



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Doprava

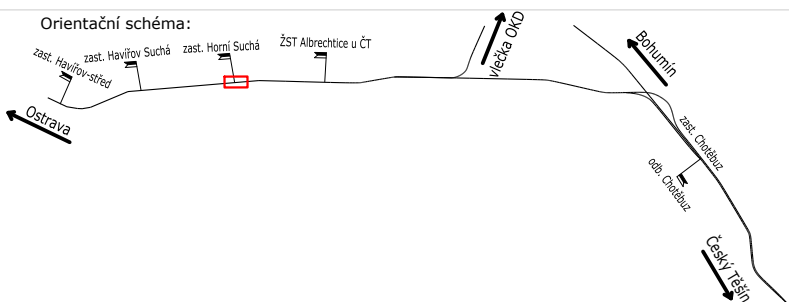
Ministerstvo dopravy
Státní fond dopravní
infrastruktury



Jiná ověření:

Paré:

Orientační schéma:






Razítko oprávněné osoby:

Podpis:

Datum:

Revize:	Datum:	Popis:	Kontroloval:
000	30.12.2022	Definitivní odevzdání dokumentace	Ing. Vladimír Čechák

Stavebník/Investor:	Správa železnic, státní organizace		SPRÁVA ŽELEZNIC
Adresa:	Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1		
Zástupce investora:	Stavební správa východ		
Adresa:	Nerudova 1, 779 00 Olomouc		

Zhotovitel díla:	EXprojekt s.r.o.		
Adresa:	Heršpická 758/13, 619 00 Brno		
Kontakt:	T: +420 533 312 000 E: info@exprojekt.cz		
Zhotovitel objektu:	SB projekt s.r.o.		
Adresa:	Kasárenská 4063/4, 695 01 Hodonín		
Kontakt:	T: +420 725 528 626 E: info@sbprojekt.cz		
Hlavní projektant (HIP):	Ing. Pavel Odehnal Ing. Dominik Mojžíšek	Specialista:	Ing. Marek Vývoda

Název stavby/akce:	Optimalizace traťového úseku Český Těšín (mimo) - Albrechtice u Českého Těšína (včetně)	Označení investora: S621700032
Název části:	Technologie transformačních stanic vn/nn (energetika)	Zakázka: 2021-024
Název objektu/dílní části:	zast. Horní Suchá, STS LDSŽ 22kV	Označení části: D.1.3.5
Název přílohy:	Výpočty	Označení objektu/komplexu: PS 14-03-51
Název dílní části přílohy:	Výpočet sítě LDSŽ 22kV: NTS Albrechtice - NTS Vratimov	Číslo přílohy (typ/pořadí): 3. 002
Odpovědný projektant: Ing. Vladimír Čechák	Zpracovatel přílohy: Petr Kudělka	Měřítko: - Formáty: 53 x A4
Kraj: Moravskoslezský	Katastrální území: Horní Suchá [644404]	TUDU: 2521 04
		Stupeň dokumentace: DUR
		Smluvní datum zpracování: 30.12.2022

Kódové označení přílohy:
S621700032_DURX_D1305_PS140351_3_002_000



OPTIMALIZACE T.U. Č. TĚŠÍN (MIMO) – ALBRECHTICE U ČT (VČETNĚ)

VÝPOČET SÍTĚ LDSŽ 22 KV - NAPÁJENÝ ÚSEK: „NTS ALBRECHTICE – TNS HAVÍŘOV – NTS VRATIMOV“

Vypracoval:
Petr Kudělka

Datum:
10. března 2022

Verze:
01 – K připomínkám

1. Obsah

1. Obsah	1
2. Identifikační údaje:	2
3. Úvod.....	3
3.1. Základní stavy napájení LDSž 22 kV je definován konfigurací sítě:.....	3
3.2. Způsob provozování zdrojových transformátorů NTS	3
3.3. Návrh způsobu uzemnění uzlu vn sítě 22 kV	4
4. Výpočet a návrh parametrů uzlových odporů napájecí sítě 22 kV	4
4.1. Výpočet kapacity sítě 22 kV:	5
4.2. Výpočet rezistence odporů podle varianty napájení uvedené v tabulce 3.....	6
4.3. Volba parametrů odporů pro NTS1 Albrechtice	7
4.3.1. Návrh parametrů odporů pro NTS1 Albrechtice:.....	7
4.4. Výpočet poruchového proudu v místě zemní poruchy:	7
5. Výpočet nárůstu potenciálu země a kontrola dotykových napětí	8
5.1. Dimenzování uzemnění na trakční napájecí stanice obecně:	9
5.1.1. Dimenzování pro trakční měniřny (stejnoseměrná trakční soustava 3 kV DC) – navrhovaný stav	9
5.1.2. Dimenzování pro trakční transformovny (střídavá trakční soustava 25 kV AC 50 Hz) – případný budoucí stav.....	9
5.2. Dimenzování uzemnění na trafostanice 22/0,4 kV:.....	10
5.2.1. Podmínky pro použití ochrany automatickým odpojením od zdroje v sítích TN.....	10
5.2.2. Podmínky pro použití ochrany automatickým odpojením od zdroje proudovými chrániči v distribuční síti TT.....	12
5.3. Dimenzování uzemnění trakčních podpěr, na kterých je uložen závěsný kabel 22kV:	13
5.4. Uzemnění stínění kabelů 22 kV.....	14
6. Kontrola dimenzování jmenovitého výkonu vstupních napájecích transformátorů	15
7. Návrh průřezu kabelového vedení 22kV z hlediska proudového dimenzování, přenosové schopnosti a úbytku napětí.....	18
7.1. Dimenzování jmenovitého proudu kabelu pro LDSž.....	18
7.2. Návrh průřezu kabelového vedení 22 kV z hlediska přenosové schopnosti a úbytků napětí.....	19
8. Výpočet zkratových poměrů na úrovni vn a nn magistralního rozvodu	22
8.1. Topografie výpočtu – výpočtové uzly – úsek NTS1 Albrechtice – TS 7005 Havířov – NTS Vratimov (budoucí stav).....	23
8.2. Napájení z NTS1 Albrechtice – TS 7005 Havířov – NTS Vratimov – maximální zkratové poměry – vstupní údaje	24
8.3. Napájení z NTS1 Albrechtice – TS 7005 Havířov – NTS Vratimov – maximální zkratové poměry – výsledky výpočtů	27

8.4. Napájení z NTS1 Albrechtice – TS 7005 Havířov – NTS Vratimov – minimální zkratové poměry – vstupní údaje	29
8.5. Napájení z NTS1 Albrechtice – TS 7005 Havířov – NTS Vratimov – minimální zkratové poměry – výsledky výpočtů	32
8.6. Popis metody výpočtu zkratových poměrů	35
8.7. Kontrola minimálního zkratového proudu.....	35
9. Závěr	37
10. Zadávací podklady:.....	39
11. Příloha:	39
· Popis metody výpočtu zkratových poměrů	39

2. Identifikační údaje:

Objednatel:

SB projekt s.r.o.

Kasárenská 4063/4, 695 01 Hodonín

IČ: 27767442

DIČ: CZ27767442

Zhotovitel:

Petr Kudělka

Projektování elektrických zařízení

U Sadu 354/30B

747 20 Vřesina

IČ: 69245797

DIČ: 7103185518

3. Úvod

Předmětem tohoto dokumentu je výpočet magistrálního rozvodu 22 kV k napájenému úseku NTS1 Albrechtice – NTS TS 7005 Havířov s uvažování budoucího rozšíření do NTS Vratimov v rámci stavby Optimalizace t.ú. Č. Těšín (mimo) – Albrechtice u ČT (včetně). V rámci těchto výpočtu je řešeno napájení z NTS1 Albrechtice. Napájení z NTS TS 7005 Havířov musí být řešeno v rámci navazující stavby Optimalizace t.ú. Albrechtice u Českého Těšína (mimo) – Havířov (mimo). Výpočet pro případné budoucí rozšíření ve směru na NTS Vratimov musí být rovněž řešeno samostatným výpočtem.

Možným zdrojem napájení uvažovaným v tomto výpočtu je:

- NTS1 Albrechtice, který bude připojen ke stávající TNS Albrechtice

Výpočet magistrálního rozvodu je řešen v rozsahu:

- Výpočet a návrh parametrů uzlových odporníků napájecí sítě 22kV
- Dimenzování jmenovitého výkonu vstupních napájecích transformátorů
- Výpočet nárůstu potenciálu země a kontrola dotykových napětí
- Návrh průřezu kabelového vedení 22kV z hlediska proudové dimenzování, přenosové schopnost a úbytku napětí
- Kontrola dimenzování jmenovitého výkonu vstupních napájecích transformátorů
- Výpočet zkratových poměrů na úrovni vn a nn magistrálního rozvodu

Tabulka 1

Možností napájení úseků z jednotlivých zdrojů:

Zdroj napájení LDSž 22 kV	Napájený úsek	
	NTS: TS 7005 Havířov	NTS Vratimov
NTS1 Albrechtice	Prioritní napájení	Budoucí stav

Zdroj napájení LDSž 22 kV	Napájený úsek	
	NTS1 Albrechtice	NTS Vratimov
NTS: TS 7005 Havířov	Záložní napájení	Nepředpokládá se

Zdroj napájení LDSž 22 kV	Napájený úsek	
	NTS1 Albrechtice	
NTS Vratimov	Budoucí stav	

3.1. Základní stavy napájení LDSž 22 kV je definován konfigurací sítě:

Základní stavy napájení LDSž 22 kV jsou definovány zadávacími podklady výpočtu, konkrétně přílohou: Schéma napájení rozvodu LDSž 22 kV, Autor: Ing. Vladimír Čechák, SB projekt s.r.o. a na základě projednání s projektantem a provozovatelem Správa železnic, s.o., Oblastní ředitelství Ostrava.

3.2. Způsob provozování zdrojových transformátorů NTS

Zdroj napájení je určen pro napájení vždy jednoho úseku kabelové sítě magistrálního rozvodu LDSž 22 kV. Další úseku magistrálního rozvodu z TNS budou napájeny z jiných transformátorů. Tato konfigurace je dána zadáním a koncepcí projektového řešení. Zdrojem napájení se rozumí jeden transformátor 110/22 kV nebo jeden transformátor 22/22 kV. Paralelní provoz zdrojových

transformátorů se neuvažuje a není možný. Přepínání transformátorů zdrojů bez přerušení v rámci jedné NTS pracujících do jedné přípojnice rozvodny 22 kV napájející více kabelových úseku LDSž 22 kV není možné. Tato podmínka je rozhodující pro výpočet parametrů uzlových odporníků a dimenzování uzemnění elektrických stanic. Paralelní provoz těchto transformátorů a přepínání transformátorů bez přerušení napájení je nutné zakázat blokováním v řídicím systému rozvodu 22 kV.

3.3. 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 zhašecí 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. Nevýhodou této sítě je: vyšší investiční náklady při pořízení kompenzační tlumivky, automatiky ladění, ochran. Složitější výpočty a nastavení ochran, složitější a nákladnější údržba sofistikovaného systému. Kompenzovaná síť je obecně výhodnější pro venkovní vedení než pro kabelové sítě. 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. S výhodou proto můžeme využít jednoduché detekce místa poruchy a ztlumení přepětí v síti při zemní poruše vlivem činného proudu tekoucího odporníkem do sítě.

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

4. Výpočet a návrh parametrů uzlových odporníků napájecí sítě 22 kV

Pro návrh odporníku jsou rozhodující parametry sítě 22 kV. Pro přenos elektrické energie v projektovaném úseku NTS1 Albrechtice – TP č. 163 v km 16,1 budou sloužit kabely 22kV typu AXCES 12/20 3x95/25. Všechny kabely v tomto projektovaném úseku budou zavěšeny na trakčních podpěrách. Stejný typ kabelu se předpokládá i v dalším úseku TP č. 163 v km 16,1 až NTS TS 7005 Havířov a v budoucím stavu až do NTS Vratimov. V těchto úsecích bude kabel uložen na trakčních podpěrách, případně v zemi. V případě, že by byl použit jiný typ kabelů, je potřeba výpočet aktualizovat. Pro výpočet uzlového odporníku se počítá s největší celkovou předpokládanou délkou.

Tato síť je definována jako lokální distribuční síť Správy železnic, s.o. a bude napájena dle možností uvedených v kapitole 3.

Napájení sítě bude vždy jednostranné, a to buď celé sítě, nebo jejich dílčích částí. Pro návrh parametrů odporníku je tedy rozhodující největší délka připojeného kabelového rozvodu 22 kV.

Kapacitance kabelu AXCES 3x95/25 12/22(24)kV je 0,25 uF/km. Vypočtená a výrobce kabelu stanovená hodnota zemního poruchového proudu při zemním spojení je 3,30 A/km.

4.1. Výpočet kapacity sítě 22 kV:

Tabulka 2

a) Prioritní napájení: Z NTS1 Albrechtice směrem na NTS TS 7005 Havířov – Projektovaný stav

začátek	konec	typ kabelu	délka	$I_{kap/km}$	I_c
			km	A/km	A
NTS1	TS 7001 Horní Suchá	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	2,500	3,30	8,250
TS 7001 Horní Suchá	TS 7002 Havířov Suchá	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	2,600	3,30	8,580
TS 7002 Havířov Suchá	TS 7003 Havířov Střed	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	1,712	3,30	5,650
TS 7003 Havířov Střed	TS 7004 Havířov	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	1,700	3,30	5,610
TS 7004 Havířov	TS 7005 Havířov	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	0,630	3,30	2,079
Celkem			9,142		30,169

Tabulka 3

b) Prioritní napájení: Z NTS1 Albrechtice směrem na NTS Vratimov – Budoucí stav

začátek	konec	typ kabelu	délka	$I_{kap/km}$	I_c
			km	A/km	A
NTS1	TS 7001 Horní Suchá	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	2,500	3,30	8,250
TS 7001 Horní Suchá	TS 7002 Havířov Suchá	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	2,600	3,30	8,580
TS 7002 Havířov Suchá	TS 7003 Havířov Střed	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	1,712	3,30	5,650
TS 7003 Havířov Střed	TS 7004 Havířov	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	1,700	3,30	5,610
TS 7004 Havířov	TS 7005 Havířov	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	0,630	3,30	2,079
TS 7005 Havířov	TM Vratimov	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	10,400	3,30	34,320
Celkem			19,542		64,489

4.2. Výpočet rezistence odporníku podle varianty napájení uvedené v tabulce 3

b) Prioritní napájení: Z NTS1 ALbrechtice směrem na NTS Vratimov – Budoucí stav

Volba dle rozsahu sítě dle tabulky 3 je provedena pro největší budoucí rozsah napájené kabelové sítě 22 kV dle podkladů zadání výpočtů. S ohledem na správnou funkci ochran 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. 3 vypočten s hodnotou 64,489 A.

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

$$I_R = 1,2 \cdot 64,489 = 77,386 \text{ A}$$

Odporník navrhujeme volit s rezervou se jmenovitým krátkodobým proudem $I_N = 80 \text{ A}$. Hodnota je vybrána z normové řady dle ČSN EN 60059.

Jmenovitá rezistence odporníku je vypočtena:

$$R_N = \frac{U_f}{I_N} = \frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot I_N} = \frac{23000}{\sqrt{3} \cdot 80} = 165,988 \Omega$$

4.3. Volba parametrů odporníků pro NTS1 Albrechtice

Dle výsledků výpočtů rezistence odporníků podle variant napájení provedeme volbu odporníků pro NTS1 Albrechtice. Vzhledem k tomu, že napájení trafostanic v napájeném úseku dle variant napájení v předchozích kapitolách bude možné jak z NTS1 Albrechtice, tak z NTS TS 7005 Havířov a do budoucna z NTS Vratimov, je potřeba zvolit parametry odporníků již v první připravované stavbě Optimalizace t.ú. Č. Těšín (mimo) – Albrechtice u ČT (včetně) v rámci tohoto výpočtu.

Pro NTS1 Albrechtice navrhujeme použít odporník s parametry dle kapitoly 4.2 s jmenovitým proudem 80 A.

Pro NTS TS 7005 Havířov musí být určeny parametry odporníku v projektové dokumentaci stavby Optimalizace t.ú. Albrechtice u Českého Těšína (mimo) – Havířov (mimo).

Pro NTS Vratimov musí být určeny parametry odporníku v budoucí projektové dokumentaci, která bude řešit úsek napájení NTS Vratimov – TS 7005 Havířov.

4.3.1. Návrh parametrů odporníku pro NTS1 Albrechtice:

Jmenovité napětí sítě:	23 kV
Jmenovité napětí odporníku:	13,3 kV
Jmenovitý proud odporníku:	80 A
Jmenovitý odpor odporníku:	165,988 ±10% Ω
Doba zatížení odporníku:	6 s
Trvalé povolené napětí:	10% (1330 V)
Chlazení:	AN
Stupeň krytí:	IP23
Instalace:	vnitřní/venkovní
Proudový transformátor 1 na nn straně	80//1 A; další parametry – projekt
Proudový transformátor 2 na nn straně (kostrový)	80//1 A; další parametry – projekt

4.4. 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 proudu počítáme při provozu jednoho napájecího transformátoru 22/22 kV a jednoho odporníku se jmenovitým krátkodobým proudem $I_N = 80$ A.

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.

$$I_{por\ min} = I_R = \frac{0,3 \cdot U_s}{\sqrt{3} \cdot R_N} = \frac{0,3 \cdot 23000}{\sqrt{3} \cdot 106,232} = 24,0\ A$$

Pro účely nastavení ochran je možné uvažovat s minimálním poruchovým proudem 24,0 A. Tato hodnota je dostatečná i v případě minimální konfigurace sítě.

Maximální hodnota poruchového proudu:

Maximální hodnotu proudu počítáme při provozu napájecího transformátoru 23/23 kV a s odporníkem s jmenovitým krátkodobým proudem $I_N = 80$ A a s maximální hodnotou vypočteného kapacitního proudu při poruše dle tab. 3.

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

$$I_{por\ max} = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{80^2 + 64,489^2} = 102,756\ A$$

Pro účely dimenzování uzemnění je nutné počítat s maximálním poruchovým proudem 102,756 A. Tuto hodnotu budeme používat pro výpočet nárůstu potenciálu země a kontroly dotykového napětí v kap. 5.

5. Výpočet nárůstu potenciálu země a kontrola dotykových napětí

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 $I_{por\ max}$ (zemního proudu I_E) je vypočtena v předchozí kapitole. $I_{por\ max} = I_E = 102,756$ A, zaokrouhlená hodnota je 103,0 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 výhybních.

Dovolené dotykové napětí U_{Tp} pro uzavřené elektrické stanice dle ČSN EN 50522 tab. B.3.

Pro výpočet dimenzování uzemnění jsou rozhodující:

Zemní proud I_E 103 A

Trvání poruchy t_f 0,40 s

Dovolené dotykové napětí U_{Tp} 300 V dle ČSN EN 50522 tab. B.3

Doba trvání poruchy t_f je doba od vzniku poruchy do vypnutí. Musí do ní být započten vypínací čas ochrany od času vzniku a vypínací čas vypínače vn. Doba trvání poruchy t_f platí pro hlavní a záložní ochrany. Pro hlavní ochrany se počítá s použitím zejména diferenciálních ochran liniových kabelových vedení a dalších ochran. Předmětem tohoto výpočtu není řešení systému ochran. Na volbě doby trvání poruchy t_f závisí volba Dovolené dotykové napětí U_{Tp} . Pokud by se doba trvání poruchy t_f změnila, musí se provést nové výpočty.

5.1. Dimenzování uzemnění na trakční napájecí stanice obecně:

Požadovaná hodnota zemní impedance:

$$Z_E = \frac{U_{Tp}}{I_E} \frac{300}{103} = 2,913 \, \Omega$$

Z_E	- zemní impedance, například získaná měřeními nebo výpočtem viz ČSN EN 50522 Příloha L, viz ČSN EN 50522 čl. 3.4.11	[Ω]
U_{Tp}	- dovolené dotykové napětí	[V]
I_E	- proud do země viz ČSN EN 50522 čl. 3.4.29	[A]
U_E	- nárůst potenciálu zemniče (EPR) viz ČSN EN 50522 čl. 3.4.12	[V]

5.1.1. Dimenzování pro trakční měničny (stejnosměrná trakční soustava 3 kV DC) – navrhovaný stav

U trakčních měničů je dle ČSN 34 1500 ed. 2 dle čl. 5.4.4.3 požadovaná hodnota ochranného uzemnění R_E max. 0,5 Ω.

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

$$U_E = I_E \cdot R_E = 103 \cdot 0,5 = 51,5 \, V$$

Je splněna podmínka ČSN EN 50522:

$$U_E = 51,5 \, V \leq 2 \cdot U_{Tp} = 2 \cdot 300 \, V = 600 \, V$$

Návrh hodnoty uzemnění je správný bez případných opatření „M“ dle ČSN EN 50522.

Návrh hodnoty uzemnění platí pro uzemnění odporníku a uzemnění technologického zařízení trakční měničny.

5.1.2. Dimenzování pro trakční transformovny (střídavá trakční soustava 25 kV AC 50 Hz) – případný budoucí stav

U trakčních transformoven je dle ČSN 34 1500 ed. 2 dle čl. 5.4.4.3 požadovaná hodnota ochranného uzemnění R_E max. 1 Ω.

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

$$U_E = I_E \cdot R_E = 103 \cdot 1 = 103 \, V$$

Je splněna podmínka ČSN EN 50522:

$$U_E = 103 \, V \leq 2 \cdot U_{Tp} = 2 \cdot 300 \, V = 600 \, V$$

Návrh hodnoty uzemnění je správný i bez případných opatření „M“ dle ČSN EN 50522.

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

5.2. Dimenzování uzemnění na trafostanice 22/0,4 kV:

5.2.1. Podmínky pro použití ochrany automatickým odpojením od zdroje v sítích TN

Navrhuje se společné uzemnění zařízení vn a nn.

Při návrhu společného uzemnění trafostanice vn/nn se postupuje dle norem:

- TNI 33 2000-4-41 ed. 3
- ČSN EN 50522
- PNE 33 000-1 6. vydání
- PNE 33 3201

Odpor uzemnění pracovního středu zdroje R_A nemá být větší než 5Ω . Nelze-li tuto hodnotu ve ztížených půdních podmínkách dosáhnout obvyklými prostředky, dovoluje se odpor uzemnění větší, avšak nejvýše 15Ω .

Poznámka: Definice ztížených půdních podmínek viz, PNE 33 000-1 6. vydání čl. 3.3.3.8.

Celkový odpor uzemnění R_B vodičů PEN (PE) odcházejících vedení z transformovny včetně uzemněného středu (uzlu) zdroje nemá však být pro síť TN o jmenovitém napětí proti zemi $U_0 = 230 \text{ V}$ větší než 2Ω .

Poznámka: Podrobnosti při vyšší rezistivitě půdy viz, PNE 33 000-1 6. vydání čl. 3.3.3.8.

Společné uzemnění pro elektrická zařízení vn a nn v distribuční stanici. Celkový odpor uzemnění R_B je třeba kontrolovat podle vztahu:

$$R_B \leq \frac{U_{Tp}}{I_E}$$

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

Požadovaná hodnota celkového odporu uzemnění R_B je:

$$R_B \leq \frac{U_{Tp}}{I_E} = \frac{300}{103} = 2,913 \Omega$$

U_{Tp} - dovolené dotykové napětí pro elektrická zařízení nad 1 kV pro omezené trvání průtoku proudu podle tabulky 4 PNE 33 000-1 6. vydání a dle ČSN EN 50522 tab. B.3. V našem případě je:

$U_{Tp} = 300 \text{ V}$ pro dobu trvání poruchy $t_f = 0,40 \text{ s}$

I_E - zemní proud na straně vn. Je vypočten v kapitole 5.

$I_E = 103 \text{ A}$

Provedeme ještě kontrolu nárůstu potenciálu země U_E dle ČSN EN 50522, při zemním spojení v síti LDS 22 kV tedy bude:

$$U_E = I_E \cdot R_E = 103 \cdot 2 = 206 \text{ V}$$

Je splněna podmínka:

$$U_E = 206 \text{ V} \leq 2 \cdot U_{Tp} = 2 \cdot 300 \text{ V} = 600 \text{ V}$$

Návrh hodnoty uzemnění pro stranu vn je správný i bez případných opatření „M“ dle ČSN EN 50522.

Na základě tohoto výpočtu navrhuje, aby požadovaná hodnota zemního odporu pro společné uzemnění zařízení vn a nn bylo $R_B \leq 2,0 \Omega$.

Kontrola minimálních požadavků pro vzájemné propojení uzemňovacích soustav nn a vn vycházející z mezních nárůstu potenciálu zemniče:

Zde postupujeme ČSN EN 50522 čl. 6.1.4. Tabulka 2 – Minimální požadavky pro vzájemné propojení uzemňovacích soustav nn a vn vycházející z mezních nárůstu potenciálu zemniče:

Doba trvání poruchy $t_f \leq 5 \text{ s}$ (v našem případě splněno)

Napěťové namáhání $EPR \leq 1200 \text{ V}$

Dovolené dotykové napětí $U_{Tp} \text{ } 300 \text{ V}$ dle ČSN EN 50522 tab. B.3

Kontrola požadavků na meze nárůstu potenciálu zemniče (EPR):

$$EPR \leq F \cdot U_{Tp}$$

$$EPR \leq 2 \cdot 300 \text{ V} = 600 \text{ V} \leq 1200 \text{ V}$$

$$EPR = I_E \cdot R_E = 103 \cdot 2 = 206 \text{ V}$$

Je splněna podmínka:

$$EPR = 206 \text{ V} \leq 2 \cdot U_{Tp} = 412 \text{ V} \leq 1200 \text{ V}$$

(Poznámka: 412 V – kontrola dotykového napětí, 1200 V – kontrola napěťového namáhání)

EPR - nárůst potenciálu zemniče (EPR) viz ČSN EN 50522 čl. 3.4.12 [V]

F - koeficient $F=2$, normální hodnota, vodič PEN je přizemněn.

Je-li vodič PEN nebo nulový vodič sítě nn spojen se zemí pouze v uzemňovací soustavě vn, je hodnota $F = 1$.

Kontrola požadavků na meze nárůstu potenciálu zemniče (EPR):

$$EPR \leq F \cdot U_{Tp}$$

$$EPR \leq 1 \cdot 300 \text{ V} = 300 \text{ V} \leq 1200 \text{ V}$$

(Poznámka: 300 V – kontrola dotykového napětí 1200 V – kontrola napěťového namáhání)

$$EPR = I_E \cdot R_E = 103 \cdot 2,0 = 206 \text{ V}$$

Je splněna podmínka:

$$EPR = 206 \text{ V} \leq 1 \cdot U_{Tp} = 206 \text{ V} \leq 1200 \text{ V}$$

Z výše uvedených výpočtů vyplývá, že hodnota zemního odporu společného uzemnění trafostanice kdy $R_B \leq 2,0 \Omega$ vyhovuje případům, kdy je nulový vodič sítě nn spojen se zemí pouze v uzemňovací soustavě vn, nebo je současně přizemněn alespoň v jednom místě mimo trafostanici.

Jsou-li pro společnou uzemňovací soustavu vn a nn distribuční stanice půdní podmínky tak ztížené, že nelze splnit požadavek týkající se vypočtené hodnoty celkového odporu uzemnění $R_B \leq 2,0 \Omega$ dle předchozího výpočtu, je nutno dle PNE 33 000-1 6. vydání čl. 3.3.3.9 splnit požadavky uvedené v PNE 33 3201 - v tabulce č. 10.8. Této tabulce také odpovídá ČSN EN 50522 tabulka 2. Bližší podrobnosti viz normy:

- TNI 33 2000-4-41 ed. 3
- ČSN EN 50522
- PNE 33 000-1 6. vydání
- PNE 33 3201

5.2.2. Podmínky pro použití ochrany automatickým odpojením od zdroje proudovými chrániči v distribuční síti TT

Zde postupujeme ČSN EN 50522 čl. 6.1.4. Tabulka 2 – Minimální požadavky pro vzájemné propojení uzemňovacích soustav nn a vn vycházející z mezních nárůstu potenciálu zemniče.

Doba trvání poruchy $t_f \leq 5 \text{ s}$ (v našem případě splněno)

Napětové namáhání $EPR \leq 1200 \text{ V}$, je nutno provést kontrolu dle ČSN EN 50522 čl. 6.1.4.

Dotykové napětí: Nemá význam

Podmínky pro stranu nn se určí dle ČSN 33 2000-4-41 ed. 3 čl. 411.5.3, přičemž uvažujeme s předpokladem, že dle čl. 411.5.2 bude pro ochranu při poruše použit proudový chránič. Potom platí:

$$R_A \cdot I_{\Delta n} \leq 50 \text{ V}$$

- R_A - součet odporů zemniče a ochranného vodiče k neživým částem [Ω]
 $I_{\Delta n}$ - jmenovitý reziduální vybavovací proud proudového chrániče (RCD) [A]
 50 V - dovolené dotykové napětí podle PNE 33 000-1 6. vydání čl. 3.3.1 (prostory normální a nebezpečné)

Přičemž je nutné respektovat požadavek na vypočtenou hodnotu uzemnění strany vn včetně kontroly nárůstu potenciálu. Dimenzování s ohledem na dotyková a kroková napětí je popsáno v ČSN EN 50522 kap. 5.4.

$$U_E = I_E \cdot Z_E$$

$$U_E \leq 2 \cdot U_{Tp} = 2 \cdot 300 \text{ V} = 600 \text{ V} \quad \text{Správný návrh pro } U_{Tp}$$

$$U_E \leq 4 \cdot U_{Tp} = 4 \cdot 300 \text{ V} = 1200 \text{ V} \quad \text{Správný návrh pro } U_{Tp} \text{ při provedení doporučených opatření M dle ČSN EN 50522 Přílohy E (normativní)}$$

- Z_E - zemní impedance, například získaná měřením nebo výpočtem viz ČSN EN 50522 Příloha L, viz ČSN EN 50522 čl. 3.4.11 [Ω]

U_{Tp}	- dovolené dotykové napětí	[V]
I_E	- proud do země viz ČSN EN 50522 čl. 3.4.29	[A]
U_E	- nárůst potenciálu zemniče (EPR) viz ČSN EN 50522 čl. 3.4.12	[V]

Z výše uvedených výpočtů vyplývá, že hodnota zemního odporu společného uzemnění trafostanice pro stranu nn se sítěmi TT se musí posoudit a vypočítat individuálně v projektu (stupeň DSP).

Tento přesný výpočet není předmětem tohoto výpočtu, protože nejsou známy potřebné parametry trafostanic s případnou distribuční sítí TT. Výpočet provede projektant dané trafostanice, pokud bude tento typ sítě použit.

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

Varianta se stejnosměrnou trakční soustavou 3kV DC

U stejnosměrné trakční soustavy 3 kV DC není kolejnice uzemněna strojeným zemničem. Celkový odpor kolejnice vůči zemi sice není velký, ale tuto kolejnici není možné považovat jako náhodný zemnič.

Každá trakční podpěra je ukolejněna individuálně nebo skupinově. Ukolejnění je dle ČSN 34 1500 ed. 2 přímé nebo nepřímé přes opakovatelnou průrazku. Toto ukolejnění a kolejnice zpětného vedení nemůžeme v případě stejnosměrné trakce využít jako náhodný zemnič sítě LDSž 22 kV.

Trakční podpěry u stejnosměrné trakční soustavy 3 kV DC nejsou uzemněny na jakoukoliv uzemňovací soustavu, která by zajišťovala dostatečně nízký zemní odpor, případně by vyhovovala ČSN EN 50 122-1 ed. 2 Příloha E: Popis uznávaných zvláštních opatření M. Náhodné uzemnění přes svorníky trakční podpěry nezajistí dostatečně nízký zemní odpor pro zajištění dovolené hodnoty dotykových napětí. Pokud bychom chtěli dovolené dotykové napětí dodržet, musela by každá trakční podpěra mít svou uzemňovací soustavu obdobně jako vedení vn u distribučních sítí. Toto řešení je u stejnosměrné trakční soustavy 3 kV DC nemožné z důvodů požadavků na omezení šíření bludných proudů.

V případech, kde by nebylo možné dosáhnout dovoleného dotykového napětí na neživých částech trakčních podpěr, je nutné provést opatření na snížení rizika dotykových napětí.

V případě, že nemůžeme zajistit hodnoty dovoleného dotykového napětí v síti LDSž 22 kV na neživých částech trakčních podpěr, na kterých bude kabel 22 kV zavěšen, je potřeba najít jiný způsob, který zajistí bezpečnost osob a zvířat před účinky nebezpečného dotykového napětí.^[1]

Navrhuje se zavěšení kabelu 22 kV na neprůrazný izolátor (neprůrazný izolátor s výdržným napětím 50 kV 1 minuta) dle ČSN EN 50341 ed. 2, obr. 6.2 Opatření vyžadovaná pro snížení dotykových napětí, čl. 6.4.3 bod 8 poznámka. Blíže jej toto opatření specifikováno v PNE 33 0000-1 5. vydání čl. 3.4.1.1 v případě, že je použito rychlé automatické vypnutí poruchy.

U venkovních vedení vn, u nichž je zajištěno rychlé automatické odpojení od zdroje (za rychlé automatické odpojení od zdroje – rychlé automatické vypínání poruchy ve smyslu ČSN EN 50341-3, změny Z2 čl. 6.2.4.2/CZ.2 a ČSN EN 50423-3 národní přílohy NA, čl. 6.2.4.2/CZ1 se pokládá automatické odpojení od zdroje hlavní ochranou do 1 s a záložní ochranou v čase do 5 s) se velikost dotykových ani krokových napětí nemusí dodržet (nemusejí se kontrolovat), jsou-li splněna tato opatření: Opatření jsou vyjmenována v čl. 3.4.1.1. PNE 33 0000-1 5. vydání. Jedno z těchto opatření je:

U elektrických venkovních vedení s napětím nad 1 kV a do 45 kV včetně (vedení vn) se považuje za rovnocenné opatření zřízení ekvipotenciálních kruhů, anebo použití neprůrazných izolátorů nebo konzol z izolujícího materiálu – viz ČSN EN 50341-1, čl. 6.2.4.2 – poznámka.

Neprůrazný izolátor je definován v ČSN IEC 383-1 v čl. 4.1 jako závěsný izolátor pro venkovní vedení třídy A: Izolátor, u kterého nejkratší délka průrazné dráhy tuhým izolačním materiálem je nejméně rovna polovině vzdušné vzdálenosti (délka oblouku). Příklad izolátoru třídy A je tyčový izolátor s vnějšími upevňovacími armaturami. ^[1]

[1] Metodika zásad projektování a provozu lokální distribuční sítě SŽDC 22 kV, ELEKTRIZACE ŽELEZNIC PRAHA a.s., květen 2017.

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

5.4. Uzemnění stínění kabelů 22 kV

Uzemnění stínění kabelů 22 kV se provede v trafostanicích 22/0,4 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.

Pro uložení kabelů v trakčních napájecích stanicích je potřeba dodržet ČSN 33 3505 ed. 2 čl. 8.13.

V případě kabelů 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.

Bližší podmínky uzemnění stínění kabelů 22kV LDSž jsou uvedeny v dokumentu: Metodika zásad projektování a provozu lokální distribuční sítě SŽDC 22 kV, ELEKTRIZACE ŽELEZNIC PRAHA a.s., květen 2017.

6. Kontrola dimenzování jmenovitého výkonu vstupních napájecích transformátorů

Volba jmenovitého výkonu pro LDSž 22 kV se provádí dle energetických výpočtů. Transformátory musí být dostatečně dimenzovány pro:

- Napájení pevných trakčních zařízení (na trakčních měnících) včetně stanovené přetížitelnosti
- Napájení trafostanic 22/0,4 kV
- Částečně nevykompenzovanou síť v případě poruchy dekompenzační tlumivky
- Provozní rezervu

Odběry elektrické energie trafostanic 22/0,4 kV vycházejí z energetické bilance zadání vypočtené projektantem. Pro dimenzování napájecího transformátoru se uvažuje se soudobým příkonem trafostanic.

Na NTS1 Albrechtice bude napájení provedeno z jednoho transformátoru 23/23 kV ve směru na NTS TS 7005 Havířov a do budoucna na NTS Vratimov. Navržený výkon dle zadávacích podkladů je 1600 kV. Dimenzování dle energetické bilance je následující:

Tabulka 4

Projektovaná varianta napájení z NTS1 Albrechtice směrem na Havířov, bez odběrů TS 7005 Havířov.

Základní stav napájení - NTS1 Albrechtice - TS 7005 Havířov (mimo)			
Bilance výkonů - Soudobý výkon	činný výkon	účiník	zdánlivý výkon
	kW		kVA
TS 7001 Horní Suchá	29,83	0,95	31,40
TS 7002 Havířov Suchá	40,47	0,95	42,60
TS 7003 Havířov Střed	23,00	0,95	24,21
TS 7004 Havířov	300,22	0,95	316,02
Mezisoučet (Soudobé odběry trafostanic)			414,23
Ztráty a kompenzace			200,00
Celkem			614,23
Jmenovitý výkon napájecího transformátoru 1x 1,6 MVA			1600,00
Rezervní výkon napájecího transformátoru			985,77
Výsledek	Vyhovuje		

U této projektované varianty se nepočítá s odběry na TS 7005 Havířov. Tyto odběry elektrické energie budou napájeny z přípojky 22 kV z distribuční sítě ČEZ Distribuce v Havířově. Napájení odběrů na TS 7005 Havířov z NTS1 Albrechtice není při této variantě technicky možné, protože distribuční transformátory na TS 7005 se nacházejí před oddělovacím transformátorem 23/23 kV na TS 7005 Havířov (Viz Schéma napájení rozvodu LDSž 22 kV).

Návrh dimenzování jmenovitého výkonu vstupního napájecího transformátoru pro tuto variantu je provedeno s dostatečnou rezervou cca 985 kVA. Za předpokladu, že vypočtený rezervní výkon napájecího transformátoru je dostatečný pro případné budoucí navýšení odběrů elektrické energie. Doporučuje se, aby provozní rezerva tvořila alespoň 25% z jmenovitého výkonu transformátoru. Pro transformátor o jmenovitém výkonu 1600 kVA je to 400 kVA.

Tabulka 5

Budoucí plánovaná varianta napájení z NTS1 Albrechtice směrem na Havířov, včetně odběrů TS 7005 Havířov a směrem na NTS Vratimov včetně odběrů trafostanic v tomto úseku

Budoucí stav napájení - NTS1 Albrechtice - TS 7005 Havířov (včetně) - NTS Vratimov			
Bilance výkonů - Soudobý příkon	činný výkon	účinník	zdánlivý výkon
	kW		kVA
TS 7001 Horní Suchá	29,83	0,95	31,40
TS 7002 Havířov Suchá	40,47	0,95	42,60
TS 7003 Havířov Střed	23,00	0,95	24,21
TS 7004 Havířov	300,22	0,95	316,02
TS 7005 Havířov	624,63	0,95	657,50
ŽST Šenov (odhad)	95,00	0,95	100,00
ŽST Ostrava Bártovice (odhad)	190,00	0,95	200,00
Mezisoučet (Soudobé odběry trafostanic)			1371,73
Ztráty a kompenzace			200,00
Celkem			1571,73
Jmenovitý výkon napájecího transformátoru 1x 1,6 MVA			1600,00
Rezervní výkon napájecího transformátoru			28,27
Výsledek			

U této budoucí varianty se počítá s odběry na trafostanici TS 7005 Havířov a odběry elektrické energie v Žst. Šenov a Žst. Ostrava Bártovice. Dle informací od provozovatele se předpokládá napájení celého úseku LDSŽ 22 kV ze dvou zdrojů, kterými by byly NTS1 Albrechtice a NTS Vratimov. Přípojka 22 kV z distribuční sítě ČEZ Distribuce v Havířově by zůstala zachována a sloužila by jako záložní přívod, nebo byla zrušena. Finální koncepce není předmětem připravované stavby: Optimalizace t.ú. Č. Těšín (mimo) – Albrechtice u ČT (včetně).

Pro stanovení požadovaného jmenovitého výkonu napájecího oddělovacího transformátoru 23/23 kV je však důležitá znalost budoucího maximálního rozsahu sítě LDSŽ 22 kV. Dimenzování transformátoru by mělo být provedeno na výhledový stav, který nastane v době životnosti transformátoru. Údaje o budoucí spotřebě elektrické energie v Žst. Šenov a Žst. Ostrava Bártovice byly stanoveny odhadem po konzultaci s provozovatelem (Správa železnic, s.o., Oblastní ředitelství Ostrava).

Pokud uvažujeme s maximálním rozsahem sítě dle údajů uvedených v Tabulce 5, je patrné, že jmenovitý výkon napájecího oddělovacího transformátoru 23/23 kV je hraniční, rezerva pro případné budoucí navýšení spotřeby elektrické energie nebo mimořádné provozní špičky při odběru elektrické energie je nízká. Jedná se o rezervu ve výši cca 28 kVA.

Jestliže se v dohledné době uvažuje s rozšířením sítě LDSŽ 22 kV v úseku Havířov – Vratimov, doporučujeme zvětšit jmenovitý výkon napájecího oddělovacího transformátoru 23/23 kV na NTS 1 Albrechtice pro tento výhledový stav. Pro výpočet tohoto jmenovitého výkonu bude vhodné upřesnit spotřebu elektrické energie v Žst. Šenov a Žst. Ostrava Bartovice. Podle odhadovaných bspotřeb v těchto železničních stanicích by měl být jmenovitý výkon napájecího oddělovacího transformátoru 23/23 kV alespoň 2000 kVA, aby rezerva pro případané budoucí navýšení spotřeby a provozní špičky zůstala v rozsahu cca 528 kVA. Doporučuje se, aby provozní rezerva tvořila alespoň 25% z jmenovitého výkonu transformátoru. Pro transformátor o jmenovitém výkonu 2000 kVA je to 500 kVA.

7. Návrh průřezu kabelového vedení 22kV z hlediska proudového dimenzování, přenosové schopnosti a úbytku napětí

7.1. Dimenzování jmenovitého proudu kabelu pro LDSž

Jmenovitý proud navrženého kabelu AXCES 3x95/25 12/20(24)kV je pro teplotu jádra +90°C:

Uložení ve vzduchu: 240 A Při teplotě vzduchu +25°C

Uložení v zemi: 240 A Při teplotě země +15°C

Požadovaný jmenovitý proud sítě LDSž 22 kV je 42 A dle výpočtu jmenovitého proudu ze jmenovitého proudu napájecího transformátoru 22/22 kV o jmenovitém výkonu 1600 kVA:

Jmenovitý proud kabelu je výrazně vyšší než jmenovitý proud sítě.

Dimenzování průřezu kabelu vzhledem oteplení při zkratu dle ekvivalentního oteplovacího proudu je uvedeno v kapitole 8. Výpočet zkratových poměrů. Minimální požadovaný průřez kabelu je požadován 4 mm² při napájení z NTS1 Albrechtice.

Dimenzování kabelu AXCES 3x95/25 12/20(24)kV z hlediska jmenovitého proudu a oteplení při zkratu je správné.

Teoretickým výpočtem byl ověřen průřez kabelu AXCES 3x95/25 12/20(24)kV při budoucím napájení z NTS1 Albrechtice z transformátoru 23/23 kV, 1600 kVA při zkratu dle ekvivalentního oteplovacího.

7.2. Návrh průřezu kabelového vedení 22 kV z hlediska přenosové schopnosti a úbytků napětí

Přenosová schopnost LDSž 22 KV je daná použitými transformátory a použitými vedeními, které tvoří vedení kabelová.

U transformátorů je přenosová schopnost daná jejich jmenovitým výkonem ve vztahu k zatížení transformátorů. U transformátorů je tedy rozhodující jejich jmenovitý výkon, který se udává v kVA případně v MVA. Proto je potřeba transformátory dimenzovat na zdánlivý výkon jejich zatížení. Také je potřeba počítat se skutečností, že síť 22 kV nemusí být za všech okolností ideálně vykompenzovaná. Může dojít k poruše některé z kompenzačních tlumivek, a přesto bude potřeba LDSž 22 kV provozovat. Jmenovitý výkon transformátorů se proto volí s rezervou, kterou určuje projektant. Viz kapitola 7.1.

Významný vliv na přenosovou schopnost má kabelové vedení. Na tomto vedení dochází k úbytku napětí vlivem rezistence vedení a reaktance vedení. Vlivem úbytku napětí dochází také k výkonové ztrátě na kabelovém vedení.

Výpočet úbytku napětí na kabelovém vedení je možné provést podle vztahu:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot l \cdot (R_K \cdot I \cdot \cos\varphi + X_K \cdot I \cdot \sin\varphi)$$

$$X_K = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U}{U_N} \cdot 100$$

ΔU	úbytek napětí [V]
l	délka kabelového vedení [km]
R_K	rezistence kabelového vedení [Ω /km]
I	proud [A]
X_K	reaktance kabelového vedení [Ω /km]
L	indukčnost kabelového vedení [H/km]
f	jmenovitá frekvence [Hz]
$\Delta u_{\%}$	úbytek napětí [%]
U_N	jmenovité sdružené napětí sítě [V]

Výkonová ztráta na kabelu bude:

$$P_Z = \Delta U \cdot I \cdot \sqrt{3 \cdot \cos\varphi}$$

P_Z	výkonová ztráta na kabelu [W]
-------	-------------------------------

Parametry kabelu 22kV typu AXCEL-LT PRO 3x240/35:

$$R_K = 0,125 \text{ } \Omega/\text{km}, X_K = 0,091 \text{ } \Omega/\text{km}, U=22 \text{ kV}$$

Parametry kabelu 22kV typu AXCES 3x95/25 12/22(24)kV:

$$R_K = 0,32 \text{ } \Omega/\text{km}, X_K = 0,10 \text{ } \Omega/\text{km}, U=22 \text{ kV}$$

Tabulka 4 - Výpočet úbytku napětí ve směru napájení NTS1 Albrechtice – TNS Vratimov

Výpočet úbytků napětí je proveden pro případ nejdelší sítě LDSž 22 kV. Výpočet je proveden pro budoucí stav napájení z NTS1 Albrechtice až do NTS Vratimov. Tímto výpočtem je také ověřen projektovaný stav napájení z NTS1 Albrechtice na TS 7005 Havířov.

Z uvedeného výpočtu, vyplývá, že úbytky napětí jsou v souladu s požadavky ČSN EN 50160 ed. 3. Vypočtená nejvyšší hodnota úbytku napětí 0,27 % ze jmenovitého napětí 22 kV je pro plně zatíženou síť dle energetické bilance této dokumentace. Vypočtená hodnota je nižší než povolená hodnota dle ČSN EN 50160 ed. 3. čl. 5.2.2.1 Za normálních provozních podmínek, s vyloučením přerušení napájení, nemají odchylky napájecího napětí přesáhnout ± 10 % dohodnutého napětí U_c (22 kV).

Dimenzování přenosové schopnosti z hlediska úbytků napětí je správné.

Tabulka 6 - Výpočet úbytku napětí ve směru napájení TNS1 Albrechtice – TS 7005 Havířov – NTS Vratimov

Začátek/El. stanice	Konec	Typ kabelu	I	I(usek)	P	S	I	ΔU	Δu	P _z
			km	A	kW	kVA	A	V	%	kW
NTS1 Albrechtice	TS 7001 Horní Suchá	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	2,5	39,68				57,63	0,26	3,76
					29,83	31,40	0,82			
TS 7001 Horní Suchá	TS 7002 Havířov	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	2,6	38,86				57,13	0,26	3,65
					40,47	42,60	1,23			
TS 7002 Havířov Suchá	TS 7003 Havířov Střed	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	1,712	37,62				36,42	0,17	2,25
					23,00	24,21	0,70			
TS 7003 Havířov Střed	TS 7004 Havířov	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	1,7	36,92				35,49	0,16	2,16
					300,22	316,02	9,16			
TS 7004 Havířov	TS 7005 Havířov	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	0,63	27,76				9,89	0,04	0,45
					624,63	657,51	19,06			
TS 7005 Havířov	Žst. Šenov	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	2	8,70				9,84	0,04	0,14
					95,00	100,00	2,90			
Žst. Šenov	Žst. Ostrava Bártovice	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	2	5,80				6,56	0,03	0,06
					190,00	200,00	5,80			
Žst. Ostrava Bártovice	NTS Vratimov	AXCES 3x95/25 12/20(24)kV	6,4	0,00				0,00	0,00	0,00
					0,00	0,00	0,00			
I(celk) (km)			19,542							
P(celk) (kW)					1303,15					
S(celk) (kVA)						1371,74				
I(celk) (A)							39,68			
ΔU na konci (V)								212,96		
Δu na konci (%)									0,97	
Pz celkem (kW)										12,48

Z uvedeného výpočtu, vyplývá, že úbytky napětí jsou v souladu s požadavky ČSN EN 50160 ed. 3. Vypočtená nejvyšší hodnota úbytku napětí 0,97 % ze jmenovitého napětí 22 kV je pro plně zatíženou síť dle energetické bilance této dokumentace. Vypočtená hodnota je nižší než povolená hodnota dle ČSN EN 50160 ed. 3. čl. 5.2.2.1 Za normálních provozních podmínek, s vyloučením přerušení napájení, nemají odchylky napájecího napětí přesáhnout ± 10 % dohodnutého napětí U_c (22 kV).

Dimenzování přenosové schopnosti z hlediska úbytků napětí je správné.

8. Výpočet zkratových poměrů na úrovni vn a nn magistralního rozvodu

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

Výpočet zkratových poměrů je proveden pro lokální distribuční síť 22kV Správy železnic, s.o., která je navržena mezi NTS1 Albrechtice a TNS Vratimov dle přehledového schéma projektu.

Počátečním bodem napájení pro účely výpočtu je:

- TNS Albrechtice

Zkratové poměry distribuční sítě 22 kV jsou použity dle podkladů projektanta, který získal údaje o zkratových poměrech od distribuční společnosti ČEZ Distribuce v místě připojení Trakční napájecí stanice Albrechtice, ze které má být NTS1 Albrechtice napájena.

Tento výpočet je určen prověření dimenzování elektrického zařízení v rámci zpracování projektové dokumentace ve stupni DÚR. Výpočet není určen jako podklad pro výpočet a nastavení ochran. Pro tyto účely bude potřeba použít upřesněný výpočet s přesnými technickými parametry použitého technologického zařízení a silnoproudých rozvodů.

Výpočet je proveden pro napájení z:

- NTS1 Albrechtice, napájecí vedení VN 226 a VN 178

Výpočet je proveden pro maximální a minimální zkratové proudy.

TNS Albrechtice:

Toky do zkratu na vedení: VN 226

Od uzlu	S3 [MVA]	I3 [kA]	Fi [°]
9005/AVA_/02_/02	0,000	0,000	0,000
US_KA_9005	316,527	8,307	281,6
Celkem:	316,527	8,307	101,6

Nárazový proud Ikm: 17,901 [kA]

Toky do zkratu na vedení: VN 178

Od uzlu	S3 [MVA]	I3 [kA]	Fi [°]
US_KA_173	0,000	0,000	0,000
VN_209406_/FV2	321,020	8,425	281,246
Celkem:	321,020	8,425	101,246

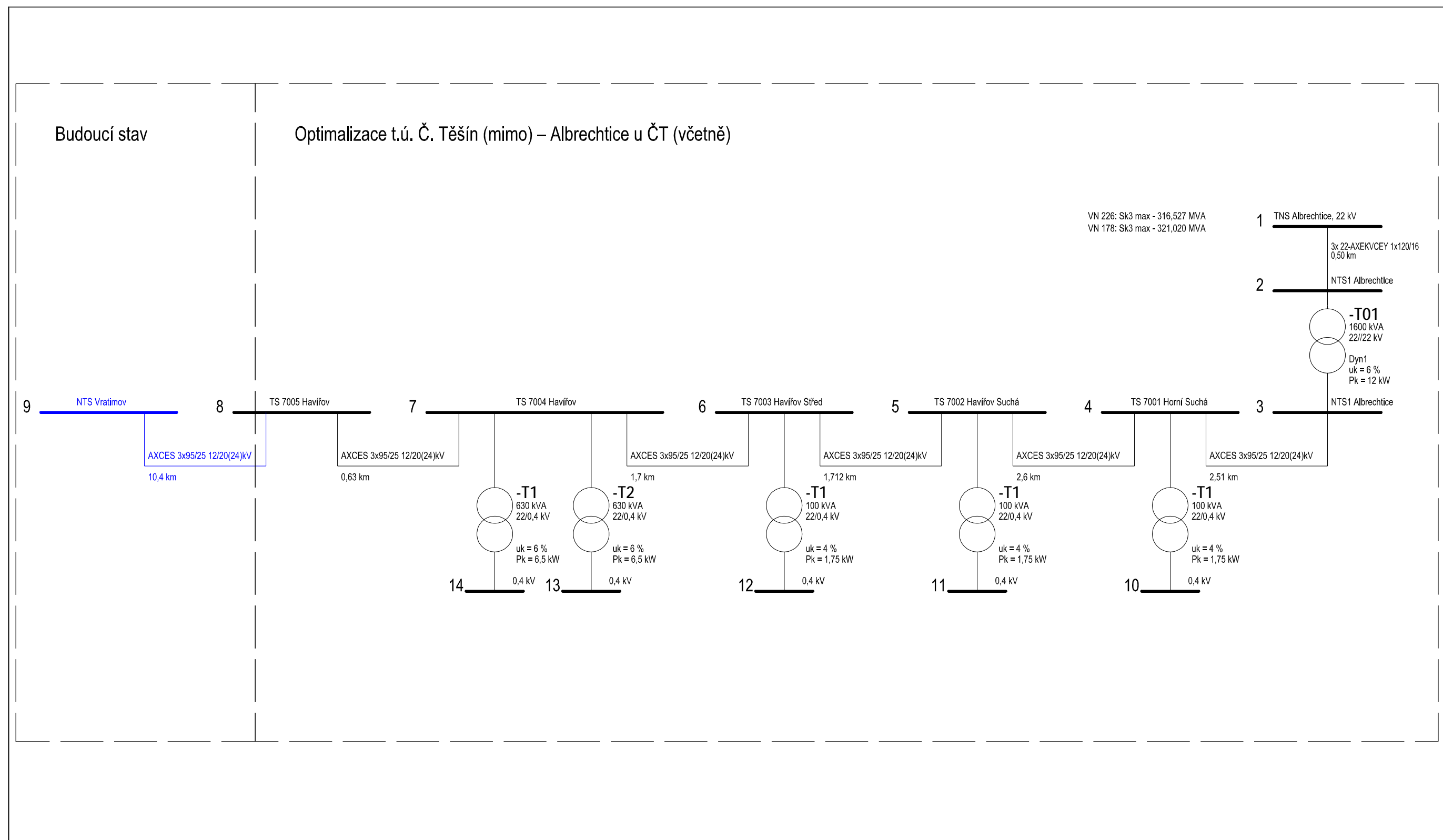
Nárazový proud Ikm: 18,294 [kA]

Pro výpočet maximálních zkratových poměrů budeme uvažovat s napájením z vedení VN 178.

Pro výpočet minimálních zkratových poměrů budeme uvažovat s napájením z vedení VN 226.

Výpočty zkratových poměrů při napájení LDSž 22 kV z NTS TS7005 Havířov a NTS Vratimov pro budoucí stav nejsou součástí tohoto výpočtu. Tyto výpočty musí být provedeny v rámci projektových dokumentací navazujících staveb, které tyto napájecí body a části sítě LDSž budou řešit.

8.1. Topografie výpočtu – výpočtové uzly – úsek NTS1 Albrechtice – TS 7005 Havířov – NTS Vratimov (budoucí stav)



8.2. Napájení z NTS1 Albrechtice – TS 7005 Havířov – NTS Vratimov – maximální zkratové poměry – vstupní údaje

Zakázka:	Albrechtice - Havířov
Varianta:	Napájení Albrechtice
Poznámka:	Směr Vratimov

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		1.00
2	22.0		0.40
3	22.0		0.40
4	22.0		0.40
5	22.0		0.40
6	22.0		0.40
7	22.0		0.40
8	22.0		0.40
9	22.0		0.40

10	0.4		0.10
11	0.4		0.10
12	0.4		0.10
13	0.4		0.10
14	0.4		0.10

Sítové napaječe						
Uzel	Ik'' [kA]	R/X	Korekce	Stav	Typ	Název
1	8.425	0.1	1.0	ZAP	Noname	VN178

Transformátory											
i (prim.)	j (sek.)	St [MVA]	ek [%]	Pk [kW]	Up [kV]	Us [kV]	Regulační	Ref. uzel	Stav	Typ	Název
2	3	1.6	6.0	12.0	22.0	22.0	ano	sek.	ZAP	Noname	
4	10	0.1	4.0	1.75	22.0	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	
5	11	0.1	4.0	1.75	22.0	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	
6	12	0.1	4.0	1.75	22.0	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	
7	13	0.63	6.0	6.5	22.0	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	
7	14	0.63	6.0	6.5	22.0	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	

Vedení a kabely										
i	j	l [km]	paral.	Rk [Ohm/km]	Xk [Ohm/km]	Tz [C]	K [...]	Stav	Typ	Název
1	2	0.05	1	0.253	0.126	90.0	94.0	ZAP	22-AXEKCY(1x120/16) delta	
3	4	2.51	1	0.32	0.32	90.0	115.0	ZAP	Noname	
4	5	2.6	1	0.32	0.32	90.0	115.0	ZAP	Noname	
5	6	1.72	1	0.32	0.32	90.0	115.0	ZAP	Noname	
6	7	1.7	1	0.32	0.32	90.0	115.0	ZAP	Noname	
7	8	0.63	1	0.32	0.32	90.0	115.0	ZAP	Noname	
8	9	10.4	1	0.32	0.32	90.0	115.0	ZAP	Noname	

8.3. Napájení z NTS1 Albrechtice – TS 7005 Havířov – NTS Vratimov – maximální zkratové poměry – výsledky výpočtů

Uzlové hodnoty (uk pro zkrat v uzlu 1)															
Uze l	Un [kV]	Náze v	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		1.00	8.42	321.04	1.746	1.746	20.80	0.03 4	1.00 0	8.57	7.30	0.03409	0.34094	0.000
2	22.0		0.40	8.39	319.58	1.730	1.730	20.52	0.08 0	1.00 0	8.71	7.26	0.03671	0.34224	0.000
3	22.0		0.40	0.71	26.87	1.695	1.695	1.69	0.06 9	1.00 0	0.73	0.61	0.50546	4.06283	0.000
4	22.0		0.40	0.67	25.69	1.629	1.629	1.55	0.05 4	1.00 0	0.69	0.58	0.67141	4.22878	0.000
5	22.0		0.40	0.64	24.55	1.572	1.572	1.43	0.04 5	1.00 0	0.66	0.56	0.84331	4.40068	0.000
6	22.0		0.40	0.63	23.84	1.539	1.539	1.36	0.04 0	1.00 0	0.64	0.54	0.95703	4.51440	0.000
7	22.0		0.40	0.61	23.16	1.510	1.510	1.30	0.03 7	1.00 0	0.62	0.53	1.06943	4.62680	0.000
8	22.0		0.40	0.60	22.92	1.500	1.500	1.28	0.03 6	1.00 0	0.61	0.52	1.11108	4.66845	0.000
9	22.0		0.40	0.51	19.47	1.378	1.378	1.00	0.02 6	1.00 0	0.52	0.44	1.79868	5.35606	0.000
10	0.4		0.10	3.60	2.49	1.272	1.272	6.48	0.07 7	1.00 0	3.73	3.12	18.1714 2	40.1975 3	0.000
11	0.4		0.10	3.58	2.48	1.271	1.271	6.43	0.07 7	1.00 0	3.72	3.10	18.3433 2	40.3694 3	0.000
12	0.4		0.10	3.57	2.47	1.270	1.270	6.41	0.07 6	1.00 0	3.70	3.09	18.4570 4	40.4831 5	0.000

13	0.4		0.10	11.13	7.71	1.569	1.569	24.69	0.17 7	1.00 0	12.07	9.64	2.70712	14.0087 5	0.000
14	0.4		0.10	11.13	7.71	1.569	1.569	24.69	0.17 7	1.00 0	12.07	9.64	2.70712	14.0087 5	0.000

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]
1	2		8.57	1.00	91	8.71	0.40	59	0.00
3	4		0.73	0.40	4	0.69	0.40	4	0.00
4	5		0.69	0.40	4	0.66	0.40	4	0.00
5	6		0.66	0.40	4	0.64	0.40	4	0.00
6	7		0.64	0.40	4	0.62	0.40	3	0.00
7	8		0.62	0.40	3	0.61	0.40	3	0.00
8	9		0.61	0.40	3	0.52	0.40	3	0.00

8.4. Napájení z NTS1 Albrechtice – TS 7005 Havířov – NTS Vratimov – minimální zkratové poměry – vstupní údaje

Zakázka:	Albrechtice - Havířov
Varianta:	Napájení Albrechtice
Poznámka:	Směr Vratimov

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		1.00
2	22.0		0.40
3	22.0		0.40
4	22.0		0.40
5	22.0		0.40
6	22.0		0.40
7	22.0		0.40
8	22.0		0.40
9	22.0		0.40

10	0.4		0.10
11	0.4		0.10
12	0.4		0.10
13	0.4		0.10
14	0.4		0.10

Sítové napaječe						
Uzel	Ik'' [kA]	R/X	Korekce	Stav	Typ	Název
1	8.307	0.1	1.0	ZAP	Noname	VN225

Transformátory											
i (prim.)	j (sek.)	St [MVA]	ek [%]	Pk [kW]	Up [kV]	Us [kV]	Regulační	Ref. uzel	Stav	Typ	Název
2	3	1.6	6.0	12.0	22.0	22.0	ano	sek.	ZAP	Noname	
4	10	0.1	4.0	1.75	22.0	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	
5	11	0.1	4.0	1.75	22.0	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	
6	12	0.1	4.0	1.75	22.0	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	
7	13	0.63	6.0	6.5	22.0	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	
7	14	0.63	6.0	6.5	22.0	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	

Vedení a kabely										
i	j	l [km]	paral.	Rk [Ohm/km]	Xk [Ohm/km]	Tz [C]	K [...]	Stav	Typ	Název
1	2	0.05	1	0.253	0.126	90.0	94.0	ZAP	22-AXEKCY(1x120/16) delta	
3	4	2.51	1	0.32	0.32	90.0	115.0	ZAP	Noname	
4	5	2.6	1	0.32	0.32	90.0	115.0	ZAP	Noname	
5	6	1.72	1	0.32	0.32	90.0	115.0	ZAP	Noname	
6	7	1.7	1	0.32	0.32	90.0	115.0	ZAP	Noname	
7	8	0.63	1	0.32	0.32	90.0	115.0	ZAP	Noname	
8	9	10.4	1	0.32	0.32	90.0	115.0	ZAP	Noname	

8.5. Napájení z NTS1 Albrechtice – TS 7005 Havířov – NTS Vratimov – minimální zkratové poměry – výsledky výpočtů

Uzlové hodnoty (uk pro zkrat v uzlu 1)															
Uze l	Un [kV]	Náze v	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		1.00	8.31	316.54	1.746	1.746	20.51	0.03 4	1.00 0	8.45	7.19	0.03143	0.31435	0.000
2	22.0		0.40	8.26	314.90	1.724	1.724	20.15	0.07 7	1.00 0	8.58	7.16	0.03478	0.31565	0.000
3	22.0		0.40	0.65	24.58	1.694	1.694	1.55	0.06 8	1.00 0	0.67	0.56	0.50353	4.03624	0.000
4	22.0		0.40	0.62	23.46	1.608	1.608	1.40	0.05 0	1.00 0	0.63	0.53	0.71595	4.20219	0.000
5	22.0		0.40	0.59	22.36	1.536	1.536	1.27	0.04 0	1.00 0	0.60	0.51	0.93598	4.37409	0.000
6	22.0		0.40	0.57	21.66	1.496	1.496	1.20	0.03 6	1.00 0	0.58	0.49	1.08154	4.48781	0.000
7	22.0		0.40	0.55	21.01	1.461	1.461	1.14	0.03 2	1.00 0	0.56	0.48	1.22541	4.60021	0.000
8	22.0		0.40	0.55	20.77	1.449	1.449	1.12	0.03 1	1.00 0	0.55	0.47	1.27872	4.64186	0.000
9	22.0		0.40	0.46	17.39	1.311	1.311	0.85	0.02 1	1.00 0	0.46	0.40	2.15886	5.32946	0.000
10	0.4		0.10	3.11	2.15	1.271	1.271	5.59	0.07 7	1.00 0	3.23	2.69	18.2159 6	40.1709 4	0.000
11	0.4		0.10	3.09	2.14	1.269	1.269	5.55	0.07 6	1.00 0	3.21	2.68	18.4360 0	40.3428 4	0.000

12	0.4		0.10	3.08	2.13	1.267	1.267	5.52	0.07 6	1.00 0	3.19	2.67	18.5815 6	40.4565 6	0.000
13	0.4		0.10	9.61	6.66	1.550	1.550	21.06	0.16 7	1.00 0	10.38	8.32	2.86310	13.9821 6	0.000
14	0.4		0.10	9.61	6.66	1.550	1.550	21.06	0.16 7	1.00 0	10.38	8.32	2.86310	13.9821 6	0.000

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	VN225	0.31497	-3.14968	8.31	8.31	0.03143	0.31435	0.152	1.521
2	3	tr		0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.46875	3.72059	2.269	18.008
4	10	tr		0.00000	0.00000	0.00	0.00	17.50000	35.96874	0.028	0.058
5	11	tr		0.00000	0.00000	0.00	0.00	17.50000	35.96874	0.028	0.058
6	12	tr		0.00000	0.00000	0.00	0.00	17.50000	35.96874	0.028	0.058
7	13	tr		0.00000	0.00000	0.00	0.00	1.63769	9.38195	0.003	0.015
7	14	tr		0.00000	0.00000	0.00	0.00	1.63769	9.38195	0.003	0.015
1	2	vk		0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.00335	0.00130	0.016	0.006
3	4	vk		0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.21242	0.16595	1.028	0.803
4	5	vk		0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.22003	0.17190	1.065	0.832
5	6	vk		0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.14556	0.11372	0.705	0.550
6	7	vk		0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.14387	0.11240	0.696	0.544
7	8	vk		0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.05332	0.04165	0.258	0.202
8	9	vk		0.00000	0.00000	0.00	0.00	0.88013	0.68760	4.260	3.328

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]
1	2		8.45	1.00	90	8.58	0.40	58	0.00
3	4		0.67	0.40	4	0.63	0.40	3	0.00
4	5		0.63	0.40	3	0.60	0.40	3	0.00
5	6		0.60	0.40	3	0.58	0.40	3	0.00
6	7		0.58	0.40	3	0.56	0.40	3	0.00
7	8		0.56	0.40	3	0.55	0.40	3	0.00
8	9		0.55	0.40	3	0.46	0.40	3	0.00

8.6. Popis metody výpočtu zkratových poměrů

Popis metody výpočtu a definice k jednotlivým parametrům výpočtu zkratových poměrů je uveden v příloze tohoto dokumentu. Tato přílohy je kopií vybraných částí manuálu k programu Zkratý 2.0 firmy ELCOM a.s. Pomocí tohoto programu byl výpočet proveden.

8.7. Kontrola minimálního zkratového proudu

Pro výpočet magistralního rozvodu je potřeba zkontrolovat minimální zkratový proud na konci napájeného úseku. Tato kontrola je nutná pro účely nastavení zkratových ochran a ověření, že při zkratu dojde k bezpečnému vypnutí úseku kabelu nebo elektrického zařízení s poruchou.

Nejnižší vypočtená hodnota, aby počátečního souměrného rázového zkratového proudu na konci napájeného úseku magistralního rozvodu pro minimální zkratové poměry je při napájení z NTS1 Albrechtice na konci sítě 22 kV na NTS Vratimov (budoucí stav):

$$I_{k''} = 0,46 \text{ kA} = 460 \text{ A}$$

$$I_{k2''} = 0,40 \text{ kA} = 400 \text{ A}$$

$I_{k''}$ - počátečního souměrného rázového proudu při zkratu

$I_{k2''}$ - počátečního souměrného rázového proudu při dvoufázovém zkratu (ne při dvoufázovém zemním zkratu)

Jmenovitý proud sítě pro napájení magistralního rozvodu 22 kV v tomto úseku je stanoven dle výpočtu:

Požadovaný jmenovitý proud sítě LDSž 22 kV je 42 A dle výpočtu jmenovitého proudu ze jmenovitého proudu napájecího transformátoru 22/22 kV o jmenovitém výkonu 1600 kVA.

$$I_n = 42 \text{ A}$$

Předpokládané nastavení zkratové ochrany je $I_{\text{vyp}} = I_n \times 5 = 42 \text{ A} \times 5 = 210 \text{ A}$

Pro bezpečné vypnutí musí platit, že $I_{k''} > I_{\text{vyp}}$ s dostatečnou rezervou, kterou navrhujeme stanovit na 1,2 násobek jmenovitého vypínacího proudu I_{vyp} . Minimálně tedy musí být splněna podmínka $I_{k''} > I_{\text{vyp}} \times 1,2$.

$$I_{k''} > I_{\text{vyp}} \times 1,2 = 460 \text{ A} > 210 \text{ A} \times 1,2 = 460 \text{ A} > 252 \text{ A}$$

$$I_{k2''} > I_{\text{vyp}} \times 1,2 = 400 \text{ A} > 210 \text{ A} \times 1,2 = 400 \text{ A} > 252 \text{ A}$$

Podmínka je splněna.

Na základě výpočtu minimálních zkratových proudů bylo ověřeno, že minimální zkratové proudy na koncích napájených úseků jsou dostatečné.

Předmětem tohoto výpočtu není výpočet nastavení ochran. Parametry nastavení ochran budou stanoveny v rámci výpočtu nastavení ochran, který musí být proveden nejpozději při realizaci stavby. Pro tyto účely bude potřeba použít upřesněný výpočet s přesnými technickými parametry použitého technologického zařízení a silnoproudých rozvodů.

9. Závěr

Tento dokument měl za úkol prokázat realizovatelnost magistralního rozvodu 22 kV na základě výše provedených výpočtů. Těmito výpočty bylo ověřeno:

1. V rámci těchto výpočtů byly ověřeny možné konfigurace napájení LDSž 22 kV, které jsou:
 Prioritní napájení
 Zdroj: TNS1 Albrechtice
2. Výpočty byly provedeny pro největší budoucí rozsah sítě, kterým je úsek LDSž 22 kV NTS1 Albrechtice – TS 7005 Havířov – NTS Vratimov. V první fázi bude napájení sítě LDSž prioritní z NTS1 Albrechtice ve směru na TS 7005 Havířov. Záložní napájení je plánováno z TS 7005 Havířov. Do budoucna se předpokládá rozšíření sítě ve směru na NTS Vratimov a odpojení přípojky 22 kV z distribuční sítě ČEZ Distribuce od TS 7005 Havířov s úpravami trafostanice TS 7005. Stanovení parametrů odporníků a výpočty parametrů sítě LDSž 22 kV byly provedeny pro plánovaný budoucí stav, aby nebylo nutné odporník měnit při rozšiřování sítě. Kratší úsek kabelu lze napájet i s odporníkem s vyšším jmenovitým proudem, než by byl nutný pro tento kratší úsek.
3. Návrh odporově uzemnění sítě 22 kV – Síť s nepřímým uzemněním středem přes odpor je realizovatelný. Parametry odporníku na NTS1 Albrechtice byly voleny s dostatečnou rezervou pro rozsah sítě daný zadávacími podklady k výpočtu s ohledem na budoucí plánované rozšíření sítě LDSž 22 kV ve směru na budoucí NTS Vratimov. Předpokladem je platnost parametrů projektované i budoucí sítě LDSž 22 kV dle zadávací dokumentace těchto výpočtů.
4. Pro NTS 1 Albrechtice pro tento napájený úsek by bylo možné použít odporník o jmenovitém proudu 80 A. V případě budoucího rozšíření sítě LDSž 22 kV v úseku TS 7005 Havířov NTS Vratimov by byla druhým napájecím bodem NTS Vratimov. Na této NTS by byl instalován oddělovací transformátor se sekundárním napětím 23 kV a odporníkem se stejným jmenovitým proudem jako na NTS1 Albrechtice, to je 80 A.
5. Výpočet nárůstu potenciálu země a kontrola dotykových napětí ověřil parametry sítě ve vztahu k navrženému provozu odporově uzemněné sítě 22 kV a parametrům technologického zařízení a silnoproudých rozvodů magistralního rozvodu 22 kV v předmětném úseku. Doba trvání poruchy (0,4 s) byla zvolena vzhledem k délce napájeného úseku. V rámci navržených a vypočtených parametrů bylo prokázáno dodržení podmínek dovolených dotykových napětí. Byly vypočteny požadované hodnoty odporu uzemnění. V případě, že by vznikl požadavek na změnu doby trvání poruchy, musí se provést nové výpočty a dimenzování uzemňovacích soustav.
6. Pro hlavní ochrany se počítá s použitím zejména diferenciálních ochran liniových kabelových vedení a dalších ochran hlavních a záložních. Předmětem tohoto výpočtu není řešení systému ochrany. Řešení systému ochrany bude předmětem dalších stupňů projektové dokumentace.
7. Byly provedeny výpočty požadavků na společné uzemnění sítí vn a nn trafostanic. Z výpočtů v kapitole 5 vyplývá, že hodnota zemního odporu společného uzemnění trafostanice se musí posoudit individuálně v projektu stavby pro každou trafostanici. Rozhodující je skutečnost, zda je pro stranu nn zvolena síť TN anebo síť TT. V síti TN je požadovaná hodnota zemního odporu pro společné uzemnění zařízení vn a nn bylo $R_B \leq 2,0 \Omega$. Bližší podrobnosti viz kapitola 5.

8. Bylo provedeno dimenzování jmenovitého výkonu vstupního napájecího transformátoru na NTS1 Albrechtice. Jmenovitý výkon byl vypočten dle energetické bilance zadání projektanta. V projektové dokumentaci navrhovaný jmenovitý výkon oddělovacího transformátoru 23/23 kV 1600 kVA je dostačující pro napájení úseku LDSž NTS1 Albrechtice – TS7004 Havířov (včetně – TS 7005 Havířov (mimo). Výkonová rezerva cca 985 kVA je vyšší než 25% jmenovitého výkonu tohoto transformátoru a je dostačující. V případě budoucího rozšíření sítě LDSž 22 kV ve směru na NTS Vratimov a připočtení soudobé spotřeby elektrické energie TS 7005 Havířov a předpokládané spotřeby elektrické energie žst. Šenov a Žst. Ostrava Bartovice se jeví navrhovaný jmenovitý výkon oddělovacího transformátoru 23/23 kV 1600 kVA jako hraniční. Rezerva je cca 28 kVA. Jestliže bude investora stavby uvažovat s budoucím rozšířením sítě LDSž 22 kV ve směru na NTS1 Vratimov v dohledné době, je potřeba uvažovat, zda se vyplatí navýšit jmenovitý výkon tohoto transformátoru již nyní alespoň na 2000 kVA. Údaje o budoucí spotřebě elektrické energie v Žst. Šenov a Žst. Ostrava Bartovice byly stanoveny odhadem po konzultaci s provozovatelem (Správa železnic, s.o., Oblastní ředitelství Ostrava).
9. Byl proveden návrh průřezu kabelového vedení 22 kV z hlediska proudového dimenzování, přenosové schopnosti a úbytků napětí. Ověřila se správnost návrhu parametrů kabelů 22 kV pro magistralní rozvod 22 kV v daném úseku.
10. Byl proveden výpočet zkratových poměrů na úrovni vn a nn magistralního rozvodu. V rámci tohoto výpočtu byly provedeny výpočty maximálních zkratových poměrů pro účely dimenzování zařízení. Byl také proveden výpočet minimálních průřezů kabelů 22 kV v rámci magistralního rozvodu v daném úseku. Byla ověřena správnost navrženého průřezu kabelů 22 kV. Byla provedena kontrola minimálního zkratového proudu na konci napájeného úseku a ověřeno, že minimální zkratové proudy jsou dostatečné pro působení zkratových ochrann. Tento výpočet zkratových poměrů není určen jako podklad pro výpočet a nastavení ochrann. Pro tyto účely bude potřeba použít upřesněný výpočet s přesnými technickými parametry použitého technologického zařízení a silnoproudých rozvodů.
11. Zdroj napájení je určen pro napájení vždy jednoho úseku kabelové sítě magistralního rozvodu LDSž 22 kV. Další úseku magistralního rozvodu z TNS budou napájeny z jiných transformátorů. Tato konfigurace je dána zadáním a koncepcí projektového řešení. Zdrojem napájení se rozumí jeden transformátor 23/23 kV. Paralelní provoz zdrojových transformátorů se neuvažuje a není možný. Přepínání transformátorů zdrojů bez přerušení v rámci jedné NTS pracujících do jedné přípojnice rozvodny 22 kV napájející více kabelových úseků LDSž 22 kV není možné. Tato podmínka je rozhodující pro výpočet parametrů uzlových odporů a dimenzování uzemnění elektrických stanic.
12. V rámci budoucího plánovaného rozšíření sítě LDSž 22 kV ve směru na NTS Vratimov musí být provedena aktualizace – doplnění výpočtů dle konkrétních podmínek technického řešení této budoucí stavby. V případě změn jakýchkoliv parametrů uvedených v zadání tohoto výpočtu nebo rozsahu sítě 22 kV musí být provedena aktualizace výpočtů.

Ve Vřesině: 10. března 2022

Vypracoval:

Petr Kudělka
Projektování elektrických zařízení
U Sadu 354/30B
747 20 Vřesina

IČ: 69245797
DIČ: 7103185518

mobil: 604 917 151
e-mail: petr.kudelka@petrkudelka.cz

10. Zadávací podklady:

1. Schéma napájení rozvodu LDSž 22 kV, Autor: Ing. Vladimír Čechák , SB projekt s.r.o.
2. Energetická bilance trafostanice 220/0,4 kV TS 7001, TS 7002, TS 7003, TS 7004 a TS 7005
3. Konzultace se zástupci provozovatele, Správa železnic, s.o., Oblastní ředitelství Ostrava
4. Technická dokumentace strojů, přístrojů, kabelů a zařízení
5. Technické normy ČSN uvedené v tomto dokumentu
6. Předpisy a směrnice Správy železnic, státní organizace

11. Příloha:

- Popis metody výpočtu zkratových poměrů

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:

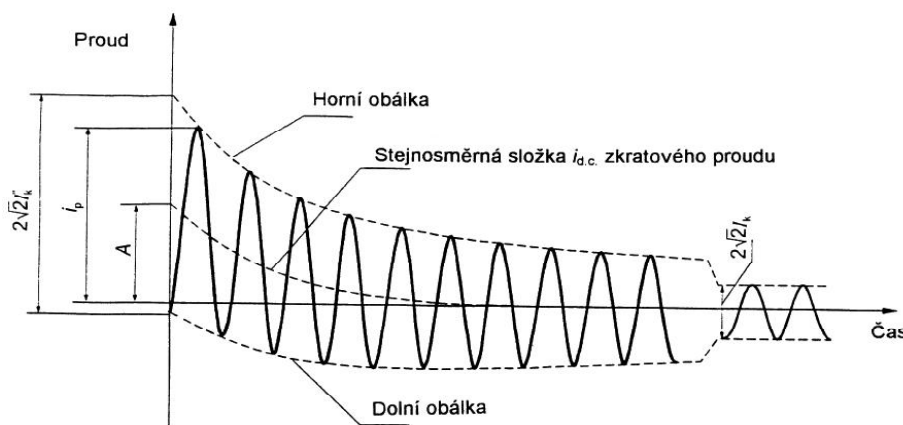
- Neřeší dvoufázové zemní a jednofázové zkrat.
- Není vhodný pro přesný výpočet zkratových proudů uvnitř elektrárenského bloku.

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
elektricky vzdálený zkrat	zkrat, při kterém velikost souměrné složky zkratového proudu zůstává v podstatě konstantní
elektricky blízký zkrat	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 větvové impedance a větvové admitance, z větvových 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 větvové proudy při zkratu v libovolném uzlu.
- Je možné počítat zkratové proudy v paprskových i mřížových sítích (větvě 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 větvových impedancí se počítají proudy ve větvích.
- 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

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

- 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

$$i_p(2) = 1,15 \times kapa(2) \times \sqrt{2} \times I_k''$$

Součín $1,15 \times kapa(2)$ 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).*

4. VSTUPNÍ DATA VÝPOČTU

Zadávat se v několika samostatných oknech programu, podle následujícího seznamu:

4.1. Úvod

Zakázka	Zkušební příklad 2
Varianta	Varianta V01
Poznámka	Manuál - Příklad 2
Maximální zkratové proudy	
Změnit napětový součinitel	NE

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

Zakázka Textový řetězec, max. 64 znaků

Varianta Textový řetězec, max. 64 znaků

Poznámka Textový řetězec, max. 64 znaků

Maximální zkratové proudy / Minimální zkratové proudy - uživatel zde volí, chce-li počítat maximální nebo minimální zkratové proudy (viz. kapitola 3).

Změnit napětový součinitel Po zatřetí je možné měnit hodnoty c_{\max} a c_{\min} v tabulce. Předvolené hodnoty jsou podle ČSN EN 60909-0: tabulka 1. U sítí nízkého napětí s tolerancí +6% (například pro soustavy přecházející z 380 V na 400 V je $c_{\max} = 1,05$).

4.2. Uzly

Uzly			
Uzel	Un [kV]	Název	tk [sec]
1	110	R1	1.00
2	110	R110	0.80
3	6	R6A	0.50
4	6	R6B	0.50

Počet uzlů sítě Celočíselná hodnota (n) z rozsahu 1...999

Un [kV] Jmenovité sdružené napětí sítě v daném uzlu.
V České republice většinou z řady 0,4-0,5-0,69-6-10-22-110 kV

Název Název uzlu. Textový řetězec, max. 16 znaků, není nutné vyplňovat, pak bude uzlu přiřazen název *None*

tk [sec] Doba trvání zkratu, slouží pro výpočet ekvivalentního oteplovacího zkratového proudu I_{th} , povolený rozsah je 0,01...5,0 sekund.

Každý prvek sítě musí mít počáteční a koncový uzel. U zdrojů zkratového proudu - síťové napáječe, synchronní stroje a asynchronní motory je počáteční uzel vždy roven 0 a nezadávat se. Uzel je nutné vložit i mezi prvky, které jsou řazeny do série (například přechod z venkovního vedení na kabel, přechod z kabelu na transformátor).

Uzly by měly tvořit souvislou řadu a každý uzel by měl být spojen impedancí s jiným uzlem sítě. Pokud to není splněno, síť je rozdělena na izolované ostrovy, které nemají vzájemné spojení a při výpočtu se zobrazí varování.

Před výpočtem je možné spustit kontrolu zapojení, která upozorní na možné chyby, tato kontrola ale není schopna odhalit všechny chyby v zadání.

4.3. Síťové napáječe

Síťové napáječe						
Uzel	I_k'' [kA]	R/X	Korekce	Stav	Typ	Název
1	7.87	0.1	1	ZAP	Noname	SN1

Počet napáječů	Celočíselná hodnota z rozsahu 1...999
Uzel	Uzel, do kterého je napáječ připojen (1.... n)
I_k'' [kA]	Počáteční souměrný rázový zkratový proud v uzlu připojení napáječe. Je nutné zohlednit, jestli počítáme maximální nebo minimální zkratové proudy.
R/X	Poměr rezistance a reaktance zkratové impedance napáječe. Pokud tento poměr neznáme, je možné zadat hodnotu 0.1 (nemusí platit pro kabelové sítě).
Korekce	<p>Korekce na skutečný převod transformátoru.</p> <p>Pokud je síťový napáječ na primární straně transformátoru a počítáme zkratové proudy na jeho sekundární straně, můžeme pomocí korekčního koeficientu zohlednit skutečný převod transformátoru. Impedance síťového napáječe se tímto koeficientem násobena (skutečný převod pak musíme zadat i u příslušného transformátoru).</p> <p>Například máme transformátor, spojující síť 22 kV a 6 kV, jmenovitý převod transformátoru je 22/6,3 kV a neodpovídá tedy poměru jmenovitých napětí sítě 22/6 kV. Na primární straně 22 kV transformátoru je připojen síťový napáječ (např. distribuční síť 22 kV). Korekce impedance napáječe na skutečný převod transformátoru bude:</p> $Kp = \left(\frac{6,3}{6} \right)^2 = 1,1025$ <p>Pokud zadáme u napáječe korekci, vypočtené hodnoty zkratových proudů v uzlu připojení napáječe (a případně i ve všech uzlech na stejné napětové hladině) nebudou správné a nemůžeme je použít.</p> <p>Podrobněji je tato problematika vysvětlena v kapitole 6.</p>
Stav	Pokud je zvoleno ZAP (zelená), napáječ se použije ve výpočtu. Při volbě VYP (červená) bude napáječ odpojen - není zahrnut do výpočtu. V síti musí zůstat alespoň jeden napáječ, synchronní stroj, nebo asynchronní motor.
Typ	Je-li zvolen konkrétní typ z databáze, uživatel zadá pouze <i>Uzel</i> , ostatní hodnoty jsou doplněny z databáze. Je-li zvoleno <i>Noname</i> , uživatel zadává všechny hodnoty.
Název	Název větve, textový řetězec max. 16 znaků. Nepovinný parametr.

4.4. Transformátory

Transformátory											
i (prim.)	j (sek.)	St [MVA]	ek [%]	Pk [kW]	Up [kV]	Us [kV]	Regulační	Ref. uzel	Stav	Typ	Název
10	16	1.6	6	13	6	0.4	ano	sek.	ZAP	Noname	T2
11	17	1.6	6	13	6	0.4	ano	sek.	VYP	Noname	T3

Počet transformátorů	Celočíselná hodnota z rozsahu 1...999
i (prim.)	Uzel primární strany transformátoru (1... n)
j (sek.)	Uzel sekundární strany transformátoru (1...n)
St [MVA]	Jmenovitý výkon
ek [%]	Jmenovité napětí nakrátko
Pk [kW]	Jmenovité ztráty nakrátko
Up [kV]	Jmenovité primární napětí transformátoru (při kontrole zapojení se zjišťuje, jestli se toto napětí neliší o více než 10% od napětí uzlu <i>i</i> . Většinou je toto napětí rovné jmenovitému napětí sítě v uzlu <i>i</i> (např. 110, 22, 6 kV)
Us [kV]	Jmenovité sekundární napětí transformátoru (při kontrole zapojení se zjišťuje, jestli se toto napětí neliší o více než 10% od napětí uzlu <i>j</i> . Napětí je možné zadat rovné jmenovitému napětí sítě, např. 22, 6, 0.4 kV, nebo rovné skutečnému jmenovitému sekundárnímu napětí transformátoru, např. 23, 6.3 kV).
Regulační	Je-li zvoleno „ano“, násobí se impedance transformátoru korekčním součinitelem podle odstavce 3.3.3 normy ČSN EN 60909-0. Tato korekce umožňuje zadávat do výpočtu impedanci transformátoru (<i>ek</i>) pro přepínač odboček v základní poloze.
Ref. uzel	<p>Je možné volit mezi prim. a sek. Přednastavená hodnota je sek. Určuje, jestli se při výpočtu impedance transformátoru počítá s napětím uzlu <i>i</i> (primární napětí), nebo s napětím uzlu <i>j</i> (sekundární napětí). Tato volba má význam pouze, zadáváme-li skutečný převod transformátoru, který je různý od poměru jmenovitých napětí uzlů <i>i</i> a <i>j</i>.</p> <p>Máme například transformátor s převodem 22/6,3 kV, zapojený mezi uzly <i>i</i> = 3 (<i>U_i</i> = 22 kV), <i>j</i> = 5 (<i>U_j</i> = 6 kV). Pokud zvolíme jako referenční uzel prim., bude se impedance transformátoru počítat podle vzorce:</p> $z = K_T \times \frac{ek}{100} \times \frac{S_v}{S_t} \times \left(\frac{U_p}{U_i} \right)^2$ <p>a poměr (<i>U_p</i>/<i>U_i</i>)² bude v našem příkladu roven (22/22)² = 1,0.</p> <p>Pokud zvolíme jako referenční uzel sek., bude se impedance transformátoru počítat podle vzorce:</p> $z = K_T \times \frac{ek}{100} \times \frac{S_v}{S_t} \times \left(\frac{U_s}{U_j} \right)^2$ <p>a poměr (<i>U_s</i>/<i>U_j</i>)² bude v našem příkladu roven (6,3/6)² = 1,025. (<i>K_T</i> je korekční součinitel, <i>S_v</i> = 100 MVA).</p>
Stav	Pokud je zvoleno ZAP (zelená), transformátor se použije ve výpočtu. Při volbě VYP (červená) bude transformátor odpojen - není zahrnut do výpočtu.
Typ	Je-li zvolen konkrétní typ z databáze, uživatel zadá pouze uzly <i>i</i> , <i>j</i> , ostatní hodnoty jsou doplněny z databáze. Je-li zvoleno Noname , uživatel zadává všechny hodnoty.
Název	Název větve, textový řetězec max. 16 znaků. Nepovinný parametr.

4.6. Vedení a kabely

Vedení a kabely										
i	j	l [km]	paral.	Rk [Ω/km]	Xk [Ω/km]	K [...]	Tz [°C]	Stav	Typ	Název
1	2	10	1	0.122	0.388	105	70	ZAP	Noname	V1
3	10	0.3	1	0.125	0.154	76	70	ZAP	Noname	K7
4	11	0.25	1	0.125	0.154	76	70	VYP	Noname	K8

Počet vedení a kabelů	Celočíselná hodnota z rozsahu 1...999
i	Uzel začátku vedení (1.... n)
j	Uzel konce vedení (1...n)
l [km]	Délka vedení
paral.	Počet paralelních vedení
Rk [Ohm/km]	Rezistance vedení na kilometr
Xk [Ohm/km]	Reaktance vedení na kilometr
K [A √s mm ²]	Konstanta pro výpočet minimálního průřezu kabelu, pro dimenzování kabelu podle oteplení při zkratu. V katalogích výrobců se často uvádí dovolený jednosekundový zkratový proud, konstanta K se vypočítá jako podíl tohoto proudu a průřezu kabelu. Například pro kabel 6-AYKCY(3x240/25) je dovolený zkratový proud 18200 A (1 sec), konstanta K je 18200/240 = 75,8.
Tz [°C]	Maximální dovolená provozní teplota vodiče (pro výpočet minimálních zkratových proudů)
Stav	Pokud je zvoleno ZAP (zelená), vedení (kabel) se použije ve výpočtu. Při volbě VYP (červená) bude vedení (kabel) odpojeno - není zahrnuto do výpočtu.
Typ	Je-li zvolen konkrétní typ z databáze, uživatel zadá pouze i, j, l, paral., ostatní hodnoty jsou doplněny z databáze. Je-li zvoleno Noname, uživatel zadává všechny hodnoty.
Název	Název větve, textový řetězec max. 16 znaků. Nepovinný parametr.

7. VÝPOČET EKVIVALENTNÍHO OTEPLOVACÍHO ZKRATOVÉHO PROUDU

Ekvivalentní oteplovací zkratový proud I_{th} se počítá podle odstavce 4.8 normy ČSN EN 60909-0, použitím součinitelů:

m pro časově závislý tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu

n pro časově závislý tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu

podle vzorce:

$$\int_0^{t_K} i^2 \cdot dt = I_k'^2 \cdot (m + n) \cdot t_K = I_{th}^2 \cdot t_K \rightarrow I_{th} = I_k' \cdot \sqrt{m + n}$$

Poznámka:

Ve starších normách byl ekvivalentní oteplovací zkratový proud označován I_{ke} a počítal se pomocí součinitele k_e , podle vzorce $I_{ke} = k_e \cdot I_k'$, je tedy zřejmé, že platí $k_e = \sqrt{m + n}$. Normy uváděly pro různé doby trvání zkratu t_K hodnoty součinitele k_e , podle následující tabulky:

Doba trvání zkratu t_K [sec]	k_e		
	na svorkách alternátoru	soustava	
		vv, vn	nn
$\leq 0,05$	1,70	1,60	1,50
$0,05 \leq 0,10$	1,60	1,50	1,20
$0,10 \leq 0,20$	1,55	1,40	1,10
$0,20 \leq 1,00$	1,50	1,30	1,05
$1,00 \leq 3,00$	1,30	1,10	1,00
3,00	1,15	1,00	1,00

8. VÝPOČET MINIMÁLNÍHO PRŮŘEZU KABELU

Oteplení kabelu z nejvyšší dovolené provozní teploty na mezní teplotu, způsobené průchodem zkratového proudu, nastane za dobu t_k , která se vypočte podle vzorce:

$$t_k = \frac{K^2 \cdot S^2}{I_{th}^2}$$

kde t_k doba trvání zkratu, maximálně 5 sekund

S průřez kabelu v mm^2

I_{th} ekvivalentní oteplovací zkratový proud podle kapitoly 7

K činitel, respektující měrný odpor, teplotní koeficient, měrné teplo, počáteční a konečnou teplotu

Minimální průřez kabelu se vypočte podle vzorce:

$$S_{\min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{K}$$

Hodnoty činitele K pro fázový vodič jsou v následující tabulce:

	Izolace vodiče							
	PVC ≤ 300 mm^2	PVC > 300 mm^2	PVC ≤ 300 mm^2	PVC > 300 mm^2	EPR / XLPE	Přez	Minerální S PVC	Minerální holé
Počáteční teplota	70 °C	70 °C	90 °C	90 °C	90 °C	60 °C	70 °C	105 °C
Konečná teplota	160 °C	140 °C	160 °C	140 °C	250 °C	200 °C	160 °C	250 °C
Materiál vodiče měď	115	103	100	86	143	141	115*	135
Materiál vodiče hliník	76	68	66	57	94	93	---	—
Cínem pájené spoje v měděných vodičích	115	---	---	---	---	---	---	—

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 ip(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 ip(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 napětového 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 ip(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 $S_v = 100 \text{ MVA}$, 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 $S_v = 100 \text{ MVA}$. |
| ▪ 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 $S_v = 100 \text{ MVA}$, 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 $I_v(i)$ a $I_v(j)$ různé, u ostatních typů větví jsou stejné.
- Pro každý trojvinutový transformátor se automaticky zavede 1 fiktivní uzel navíc.
- Pokud chceme zjistit hodnoty větвовých proudů $iv(re)$, $iv(im)$, $I_v(i)$, $I_v(j)$ 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
- $tk(i)$ [sec] doba trvání zkratu v uzlu i - na začátku vedení
- $S_{min}(i)$ [mm²] minimální průřez kabelu podle kapitoly 8, vypočtený z hodnot $I_{th}(i)$ a $tk(i)$
- $I_{th}(j)$ [kA] ekvivalentní oteplovací proud v uzlu j - na konci vedení
- $tk(j)$ [sec] doba trvání zkratu v uzlu j - na konci vedení
- $S_{min}(j)$ [mm²] minimální průřez kabelu podle kapitoly 8, vypočtený z hodnot $I_{th}(j)$ a $tk(j)$
- 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 jistící prvky (ochrany, pojistky, jističe) jsou umísťovány 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.