.11	0.0 30	1.0 00	0.60	0.51	1.606 94	4.121 18	0.000
9	22.0	Zast. Zlín-Dlouhá	0.30	0.59	22.30	1.305	1.305	1.08	0.0 28	1.0 00	0.59	0.51	1.708 49	4.145 98	0.000
10	22.0	Zast. Zlín-Podvesná	0.30	0.57	21.89	1.281	1.281	1.04	0.0 26	1.0 00	0.58	0.50	1.843 90	4.179 04	0.000
11	22.0	Výhybna Přílíky	0.30	0.56	21.20	1.245	1.245	0.98	0.0 24	1.0 00	0.56	0.48	2.076 63	4.235 85	0.000
12	22.0	Zast. Želechovice nad Dřevnicí	0.30	0.55	20.81	1.228	1.228	0.95	0.0 23	1.0 00	0.55	0.47	2.207 80	4.267 88	0.000

13	22.0	ŽST Lípa nad Dřevnicí	0.30	0.53	20.31	1.207	1.207	0.91	0.0 21	1.0 00	0.54	0.46	2.381 29	4.310 23	0.000
14	22.0	Zast. Zádveřice	0.30	0.51	19.53	1.179	1.179	0.85	0.0 19	1.0 00	0.52	0.44	2.656 33	4.377 38	0.000
15	22.0	ŽST Vizovice - S	0.30	0.49	18.80	1.156	1.156	0.81	0.0 18	1.0 00	0.50	0.43	2.922 91	4.442 47	0.000
16	22.0	ŽST Vizovice - P	1.00												

Větвовé hodnoty (iv(re), iv(im), Iv(i), Iv(j) pro zkrat v uzlu 1)											
i	j	Typ	Název	iv(re) [p.u.]	iv(im) [p.u.]	Iv(i) [kA]	Iv(j) [kA]	r [p.u.]	x [p.u.]	R [Ohm]	X [Ohm]
0	1	ns	TNS Otrokovice	0.49753	-4.97534	13.12	13.12	0.01990	0.19900	0.096	0.963
1	2	tr	T22-1	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.66406	3.69073	3.214	17.863
15	16	tr	T22-2	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.66406	3.69073	3.214	17.863
2	3	vk	WH1	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.01322	0.00934	0.064	0.045
3	4	vk	WH2	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.05501	0.01343	0.266	0.065
4	5	vk	WH3	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.25388	0.06198	1.229	0.300
5	6	vk	WH4	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.21157	0.05165	1.024	0.250
6	7	vk	WH5	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.24542	0.05992	1.188	0.290
7	8	vk	WH6	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.14387	0.03512	0.696	0.170
8	9	vk	WH7	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.10155	0.02479	0.492	0.120
9	10	vk	WH8	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.13540	0.03306	0.655	0.160
10	11	vk	WH9	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.23273	0.05682	1.126	0.275
11	12	vk	WH10	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.13117	0.03202	0.635	0.155
12	13	vk	WH11	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.17349	0.04236	0.840	0.205
13	14	vk	WH12	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.27504	0.06715	1.331	0.325

14	15	vk	WH13	0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.26658	0.06508	1.290	0.315	
----	----	----	------	---------	---------	------	------	---------	---------	-------	-------	--

Vedení a kabely (Iv pro zkrat v uzlu 1)									
i	j	Název	Ith(i) [kA]	tk(i) [sec]	Smin(i) [mm2]	Ith(j) [kA]	tk(j) [sec]	Smin(j) [mm2]	Iv [kA]
2	3	WH1	0.69	0.30	4	0.68	0.30	4	0.00
3	4	WH2	0.68	0.30	5	0.68	0.30	5	0.00
4	5	WH3	0.68	0.30	5	0.65	0.30	5	0.00
5	6	WH4	0.65	0.30	5	0.64	0.30	5	0.00
6	7	WH5	0.64	0.30	5	0.61	0.30	4	0.00
7	8	WH6	0.61	0.30	4	0.60	0.30	4	0.00
8	9	WH7	0.60	0.30	4	0.59	0.30	4	0.00
9	10	WH8	0.59	0.30	4	0.58	0.30	4	0.00
10	11	WH9	0.58	0.30	4	0.56	0.30	4	0.00
11	12	WH10	0.56	0.30	4	0.55	0.30	4	0.00
12	13	WH11	0.55	0.30	4	0.54	0.30	4	0.00
13	14	WH12	0.54	0.30	4	0.52	0.30	4	0.00
14	15	WH13	0.52	0.30	4	0.50	0.30	4	0.00

## 4. Napájení z ŽST Vizovice – maximální zkratové poměry

### 4.2 Vstupní údaje

<b>5. Zakázka:</b>	Otrokovice - Vizovice
<b>Varianta:</b>	10.2016
<b>Poznámka:</b>	Vizovice MAX

Maximální zkratové proudy

Jmenovité napětí sítě	c max	c min
100V ... 1000V	1.10	0.95
>1kV ... 35kV	1.10	1.00
>35kV	1.10	1.00

Uzly			
Uzel	Un [kV]	Název	tk [sec]
1	22.0	TNS Otrokovice - P	1.00
2	22.0	TNS Otrokovice - S	0.30
3	22.0	ŽST Otrokovice	0.30
4	22.0	ŽST Otrokovice tunel	0.30
5	22.0	ZAST Zlín-Malenovice obec	0.30
6	22.0	Odbočka Zlín-Malenovice	0.30
7	22.0	Zast. Zlín-Prštné	0.30
8	22.0	ŽST Zlín-střed	0.30
9	22.0	Zast. Zlín-Dlouhá	0.30
10	22.0	Zast. Zlín-Podvesná	0.30
11	22.0	Výhybna Přílíky	0.30
12	22.0	Zast. Želechovice nad Dřevnicí	0.30
13	22.0	ŽST Lípa nad Dřevnicí	0.30
14	22.0	Zast. Zádveřice	0.30
15	22.0	ŽST Vizovice - S	0.30
16	22.0	ŽST Vizovice - P	1.00

Sítové napaječe						
Uzel	Ik'' [kA]	R/X	Korekce	Stav	Typ	Název
1	13.122	0.1	1.0	VYP	22kV, 500MVA	TNS Otrokovice
16	13.122	0.1	1.0	ZAP	22kV, 500MVA	ŽST Vizovice

Transformátory											
i (prim.)	j (sek.)	St [MVA]	ek [%]	Pk [kW]	Up [kV]	Us [kV]	Regul. ační	Ref. uzel	St av	Typ	Náz ev
1	2	1.6	6.0	17.0	22.0	22.0	ano	sek.	VY P	Transformátor 22/22kV, 1600kVA	T22 -1
15	16	1.6	6.0	17.0	22.0	22.0	ano	sek.	ZA P	Transformátor 22/22kV, 1600kVA	T22 -2

Vedení a kabely										
i	j	l [km]	para l.	Rk [Ohm/km]	Xk [Ohm/km]	Tz [C]	K [...]	St av	Typ	Náz ev
2	3	0.8	2	0.125	0.113	90.0	94.0	ZA P	22-AXEKCY(1x240/25) delta	WH1
3	4	0.65	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZA P	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH2
4	5	3.0	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZA P	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH3
5	6	2.5	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZA P	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH4
6	7	2.9	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZA P	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH5
7	8	1.7	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZA P	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH6
8	9	1.2	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZA P	Noname AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH7
9	10	1.6	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZA P	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH8
10	11	2.75	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZA P	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH9
11	12	1.55	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZA P	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH10
12	13	2.05	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZA P	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH11
13	14	3.25	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZA P	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH12
14	15	3.15	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZA P	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH13

## 4.2 Vypočtené hodnoty

5 Uzlové hodnoty (uk pro zkrat v uzlu 1)															
Uze 1	Un [kV]	Název	tk [s]	Ik'' [kA]	Sk'' [MVA]	kapa( 1)	kapa( 2)	ip(1) [kA]	m	n	Ith [kA]	Ik2'' [kA]	r [p.u. ]	x [p.u. ]	uk [p.u.]
1	22.0	TNS Otrokovice - P	1.00												
2	22.0	TNS Otrokovice - S	0.30	0.57	21.64	1.211	1.211	0.97	0.0 21	1.0 00	0.57	0.49	2.435 13	4.462 37	0.473
3	22.0	ŽST Otrokovice	0.30	0.57	21.69	1.211	1.211	0.98	0.0 21	1.0 00	0.58	0.49	2.424 80	4.453 03	0.474
4	22.0	ŽST Otrokovice tunel	0.30	0.57	21.83	1.216	1.216	0.99	0.0 22	1.0 00	0.58	0.50	2.381 82	4.439 60	0.477
5	22.0	ZAST Zlín-Malenovice obec	0.30	0.59	22.49	1.239	1.239	1.03	0.0 23	1.0 00	0.60	0.51	2.183 48	4.377 61	0.490
6	22.0	Odbočka Zlín- Malenovice	0.30	0.60	23.04	1.262	1.262	1.08	0.0 25	1.0 00	0.61	0.52	2.018 19	4.325 96	0.502
7	22.0	Zast. Zlín-Prštné	0.30	0.62	23.70	1.291	1.291	1.14	0.0 27	1.0 00	0.63	0.54	1.826 45	4.266 04	0.516
8	22.0	ŽST Zlín-střed	0.30	0.63	24.10	1.311	1.311	1.17	0.0 29	1.0 00	0.64	0.55	1.714 05	4.230 92	0.525
9	22.0	Zast. Zlín-Dlouhá	0.30	0.64	24.38	1.325	1.325	1.20	0.0 30	1.0 00	0.65	0.55	1.634 71	4.206 13	0.531
10	22.0	Zast. Zlín-Podvesná	0.30	0.65	24.75	1.346	1.346	1.24	0.0 31	1.0 00	0.66	0.56	1.528 93	4.173 07	0.540
11	22.0	Výhybna Přílíky	0.30	0.67	25.40	1.387	1.387	1.31	0.0 35	1.0 00	0.68	0.58	1.347 11	4.116 25	0.555
12	22.0	Zast. Želechovice nad Dřevnicí	0.30	0.68	25.76	1.413	1.413	1.35	0.0 38	1.0 00	0.69	0.59	1.244 63	4.084 22	0.564
13	22.0	ŽST Lípa nad Dřevnicí	0.30	0.69	26.24	1.450	1.450	1.41	0.0 42	1.0 00	0.70	0.60	1.109 09	4.041 87	0.576

14	22.0	Zast. Zádveřice	0.30	0.71	27.00	1.519	1.519	1.52	0.051	1.000	0.73	0.61	0.89422	3.97472	0.596
15	22.0	ŽST Vizovice - S	0.30	0.73	27.71	1.599	1.599	1.64	0.065	1.000	0.75	0.63	0.68595	3.90964	0.616
16	22.0	ŽST Vizovice - P	1.00	13.12	500.02	1.746	1.746	32.40	0.034	1.000	13.34	11.36	0.02189	0.21890	1.073

Větvové hodnoty (iv(re), iv(im), Iv(i), Iv(j) pro zkrat v uzlu 1)											
i	j	Typ	Název	iv(re) [p.u.]	iv(im) [p.u.]	Iv(i) [kA]	Iv(j) [kA]	r [p.u.]	x [p.u.]	R [Ohm]	X [Ohm]
0	16	ns	ŽST Vizovice	0.04481	-0.11788	0.33	0.33	0.02189	0.21890	0.106	1.059
1	2	tr	T22-1	-0.04481	0.11788	0.33	0.33	0.66406	3.69073	3.214	17.863
15	16	tr	T22-2	-0.04481	0.11788	0.33	0.33	0.66406	3.69073	3.214	17.863
2	3	vk	WH1	-0.04481	0.11788	0.33	0.33	0.01033	0.00934	0.050	0.045
3	4	vk	WH2	-0.04481	0.11788	0.33	0.33	0.04298	0.01343	0.208	0.065
4	5	vk	WH3	-0.04481	0.11788	0.33	0.33	0.19835	0.06198	0.960	0.300
5	6	vk	WH4	-0.04481	0.11788	0.33	0.33	0.16529	0.05165	0.800	0.250
6	7	vk	WH5	-0.04481	0.11788	0.33	0.33	0.19174	0.05992	0.928	0.290
7	8	vk	WH6	-0.04481	0.11788	0.33	0.33	0.11240	0.03512	0.544	0.170
8	9	vk	WH7	-0.04481	0.11788	0.33	0.33	0.07934	0.02479	0.384	0.120
9	10	vk	WH8	-0.04481	0.11788	0.33	0.33	0.10579	0.03306	0.512	0.160
10	11	vk	WH9	-0.04481	0.11788	0.33	0.33	0.18182	0.05682	0.880	0.275
11	12	vk	WH10	-0.04481	0.11788	0.33	0.33	0.10248	0.03202	0.496	0.155
12	13	vk	WH11	-0.04481	0.11788	0.33	0.33	0.13554	0.04236	0.656	0.205
13	14	vk	WH12	-0.04481	0.11788	0.33	0.33	0.21488	0.06715	1.040	0.325
14	15	vk	WH13	-0.04481	0.11788	0.33	0.33	0.20826	0.06508	1.008	0.315

Vedení a kabely (I <sub>v</sub> pro zkrat v uzlu 1)									
i	j	Název	I <sub>th</sub> (i) [kA]	t <sub>k</sub> (i) [sec]	S <sub>min</sub> (i) [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>th</sub> (j) [kA]	t <sub>k</sub> (j) [sec]	S <sub>min</sub> (j) [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>v</sub> [kA]
2	3	WH1	0.57	0.30	3	0.58	0.30	3	0.33
3	4	WH2	0.58	0.30	4	0.58	0.30	4	0.33
4	5	WH3	0.58	0.30	4	0.60	0.30	4	0.33
5	6	WH4	0.60	0.30	4	0.61	0.30	4	0.33
6	7	WH5	0.61	0.30	4	0.63	0.30	5	0.33
7	8	WH6	0.63	0.30	5	0.64	0.30	5	0.33
8	9	WH7	0.64	0.30	5	0.65	0.30	5	0.33
9	10	WH8	0.65	0.30	5	0.66	0.30	5	0.33
10	11	WH9	0.66	0.30	5	0.68	0.30	5	0.33
11	12	WH10	0.68	0.30	5	0.69	0.30	5	0.33
12	13	WH11	0.69	0.30	5	0.70	0.30	5	0.33
13	14	WH12	0.70	0.30	5	0.73	0.30	5	0.33
14	15	WH13	0.73	0.30	5	0.75	0.30	5	0.33

## 6. Napájení z ŽST Vizovice – minimální zkratové poměry

### 5.1 Vstupní údaje

<b>6 Zakázka:</b>	Otrokovice - Vizovice
<b>Varianta:</b>	10.2016
<b>Poznámka:</b>	Vizovice MAX

Minimální zkratové proudy

Jmenovité napětí sítě	c max	c min
100V ... 1000V	1.10	0.95
>1kV ... 35kV	1.10	1.00
>35kV	1.10	1.00

Uzly			
Uzel	Un [kV]	Název	tk [sec]
1	22.0	TNS Otrokovice - P	1.00
2	22.0	TNS Otrokovice - S	0.30
3	22.0	ŽST Otrokovice	0.30
4	22.0	ŽST Otrokovice tunel	0.30
5	22.0	ZAST Zlín-Malenovice obec	0.30
6	22.0	Odbočka Zlín-Malenovice	0.30
7	22.0	Zast. Zlín-Prštné	0.30
8	22.0	ŽST Zlín-střed	0.30
9	22.0	Zast. Zlín-Dlouhá	0.30
10	22.0	Zast. Zlín-Podvesná	0.30
11	22.0	Výhybna Přílíky	0.30
12	22.0	Zast. Želechovice nad Dřevnicí	0.30
13	22.0	ŽST Lípa nad Dřevnicí	0.30
14	22.0	Zast. Zádveřice	0.30
15	22.0	ŽST Vizovice - S	0.30
16	22.0	ŽST Vizovice - P	1.00

Sítové napaječe						
Uzel	Ik'' [kA]	R/X	Korekce	Stav	Typ	Název
1	13.122	0.1	1.0	VYP	22kV, 500MVA	TNS Otrokovice
16	13.122	0.1	1.0	ZAP	22kV, 500MVA	ŽST Vizovice

Transformátory											
i (prim.)	j (sek.)	St [MVA]	ek [%]	Pk [kW]	Up [kV]	Us [kV]	Regul ační	Ref. uzel	St av	Typ	Náz ev
1	2	1.6	6.0	17.0	22.0	22.0	ano	sek.	VY P	Transformátor 22/22kV, 1600kVA	T22 -1
15	16	1.6	6.0	17.0	22.0	22.0	ano	sek.	ZA P	Transformátor 22/22kV, 1600kVA	T22 -2

Vedení a kabely										
i	j	l [km]	para l.	Rk [Ohm/km]	Xk [Ohm/km]	Tz [C]	K [...]	Sta v	Typ	Náze v
2	3	0.8	2	0.125	0.113	90.0	94.0	ZAP	22-AXEKCY(1x240/25) delta	WH1
3	4	0.65	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH2
4	5	3.0	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH3
5	6	2.5	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH4
6	7	2.9	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH5
7	8	1.7	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH6
8	9	1.2	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH7
9	10	1.6	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH8
10	11	2.75	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH9
11	12	1.55	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH10
12	13	2.05	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH11
13	14	3.25	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH12
14	15	3.15	1	0.32	0.1	90.0	76.0	ZAP	AXCES+O 3x95/25 12/20(24)	WH13

## 6.1 Vypočtené hodnoty

7 Uzlové hodnoty (uk pro zkrat v uzlu 1)															
Uze 1	Un [kV]	Název	tk [s]	Ik'' [kA]	Sk'' [MVA]	kapa( 1)	kapa( 2)	ip(1) [kA]	m	n	Ith [kA]	Ik2'' [kA]	r [p.u. ]	x [p.u. ]	uk [p.u.]
1	22.0	TNS Otrokovice - P	1.00												
2	22.0	TNS Otrokovice - S	0.30	0.49	18.80	1.156	1.156	0.81	0.0 18	1.0 00	0.50	0.43	2.922 91	4.442 47	0.422
3	22.0	ŽST Otrokovice	0.30	0.49	18.86	1.157	1.157	0.81	0.0 18	1.0 00	0.50	0.43	2.909 68	4.433 13	0.423
4	22.0	ŽST Otrokovice tunel	0.30	0.50	19.01	1.161	1.161	0.82	0.0 18	1.0 00	0.50	0.43	2.854 68	4.419 70	0.426
5	22.0	ZAST Zlín-Malenovice obec	0.30	0.52	19.71	1.184	1.184	0.87	0.0 20	1.0 00	0.52	0.45	2.600 79	4.357 71	0.439
6	22.0	Odbočka Zlín- Malenovice	0.30	0.53	20.31	1.205	1.205	0.91	0.0 21	1.0 00	0.54	0.46	2.389 22	4.306 06	0.451
7	22.0	Zast. Zlín-Prštné	0.30	0.55	21.02	1.235	1.235	0.96	0.0 23	1.0 00	0.56	0.48	2.143 80	4.246 14	0.466
8	22.0	ŽST Zlín-střed	0.30	0.56	21.45	1.256	1.256	1.00	0.0 24	1.0 00	0.57	0.49	1.999 93	4.211 02	0.476
9	22.0	Zast. Zlín-Dlouhá	0.30	0.57	21.76	1.271	1.271	1.03	0.0 26	1.0 00	0.58	0.49	1.898 38	4.186 23	0.483
10	22.0	Zast. Zlín-Podvesná	0.30	0.58	22.16	1.294	1.294	1.06	0.0 27	1.0 00	0.59	0.50	1.762 97	4.153 17	0.493
11	22.0	Výhybna Přílíky	0.30	0.60	22.87	1.340	1.340	1.14	0.0 31	1.0 00	0.61	0.52	1.530 25	4.096 35	0.510
12	22.0	Zast. Želechovice nad Dřevnicí	0.30	0.61	23.26	1.369	1.369	1.18	0.0 33	1.0 00	0.62	0.53	1.399 07	4.064 32	0.520

13	22.0	ŽST Lípa nad Dřevnicí	0.30	0.62	23.78	1.413	1.413	1.25	0.038	1.000	0.64	0.54	1.22558	4.02197	0.533
14	22.0	Zast. Zádveřice	0.30	0.65	24.59	1.497	1.497	1.37	0.048	1.000	0.66	0.56	0.95054	3.95482	0.556
15	22.0	ŽST Vizovice - S	0.30	0.66	25.32	1.598	1.598	1.50	0.065	1.000	0.69	0.58	0.68396	3.88974	0.578
16	22.0	ŽST Vizovice - P	1.00	13.12	500.02	1.746	1.746	32.40	0.034	1.000	13.34	11.36	0.01990	0.19900	0.979

Větvové hodnoty (iv(re), iv(im), Iv(i), Iv(j) pro zkrat v uzlu 1)											
i	j	Typ	Název	iv(re) [p.u.]	iv(im) [p.u.]	Iv(i) [kA]	Iv(j) [kA]	r [p.u.]	x [p.u.]	R [Ohm]	X [Ohm]
0	16	ns	ŽST Vizovice	0.04540	-0.10293	0.30	0.30	0.01990	0.19900	0.096	0.963
1	2	tr	T22-1	-0.04540	0.10293	0.30	0.30	0.66406	3.69073	3.214	17.863
15	16	tr	T22-2	-0.04540	0.10293	0.30	0.30	0.66406	3.69073	3.214	17.863
2	3	vk	WH1	-0.04540	0.10293	0.30	0.30	0.01322	0.00934	0.064	0.045
3	4	vk	WH2	-0.04540	0.10293	0.30	0.30	0.05501	0.01343	0.266	0.065
4	5	vk	WH3	-0.04540	0.10293	0.30	0.30	0.25388	0.06198	1.229	0.300
5	6	vk	WH4	-0.04540	0.10293	0.30	0.30	0.21157	0.05165	1.024	0.250
6	7	vk	WH5	-0.04540	0.10293	0.30	0.30	0.24542	0.05992	1.188	0.290
7	8	vk	WH6	-0.04540	0.10293	0.30	0.30	0.14387	0.03512	0.696	0.170
8	9	vk	WH7	-0.04540	0.10293	0.30	0.30	0.10155	0.02479	0.492	0.120
9	10	vk	WH8	-0.04540	0.10293	0.30	0.30	0.13540	0.03306	0.655	0.160
10	11	vk	WH9	-0.04540	0.10293	0.30	0.30	0.23273	0.05682	1.126	0.275
11	12	vk	WH10	-0.04540	0.10293	0.30	0.30	0.13117	0.03202	0.635	0.155
12	13	vk	WH11	-0.04540	0.10293	0.30	0.30	0.17349	0.04236	0.840	0.205

13	14	vk	WH12	-0.04540	0.10293	0.30	0.30	0.27504	0.06715	1.331	0.325
14	15	vk	WH13	-0.04540	0.10293	0.30	0.30	0.26658	0.06508	1.290	0.315

Vedení a kabely (I <sub>v</sub> pro zkrat v uzlu 1)									
i	j	Název	I <sub>th</sub> (i) [kA]	t <sub>k</sub> (i) [sec]	S <sub>min</sub> (i) [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>th</sub> (j) [kA]	t <sub>k</sub> (j) [sec]	S <sub>min</sub> (j) [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>v</sub> [kA]
2	3	WH1	0.50	0.30	3	0.50	0.30	3	0.30
3	4	WH2	0.50	0.30	4	0.50	0.30	4	0.30
4	5	WH3	0.50	0.30	4	0.52	0.30	4	0.30
5	6	WH4	0.52	0.30	4	0.54	0.30	4	0.30
6	7	WH5	0.54	0.30	4	0.56	0.30	4	0.30
7	8	WH6	0.56	0.30	4	0.57	0.30	4	0.30
8	9	WH7	0.57	0.30	4	0.58	0.30	4	0.30
9	10	WH8	0.58	0.30	4	0.59	0.30	4	0.30
10	11	WH9	0.59	0.30	4	0.61	0.30	4	0.30
11	12	WH10	0.61	0.30	4	0.62	0.30	4	0.30
12	13	WH11	0.62	0.30	4	0.64	0.30	5	0.30
13	14	WH12	0.64	0.30	5	0.66	0.30	5	0.30
14	15	WH13	0.66	0.30	5	0.69	0.30	5	0.30

## 7. Popis metody výpočtu, definice

## 1. ÚVOD

Program řeší výpočet zkratových proudů podle normy ČSN EN 60909-0: „Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů“, vydané v květnu 2002.

Základní vlastnosti programu:

- počítá trojfázové zkratové proudy ve střídavých soustavách nízkého, vysokého a velmi vysokého napětí, při jmenovitém kmitočtu 50 Hz;
- počítá počáteční souměrný rázový zkratový proud, nárazový zkratový proud a ekvivalentní oteplovací zkratový proud;
- umožňuje výpočet maximálních a minimálních zkratových proudů;
- počítá napětí v uzlech sítě a proudy ve větvích při zkratu;
- umožňuje řešit paprskové i mřížové sítě;
- umožňuje zadání skutečných převodů transformátorů;
- obsahuje databáze základních prvků soustavy (vedení a kabely, transformátory, ...), které je možné dále doplňovat;
- umožňuje jednoduché zadání vstupních dat pro výpočet, s možností rychlé změny konfigurace sítě odpojením zvolených větví nebo spojením vybraných uzlů, beze změny souboru vstupních dat.

Omezení programu:

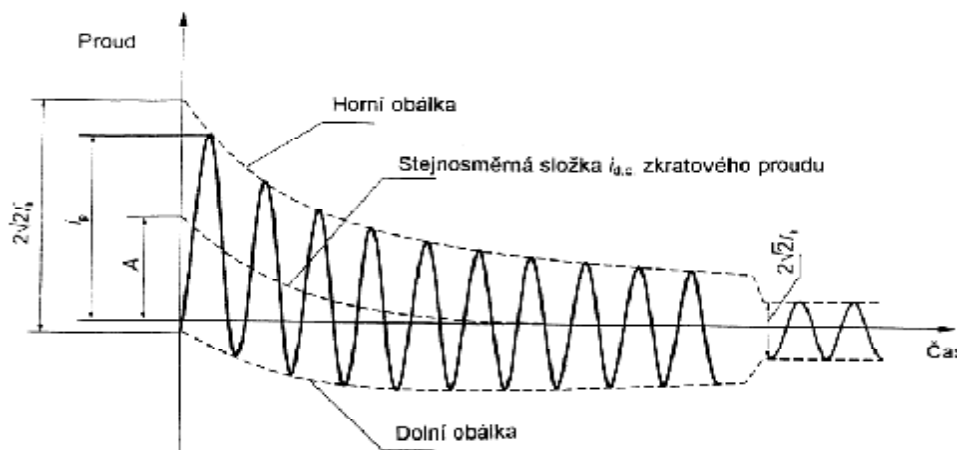
- Neřeší dvoufázové zemní a jednofázové zkratý.
- Není vhodný pro přesný výpočet zkratových proudů uvnitř elektrárenského bloku.

## 2. CHARAKTERISTIKY ZKRATOVÉHO PROUDU A DEFINICE ZÁKLADNÍCH VELIČIN

Zkratový proud v místě zkratu je funkcí času od počátku zkratu až do jeho konce. Ve většině případů není nutný přesný výpočet zkratového proudu, ale pouze hodnot, které průběh zkratového proudu charakterizují.

Na obrázku 1 je typický průběh zkratového proudu při elektricky blízkém zkratu, s klesající stejnosměrnou složkou a střídavou složkou (převzato z normy ČSN EN 60909-0). (Poznámka: V případě elektricky vzdáleného zkratu je střídavá složka zkratového proudu konstantní).

obrázek 1



## Definice

$I_k$	počáteční souměrný rázový zkratový proud ( <i>initial symmetrical short-circuit current</i> ) Efektivní hodnota střídavé souměrné složky zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu
$S_k$	počáteční souměrný rázový zkratový výkon ( <i>initial symmetrical short-circuit power</i> ) $S_k = \sqrt{3} \cdot U_n I_k$ Pomyslná hodnota definovaná jako součin počátečního souměrného rázového zkratového proudu $I_k$ a jmenovitého napětí sítě $U_n$
$i_{d.c.}$	stejnoseměrná (aperiodická) složka zkratového proudu ( <i>decaying (aperiodic) component of short-circuit current</i> ) Střední hodnota horní a dolní obalové křivky průběhu zkratového proudu, klesající ze své počáteční hodnoty k nule (viz. obrázek 1 - A = počáteční hodnota stejnosměrné složky)
$i_p$	nárazový zkratový proud ( <i>peak short-circuit current</i> ) Maximální možná okamžitá hodnota zkratového proudu
$I_b$	souměrný zkratový vypínací proud ( <i>symmetrical short-circuit breaking current</i> ) Efektivní hodnota úplné periody souměrné složky zkratového proudu v okamžiku oddělení kontaktů prvního pólu spínacího zařízení
$I_k$	ustálený zkratový vypínací proud ( <i>steady-state short-circuit current</i> ) Efektivní hodnota úplné periody souměrné složky zkratového proudu v okamžiku oddělení kontaktů prvního pólu spínacího zařízení
$I_{th}$	ekvivalentní oteplovací zkratový proud ( <i>thermal equivalent short-circuit current</i> ) Efektivní hodnota proudu, který má stejné tepelné účinky a stejnou dobu trvání, jako skutečný zkratový proud, který může obsahovat stejnosměrnou složku a s časem se mění
$cU_n/\sqrt{3}$	napětí ekvivalentního zdroje ( <i>voltage of equivalent source</i> ) Napětí ideálního zdroje, přiložené v místě zkratu v sousledné složkové soustavě, pro výpočet zkratového proudu
$c$	napětíový součinitel ( <i>voltage factor</i> ) Poměr mezi napětím ekvivalentního napětíového zdroje a jmenovitým napětím sítě, dělený odmocninou 3
<b>elektricky vzdálený zkrat</b>	zkrat, při kterém velikost souměrné složky zkratového proudu zůstává v podstatě konstantní
<b>elektricky blízký zkrat</b>	zkrat, při kterém příspěvek alespoň jednoho synchronního stroje k počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu překračuje dvojnásobek jmenovitého proudu stroje, nebo zkrat, při kterém příspěvek asynchronních motorů překračuje 5% počátečního souměrného rázového zkratového proudu

### 3. METODA VÝPOČTU

- Metoda použitá pro výpočet je založena na zavedení ekvivalentního napětového zdroje v místě zkratu.
- Všechny zdroje zkratového proudu - síťové napáječe, synchronní a asynchronní stroje jsou nahrazeny svou vnitřní impedancí.
- U transformátorů s přepínači odboček se uvažují impedance pro přepínače odboček v základní poloze a zavádí se korekční součinitel.
- Všechny kapacity vedení a paralelní admitance jsou zanedbány.
- Pro výpočet maximálních zkratových proudů platí následující podmínky:
  - a) použije se napětový součinitel  $c_{\max}$
  - b) do výpočtu jsou zahrnuty asynchronní motory
  - c) uvažuje se rezistance vodičů (venkovních vedení a kabelů) při teplotě 20 °C
  - d) vybere se konfigurace sítě s maximálními příspěvky ze síťových napáječů a elektráren (neřeší program, ale musí zadat uživatel)
- Pro výpočet minimálních zkratových proudů platí následující podmínky:
  - a) použije se napětový součinitel  $c_{\min}$
  - b) do výpočtu nejsou zahrnuty asynchronní motory
  - c) uvažuje se rezistance vodičů (venkovních vedení a kabelů) při nejvyšší teplotě na konci zkratu (doporučuje se uvažovat maximální dovolenou teplotu vodičů)
  - d) vybere se konfigurace sítě s minimálními příspěvky ze síťových napáječů a elektráren (neřeší program, ale musí zadat uživatel)
- Ze základních parametrů prvků sítě počítá program jejich větвовé impedance a větвовé admitance, z větвовých admitancí sestaví uzlovou admitanční matici. Inverzí uzlové admitanční matice se získá uzlová impedanční matice, ze které je možné pro každý uzel sítě vypočítat zkratový proud a případně i napětí v jednotlivých uzlech sítě a větвовé proudy při zkratu v libovolném uzlu.
- Je možné počítat zkratové proudy v paprskových i mřížových sítích (větve mohou tvořit smyčky).
- Ze zkratového proudu ve zvoleném uzlu a uzlové impedanční matice se počítají napětí v ostatních uzlech sítě.
- Z uzlových napětí při zkratu ve zvoleném uzlu a z větвовých impedancí se počítají proudy ve větvách.
- Nárazový zkratový proud se počítá dvěma způsoby:
  - a) Metodou ekvivalentního kmitočtu 20 Hz (podle odstavce 4.3.1.2 c) normy ČSN EN 60909-0), kdy je nárazový zkratový proud počítán podle vzorce
 
$$i_p(1) = k_{\text{apa}}(1) \times \sqrt{2} \times I_k''$$
  - b) Podle poměru R/X v místě zkratu (podle odstavce 4.3.1.2 b) normy ČSN EN 60909-0), kdy je nárazový zkratový proud počítán podle vzorce
 
$$i_p(2) = 1,15 \times k_{\text{apa}}(2) \times \sqrt{2} \times I_k''$$

Součin 1,15 x  $k_{\text{apa}}(2)$  přitom nesmí překročit hodnotu 2,0.

Doporučujeme používat nárazový zkratový proud, vypočtený podle metody a), metoda b) dává většinou vyšší hodnoty nárazového zkratového proudu (s rezervou).
- Ekvivalentní oteplovací zkratový proud se počítá pro zvolenou dobu trvání zkratového proudu, pomocí koeficientů  $m$  (součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky) a  $n$  (součinitel pro tepelné účinky střídavé složky), podle odstavce 4.8 normy ČSN EN 60909-0 a vzorců, uvedených v normě ČSN EN 60909-1: *Výpočet zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách. Část 1 - Součinitele pro výpočet zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách podle IEC 909 (5/1997).*

## 9. VÝSTUPNÍ DATA VÝPOČTU

### 9.1. Uzlové hodnoty

Jsou v tabulce výstupních dat uvedeny v následujícím pořadí:

- Uzel číslo uzlu
- Un [kV] jmenovité napětí uzlu
- Název název uzlu
- tk [s] doba trvání zkratu, používá se při výpočtu ekvivalentního oteplovacího proudu
- Ik" [kA] počáteční souměrný rázový zkratový proud při zkratu v daném uzlu
- Sk" [MVA] počáteční souměrný rázový zkratový výkon při zkratu v daném uzlu
- kapa(1) součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu  $i_p(1)$ , hodnota vypočtená metodou ekvivalentního kmitočtu 20 Hz (podle odstavce 4.3.1.2 c) normy ČSN EN 60909-0),
- kapa(2) součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu  $i_p(2)$ , hodnota vypočtená z poměru R/X v místě zkratu (podle odstavce 4.3.1.2 b) normy ČSN EN 60909-0),
- ip(1) [kA] nárazový zkratový proud při zkratu v daném uzlu, hodnota vypočtená podle vzorce:

$$i_p(1) = kapa(1) \times \sqrt{2} \times I_k''$$

- m součinitel pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu - pro časově závislý tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu
- n součinitel pro výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu - pro časově závislý tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu
- lth [kA] ekvivalentní oteplovací zkratový proud
- Ik2" [kA] počáteční souměrný rázový zkratový proud při dvoufázové zkratu (POZOR - ne při dvoufázovém zemním zkratu), vypočtený podle vzorce:

$$I_{K2}'' = I_K'' \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

- r [p.u.] reálná složka zkratové impedance v uzlu (rezistance), poměrná hodnota při vztažném výkonu 100 MVA. Přepočet na hodnotu v ohmech je podle vzorce:

$$R = r \times \frac{U_n^2}{100} \quad [\Omega; kV]$$

- x [p.u.] imaginární složka zkratové impedance v uzlu (reaktance), poměrná hodnota při vztažném výkonu 100 MVA. Přepočet na hodnotu v ohmech je podle vzorce:

$$X = x \times \frac{U_n^2}{100} \quad [\Omega; kV]$$

- uk [p.u.] napětí v daném uzlu při zkratu v uzlu sítě, uvedeném v záhlaví tabulky (např. - uk pro zkrat v Uzel 1, Un = 110kV, R1). Pokud chceme zjistit napětí při zkratu v jiném uzlu sítě, musíme v záhlaví (v roletce) změnit uzel.

Je uvedena poměrná hodnota napětí, skutečné napětí v uzlu je  $U_k = uk \times U_n$

Napětí v jednotlivých uzlech sítě při zkratu se odvozují od napětí ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu, které je  $c_{max} \cdot U_n$  při výpočtu maximálních zkratových proudů a  $c_{min} \cdot U_n$  při výpočtu minimálních zkratových proudů. Proto některá napětí mohou být při výpočtu maximálních zkratových proudů větší než 1,0 p.u.

Poznámka: Nárazový zkratový  $i_p(2)$ , vypočtený podle vzorce:  $i_p(2) = 1,15 \times kapa(2) \times \sqrt{2} \times I_k''$ , (tedy podle odstavce 4.3.1.2 b) normy ČSN EN 60909-0), není ve výstupních datech uveden.

## 9.2. Větвовé hodnoty

Jsou v tabulce uvedeny v následujícím pořadí:

- i počáteční uzel větve
- j koncový uzel větve
- typ typ větve
  - ns síťový napáječ
  - tr transformátor
  - t3 trojvinutový transformátor
  - vk vedení nebo kabel
  - re reaktor
  - ss synchronní stroj
  - am asynchronní motor
  - sp spojka nakrátko

- Název název větve
- iv(re) [p.u.] reálná složka větвовého proudu mezi uzly  $i - j$ , při zkratu v uzlu uvedeném v roletce v záhlaví tabulky. Poměrná hodnota při vztažném výkonu  $S_v = 100$  MVA, poměrné hodnoty proudu je možné v celé síti sečítat, bez ohledu na napětí v uzlech.
- iv(im) [p.u.] imaginární složka větвовého proudu mezi uzly  $i - j$ , při zkratu v uzlu uvedeném v roletce v záhlaví tabulky. Poměrná hodnota při vztažném výkonu  $S_v = 100$  MVA.
- iv(re) [p.u.] reálná složka větвовého proudu mezi uzly  $i - j$ , při zkratu v uzlu uvedeném v roletce v záhlaví tabulky. Poměrná hodnota při vztažném výkonu  $S_v = 100$  MVA, poměrné hodnoty proudu je možné v celé síti sečítat, bez ohledu na napětí v uzlech.

- Iv(i) [kA] absolutní hodnota větвовého proudu mezi uzly  $i - j$ , při zkratu v uzlu uvedeném v roletce v záhlaví tabulky. Proud je přepočten na napětí v uzlu  $i$ , podle vzorce:

$$I_v(i) = \sqrt{iv(re)^2 + iv(im)^2} \times \frac{100 \text{ MVA}}{\sqrt{3} U_{ni}}$$

- Iv(j) [kA] absolutní hodnota větвовého proudu mezi uzly  $i - j$ , při zkratu v uzlu uvedeném v roletce v záhlaví tabulky. Proud je přepočten na napětí v uzlu  $j$ , podle vzorce:

$$I_v(j) = \sqrt{iv(re)^2 + iv(im)^2} \times \frac{100 \text{ MVA}}{\sqrt{3} U_{nj}}$$

Pro transformátory jsou Iv(i) a Iv(re) různé, u ostatních typů větví jsou stejné.

Pro každý trojvinutový transformátor se automaticky zavede 1 fiktivní uzel navíc.

Pokud chceme zjistit hodnoty větвовých proudů iv(re), iv(im), Iv(i), Iv(j) při zkratu v jiném uzlu sítě, musíme v záhlaví tabulky (v roletce) změnit uzel.

- r [p.u.] reálná složka větвовé impedance (rezistance), poměrná hodnota při vztažném výkonu 100 MVA
- x [p.u.] imaginární složka větвовé impedance (reaktance), poměrná hodnota při vztažném výkonu 100 MVA
- R [Ohm] reálná složka větвовé impedance (rezistance) v Ohmech, vztažená k jmenovitému napětí uzlu  $j$ . Přepočet mezi  $r$  a  $R$  je podle vzorce:

$$R = r \times \frac{U_{nj}^2}{100} \quad [\Omega; kV]$$

- X [Ohm] imaginární složka větвовé impedance (reaktance) v Ohmech, vztažená k jmenovitému napětí uzlu  $j$ . Přepočet mezi  $x$  a  $X$  je podle vzorce:

$$X = x \times \frac{U_{nj}^2}{100} \quad [\Omega; kV]$$

**Poznámka:** U trojvinutových transformátorů jsou impedance v Ohmech vztaženy ke jmenovitému napětí uzlu  $i$ .

### 9.3. Vedení a kabely

V této výstupní tabulce jsou uvedeny pouze větve typu „*vedení a kabely*“, některé údaje jsou stejné, jako v tabulce větvových hodnot. Výsledky jsou uvedeny v následujícím pořadí:

- $i$  počáteční uzel větve
- $j$  koncový uzel větve
- Název název větve
- $I_{th}(i)$  [kA] ekvivalentní oteplovací proud v uzlu  $i$  - na začátku vedení
- $t_k(i)$  [sec] doba trvání zkratu v uzlu  $i$  - na začátku vedení
- $S_{min}(i)$  [mm<sup>2</sup>] minimální průřez kabelu podle kapitoly 8, vypočtený z hodnot  $I_{th}(i)$  a  $t_k(i)$
- $I_{th}(j)$  [kA] ekvivalentní oteplovací proud v uzlu  $j$  - na konci vedení
- $t_k(j)$  [sec] doba trvání zkratu v uzlu  $j$  - na konci vedení
- $S_{min}(j)$  [mm<sup>2</sup>] minimální průřez kabelu podle kapitoly 8, vypočtený z hodnot  $I_{th}(j)$  a  $t_k(j)$
- $I_v$  [kA] absolutní hodnota větvového proudu v kabelu mezi uzly  $i - j$ , při zkratu v uzlu uvedeném v roletce v záhlaví tabulky.

Výpočet minimálního průřezu kabelu vychází z hodnoty uzlového ekvivalentního oteplovacího proudu na začátku nebo na konci kabelu, také doba trvání zkratového proudu se uvádí pro každý uzel. Toto nemusí odpovídat skutečnosti, protože jističí prvky (ochrany, pojistky, jističe) jsou umístovány na začátku a konci větve (vedení, kabel, transformátor), nebo na vývodu na synchronní stroj nebo asynchronní motor.

Je možný jednoduchý výpočet rozdělení počátečního souměrného rázového zkratového proudu  $I_k$  ve větvích sítě - tabulka větvových hodnot. Obecný výpočet ekvivalentních oteplovacích proudů ve větvích v mřížové síti je ale obtížný. Proto bylo zvoleno výše uvedené zjednodušení - výpočet uzlových ekvivalentních oteplovacích proudů.

Vypočtené minimální průřezy  $S_{min}(i)$  a  $S_{min}(j)$  je proto nutné brát **POUZE JAKO INFORMATIVNÍ HODNOTY**, je na řešiteli, aby podle konfigurace sítě kriticky posoudil, který údaj je správný, případně provedl před výpočtem minimálního průřezu kabelu odpovídající zásahy v zadání výpočtu.

Podrobněji je problematika výpočtu minimálního průřezu kabelu vysvětlena v Příloze 1.