

Analýza induktivních vlivů kabelových vedení vvn na blízká ocelová izolovaná potrubí

Z. Janda

Katedra elektroenergetiky a ekologie, Fakulta elektrotechnická, ZČU v Plzni,
Univerzitní 26, Plzeň
E-mail : jandaz@kee.zcu.cz

Anotace:

Článek je zaměřen na analýzu induktivních účinků kabelů velmi vysokého napětí na blízká ocelová izolovaná potrubí. Předmětná analýza sestává z podrobného řešení rozložení elektromagnetického pole v okolí ovlivňujícího kabelové vedení, ovlivněného potrubí a blízkých omezujičích vodičů. Elektromagnetická pole jsou řešena s využitím výpočetního nástroje COMSOL Multiphysics 4.3. Pro posouzení bezpečného provozu potrubních systémů v blízkosti kabelového vedení, byly vypočítány hodnoty potenciálů potrubí v době poruchy na kabelovém vedení, a to pro různá dispoziční uspořádání a reálná ochranná opatření. Pro tzv. symetrizační vodič byly stanoveny hodnoty redukčních koeficientů, které lze uplatnit v numerických výpočtech.

ÚVOD

Narůstající potřeba přenášet stále větší elektrický výkon v oblasti městských aglomerací přináší komplikace se stavbami nových nadzemních vedení. Příčiny bývají zejména prostorové, estetické a majetkoprávní. Efektivním řešením je přenos elektrické energie kabelovými vedeními.

Nové trasy kabelových vedení, uložených v zemi, jsou limitovány omezujícími předpisy okolních inženýrských sítí. Kromě dodržení ochranných pásem vlastních, v zemi uložených zařízení, musí být řešena problematika bezpečnosti provozu všech okolních sítí, které mohou být vystaveny nežádoucím induktivním vlivům kabelového vedení. Jednou z ovlivněných sítí mohou být ocelová izolovaná potrubí, u kterých se bezpečnost provozu v současné době vyhodnocuje při poruchovém a provozním stavu venkovních vedení vvn a zvn v souladu s normativními předpisy [1] a [2]. Analogicky by tomu mělo být i u kabelových vedení. Doposud však nebyl vytvořen standard, který by řešil výpočet negativních vlivů kabelů vvn a zvn na ocelová izolovaná potrubí. Existují však publikace, které se zabývají numerickými výpočty indukovaných napětí v potrubí při provozním stavu energetického kabelu vvn. Napěťové a proudové poměry v potrubí jsou nepříznivě ovlivňovány kolísáním napětí na souběžném, v zemi uloženém kabelu [3], což může mít negativní dopad na provozní parametry systému aktivní katodické ochrany potrubní soustavy [4, 5]. Předmětný článek řeší případovou studii, jejímž účelem je získat relevantní podklady pro vytvoření normativních předpisů, řešící výpočet indukovaných napětí v potrubí při poruchovém stavu kabelu vvn a zvn. Studie byla také vytvořena pro účely pilotního projektu stavby kabelového vedení 110 kV v zahraničí.

Jsou analyzovány souběhy kabelů vvn a zvn s blízkými potrubními systémy za předpokladu různých vstupních parametrů a dispozičních uspořádání. Pro eliminaci induktivních účinků kabelového vedení jsou navržena ochranná opatření, jejichž dopady jsou vyhodnocovány.

ZÁKLADNÍ PŘEDPOKLADY

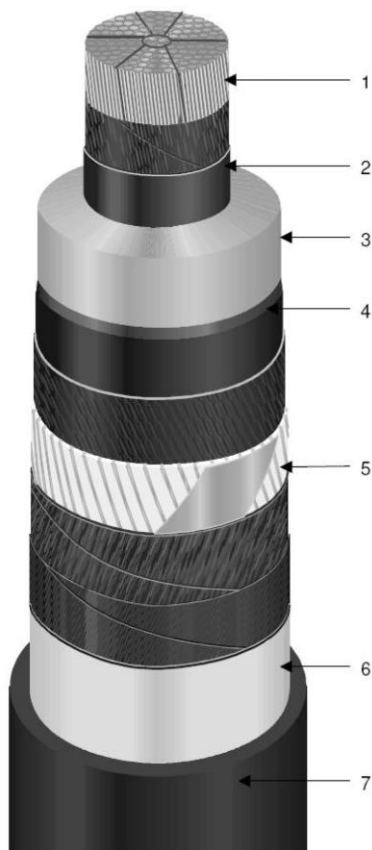
Pro analýzu nežádoucích vlivů kabelů na blízká v zemi uložená ocelová izolovaná potrubí je uvažováno kabelové vedení 110 kV, geometricky uspořádané v těsném trojúhelníku. Fázové kabely jsou uloženy na betonovém základu a zality betonem. V případě nutnosti se pro omezení účinků elektromagnetického pole na okolní úložná zařízení používá omezující vodič, který se pokládá v těsné blízkosti k fázovým kabelům.

Fázový kabel

Uvažovaným fázovým kabelem je kabel A2XS(FL)2Y 1x1600RMS/200-64/110 kV, jehož jednotlivé vrstvy jsou patrné z následujícího obrázku. Je uvažováno třífázové kabelové vedení, kde fáze jsou označeny jako A, B a C.

Tab. 1: Vrstvy fázového kabelu

Číslo	Materiál	Průměr D (mm)	Tloušťka stěny t (mm)
1	Al	49,6	-
2	PE	52,6	1,5
3	XLPE	88,6	18,0
4	PE	90,8	1,1
5	Cu	92,2	0,7
6	Al	92,6	0,2
7	HDPE	108,8	8,1



Obr. 1: Fázový kabel

Omezující vodič

Jako omezující vodič je uvažován kabel typu CYY 1 x 240 mm².

Potrubí

Jako ovlivněné potrubí je uvažováno ocelové izolované potrubí DN 200. Izolace potrubí je PE-N třívrstvá.

Tab. 2: Parametry potrubí

Specifikace	Hodnota
Průměr potrubí	200 mm
Tloušťka stěny potrubí	10 mm
Tloušťka izolace	2,5 mm

Elektrické parametry řešeného systému

Pro analýzu elektromagnetického pole byly uvažovány následující elektrické parametry - elektrická vodivost γ (S/m), relativní permitivita ϵ (-) a relativní permeabilita μ_r (-). Dle [1] se pro výrobu potrubí používají oceli s relativní permeabilitou o minimální hodnotě 200. Tato hodnota zajišťuje dostatečnou výpočetní rezervu a je používána v normativních výpočtech. Touto vlastností disponuje prvek Ocel 2. Pro názornost závislosti parametrů oceli na indukovaném napětí byl zvolen prvek Ocel 1 s relativní permeabilitou 4000.

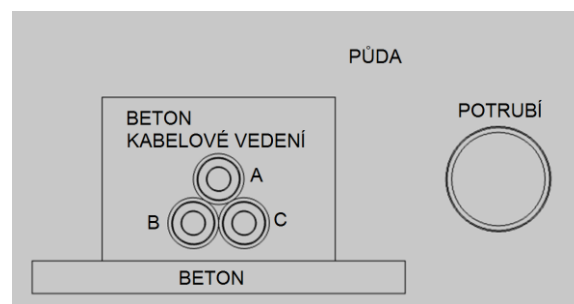
Tab. 3: Elektrické parametry dílčích prvků

Prvek	γ (S/m)	ϵ (-)	μ_r (-)
Půda	0,01	1	1
Beton	0,05	1	1
Vzduch	0	1	1
Al	$3,7740 \cdot 10^7$	1	1
Cu	$5,8108 \cdot 10^7$	1	1
PE	10^{-4}	1000	1
Ocel 1	$4 \cdot 10^6$	1	4000
Ocel 2	$4 \cdot 10^6$	1	200
Izolace pot.	$3,73 \cdot 10^{-8}$	2,3	1

VLIV KABELOVÉHO VEDENÍ NA POTRUBÍ BEZ OCHRANNÝCH OPATŘENÍ

Byl uvažován jednofázový zkrat na fázi A. S využitím nástroje COMSOL Multiphysics 4.3 byly analyzovány velikosti indukovaných proudů v potrubí v závislosti na jeho vzdálenosti od kabelového vedení. Vzdálenosti byly uvažovány v rozmezí od 0,4 m do 5 m. Předpokládaná délka souběhu je 1000 m.

Základní upořádání ovlivňujícího kabelového vedení a ovlivněného potrubí je zřejmé z následujícího obrázku.



Obr. 2: Základní uspořádání řešené soustavy

Elektrické proudy potrubím při poruchovém stavu kabelového vedení

Z hlediska nežádoucích induktivních vlivů kabelového vedení na okolní síť je nejnepříznivějším stavem jednofázový zkrat na kabelu. Předpokladem je galvanické spojení porušené fáze se stíněním kabelu a okolním prostředím vlivem porušené izolační vrstvy kabelu. Poruchový proud se rozdělí s ohledem na impedance jednotlivých prvků, tj. na proud tekoucí fází kabelu A, stíněním kabelu A, betonem a půdou. Rozdělení toku poruchového proudu bylo určeno s respektováním parametrů, uvedených v Tab. 1 a Tab. 3. Dominantní část proudu, vracejícího se zpět ke zdroji, je proud tekoucí stíněním fáze A, jak je patrné z Tab. 4. Neporušenými fázemi B a C protéká provozní proud a jejich stíněním proud nulový.

Tab. 4: Rozdělení proudů při jednofázovém zkratu

Vodič	Elektrický proud
Fáze A	$\bar{I}_A = 31850 \angle 0^\circ \text{ A}$
Fáze B	$\bar{I}_B = 500 \angle -120^\circ \text{ A}$
Fáze C	$\bar{I}_C = 500 \angle 120^\circ \text{ A}$
Stínění A	$\bar{I}_{SA} = 31843,85 \angle 180^\circ \text{ A}$
Stínění B	$\bar{I}_{SB} = 0 \angle 0^\circ \text{ A}$
Stínění C	$\bar{I}_{SC} = 0 \angle 0^\circ \text{ A}$
Beton	$\bar{I}_{BK} = 0,0277 \angle 180^\circ \text{ A}$
Půda	$\bar{I}_P = 6,122 \angle 180^\circ \text{ A}$

Vyšetřením elektromagnetického pole uvažované soustavy prvků, byly určeny proudy v potrubí, vzniklé jako následek indukovaných napětí na předmětném potrubí v důsledku jednofázového zkratu na fázi A. Pro potrubí s materiálovými vlastnostmi odpovídajícími Oceli 1 a Oceli 2, viz Tab. 3, jsou výsledky uvedeny v následujících dvou tabulkách Tab. 5 a Tab. 6.

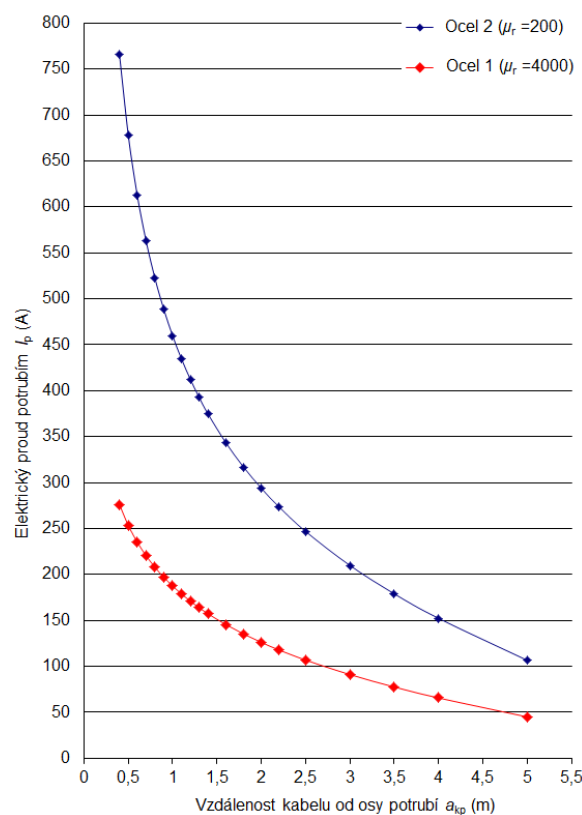
Tab. 5: Indukovaný proud v potrubí Ocel 1

a_{kp} (m)	$ \bar{I}_{p1} $ (A)	$\text{Re}(\bar{I}_{p1})$ (A)	$\text{Im}(\bar{I}_{p1})$ (A)
0,4	276,220	251,228	114,814
0,5	253,328	232,159	101,375
0,6	235,352	216,845	91,479
0,7	220,487	203,987	83,686
0,8	207,953	192,990	77,454
0,9	197,011	183,310	72,185
1,0	187,440	174,755	67,782
1,1	178,790	166,988	63,879
1,2	170,965	159,923	60,445
1,3	163,872	153,476	57,438
1,4	157,314	147,496	54,705
1,6	145,603	136,756	49,977
1,8	135,308	127,267	45,949
2,0	126,213	118,828	42,539
2,2	117,977	111,161	39,520
2,5	106,931	100,835	35,587
3,0	91,166	86,013	30,213
3,5	77,650	73,250	25,767
4,0	65,769	61,982	21,996
5,0	45,038	42,273	15,538

Závislost naindukovaného proudu v potrubí na vzdálenosti od ovlivňujícího vodiče a_{kp} (m) je graficky znázorněna na následujícím obrázku Obr. 3, ve kterém červená křivka přísluší potrubí z oceli o relativní permeabilitě 4000 (Ocel 1) a modrá křivka potrubí z oceli o relativní permeabilitě 200 (Ocel 2).

Tab. 6: Indukovaný proud v potrubí Ocel 2

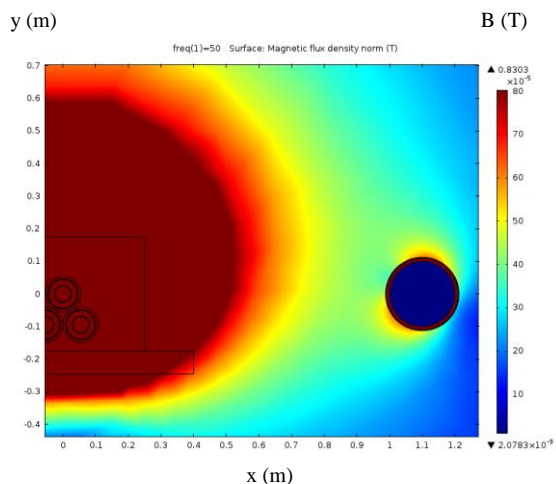
a_{kp} (m)	$ \bar{I}_{p2} $ (A)	$\text{Re}(\bar{I}_{p2})$ (A)	$\text{Im}(\bar{I}_{p2})$ (A)
0,4	766,202	763,429	-65,118
0,5	677,837	673,534	-76,257
0,6	613,271	607,955	-80,571
0,7	563,151	557,181	-81,783
0,8	522,507	516,118	-81,455
0,9	488,627	481,982	-80,309
1,0	459,701	452,912	-78,712
1,1	434,548	427,692	-76,887
1,2	412,368	405,501	-74,941
1,3	392,532	385,696	-72,941
1,4	374,650	367,874	-70,933
1,6	343,465	336,871	-66,979
1,8	316,962	310,602	-63,177
2,0	293,981	287,886	-59,556
2,2	273,640	267,822	-56,123
2,5	246,988	241,601	-51,303
3,0	209,894	205,225	-44,023
3,5	179,052	175,081	-37,499
4,0	152,364	149,061	-31,555
5,0	106,697	104,631	-20,893



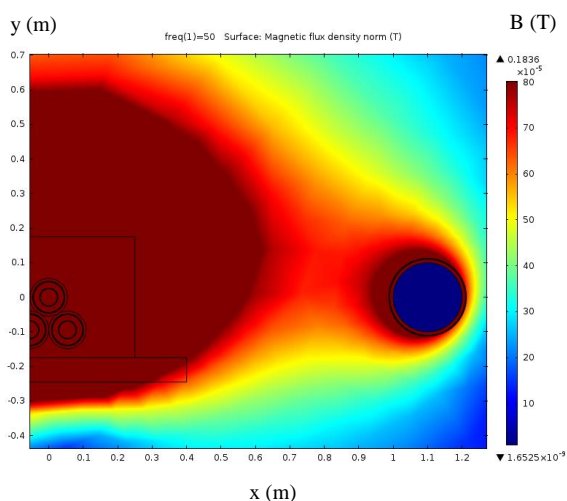
Obr. 3: Závislost naindukovaného proudu do potrubí na vzdálenosti ovlivňujícího kabelu od osy potrubí

V případě vzdálenosti potrubí 0,4 m od kabelu, je proud potrubím o relativní permeabilitě 200 téměř

trojnásobně větší než u potrubí s relativní permeabilitou 4000. Pro vzájemnou vzdálenost 1,1 m je proud potrubím s Ocelí 2 větší téměř dva a půl krát než potrubím s Ocelí 1. S těmito výsledky korespondují i rozložení elektromagnetických polí, která jsou patrná z následujících obrázků.



Obr. 4: Rozložení magnetického pole pro vzájemnou vzdálenost 1,1 m - Ocel 1 ($\mu_r=4000$)



Obr. 5: Rozložení magnetického pole pro vzájemnou vzdálenost 1,1 m - Ocel 2 ($\mu_r=200$)

Elektrické potenciály potrubí při poruchovém stavu kabelového vedení

Bezpečnost potrubních systémů se vyhodnocuje dle velikosti elektrických potenciálů na potrubí, které se porovnávají s mezemi nebezpečných napětí stanovených normou [1]. Tato norma stanovuje meze nebezpečného napětí v závislosti na době trvání poruchy (např. 1000 V pro dobu trvání poruchy 0,3 s a 430 V pro 1 s).

Dle Ohmova zákona, po zanedbání příčných prvků potrubí, lze určit podélné indukované napětí jako

$$\overline{U}_i = (R + jX_L) \cdot \overline{I}_p, \quad (1)$$

kde:

U_i ($V \cdot km^{-1}$)podélné indukované napětí vztažené na jednotku délky

R ($\Omega \cdot km^{-1}$)podélná rezistence smyčky potrubí - země respektující skinefekt

X_L ($\Omega \cdot km^{-1}$)podélná reaktance potrubí

I_p (A)elektrický proud potrubím.

Potenciál potrubí, jehož hodnota se následně porovnává s normativními hodnotami, se určí ze vztahu dle [1]:

$$U_p = \frac{U_i}{2 \cdot |\overline{\gamma}|} \cdot \left(1 - e^{-\overline{\gamma} \cdot l}\right), \quad (2)$$

kde:

U_p (V)potenciál potrubí

U_i ($V \cdot km^{-1}$)podélné indukované napětí vztažené na jednotku délky

$\overline{\gamma}$ (km^{-1})součinitel šíření

l (km)délka rovnoběžného souběhu.

S využitím výše uvedených vztahů byly získány výsledné průběhy indukovaných napětí a potenciálů potrubí, jejichž hodnoty jsou tabelovány v Tab. 7. a Tab. 8.

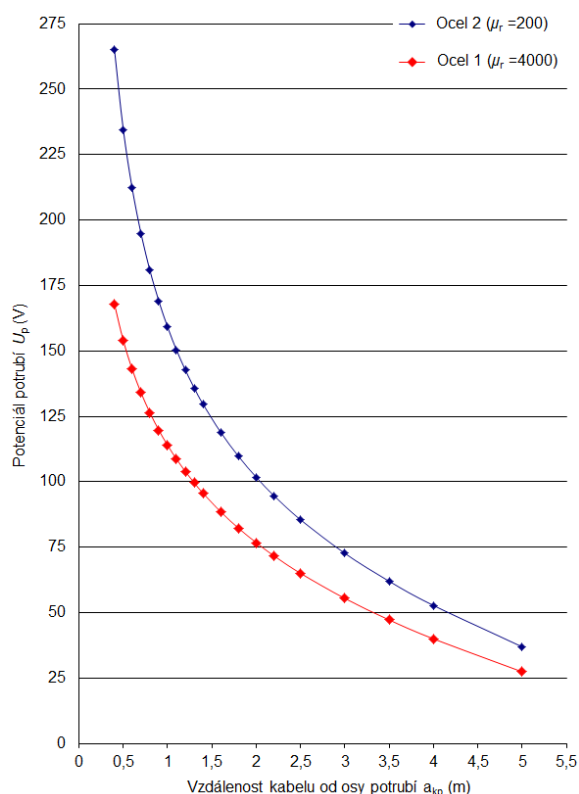
Byly uvažovány souběhy o délkách 1000 m.

Tab. 7: Indukovaná napětí a potenciál potrubí Ocel 1

a_{kp} (m)	$ \overline{I}_{p1} $ (A)	U_{i1} (V)	U_{p1} (V)
0,4	276,220	357,771	167,902
0,5	253,328	328,120	153,987
0,6	235,352	304,837	143,060
0,7	220,487	285,583	134,024
0,8	207,953	269,348	126,405
0,9	197,011	255,177	119,755
1,0	187,440	242,780	113,937
1,1	178,790	231,575	108,678
1,2	170,965	221,441	103,922
1,3	163,872	212,254	99,611
1,4	157,314	203,760	95,625
1,6	145,603	188,590	88,505
1,8	135,308	175,256	82,248
2,0	126,213	163,476	76,719
2,2	117,977	152,809	71,713
2,5	106,931	138,501	64,999
3,0	91,166	118,081	55,416
3,5	77,650	100,576	47,200
4,0	65,769	85,187	39,978
5,0	45,038	58,336	27,377

Tab. 8: Indukovaná napětí a potenciál potrubí Ocel 2

a_{kp} (m)	$ I_{p2} $ (A)	U_{i2} (V)	U_{p2} (V)
0,4	766,202	553,530	265,155
0,5	677,837	489,693	234,575
0,6	613,271	443,048	212,231
0,7	563,151	406,840	194,886
0,8	522,507	377,477	180,821
0,9	488,627	353,000	169,096
1,0	459,701	332,104	159,086
1,1	434,548	313,932	150,381
1,2	412,368	297,909	142,706
1,3	392,532	283,578	135,841
1,4	374,650	270,660	129,653
1,6	343,465	248,131	118,861
1,8	316,962	228,984	109,689
2,0	293,981	212,382	101,736
2,2	273,640	197,687	94,697
2,5	246,988	178,432	85,474
3,0	209,894	151,634	72,637
3,5	179,052	129,353	61,963
4,0	152,364	110,073	52,728
5,0	106,697	77,082	36,924



Obr. 6: Závislost velikosti potenciálu potrubí na vzdálenosti ovlivňujícího kabelu od osy potrubí

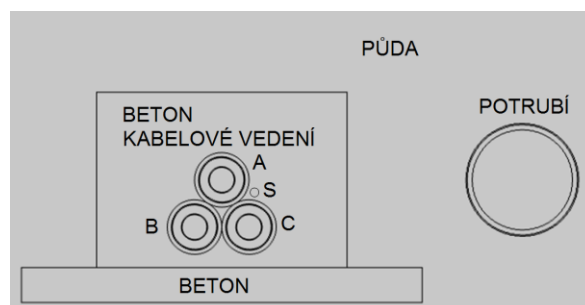
V případě doby trvání jednofázového zkratu na kabelu mezi jednou a třemi sekundami je mez nebezpečného napětí na potrubí 150 V. Všechny souběhy, u kterých byl zjištěn na potrubí větší

potenciál než právě 150 V, jsou považovány za nevyhovující a je nezbytné provést ochranná opatření. Za daných okolností jde o případy, kde je vzájemná vzdálenost menší než 0,6 m u Oceli 1 ($\mu_r=4000$) a 1,2 m u Oceli 2 ($\mu_r=200$). Grafické zobrazení závislosti velikosti potenciálu potrubí na vzdálenosti od ovlivňujícího kabelu je zřejmé z Obr. 6.

VLIV KABELOVÉHO VEDENÍ NA POTRUBÍ S OCHRANNÝMI OPATŘENÍMI

Výpočetní analýzou bylo dokázáno, že účinnost omezení elektromagnetického pole omezujícím vodičem je tím větší, čím bude umístěn blíže k ovlivňujícímu vodiči. To vede na realizaci ochranných opatření na straně vedení [6]. Na straně venkovního vedení je přídavná ochrana značně omezena předepsanými limity na prostorové uspořádání vodičů a okolních objektů a s tím související ekonomickou náročností. Z tohoto důvodu se ochranná opatření před vlivy venkovních vedení na potrubí prakticky realizují zejména na straně potrubních systémů [7]. U kabelových vedení jsou prostorové limity a ekonomická náročnost na ochranná opatření výrazně příznivější. Technické a ekonomické podmínky jsou podobné jako u realizace ochranných opatření na straně potrubí. S výhodou lze tedy nežádoucí vlivy kabelových vedení na potrubní systémy efektivně eliminovat aplikací omezujících vodičů na straně kabelového vedení.

Do řešené soustavy vodičů a potrubí bude přidán omezující vodič, tzv. symetrizační vodič S, typu CYY 1 x 240 mm². Bude uložen v těsné blízkosti kabelového vedení a bude galvanicky propojovat stínění kabelů a zemnicí systémy.



Obr. 7: Uspořádání řešeného systému s omezujícím vodičem S

Elektrické proudy potrubím při poruchovém stavu kabelového vedení s omezujícím vodičem

Za předpokladu stejné poruchy jako v předchozím případě (bez ochranného opatření), se poruchový proud, vytékající z místa poruchy, rozdělí na proud protékající stíněním kabelu A, omezujícím vodičem S, betonem a půdou. Rozdělení elektrických proudů bylo provedeno s respektováním elektrických vodivostí jednotlivých prvků.

Tab. 9: Rozdělení proudů při jednofázovém zkratu s vodičem S

Vodič	Elektrický proud
Fáze A	$\overline{I_A} = 31850 \angle 0^\circ \text{ A}$
Fáze B	$\overline{I_B} = 500 \angle -120^\circ \text{ A}$
Fáze C	$\overline{I_C} = 500 \angle 120^\circ \text{ A}$
Vodič S	$\overline{I_S} = 17323,19 \angle 180^\circ \text{ A}$
Stínění A	$\overline{I_{SA}} = 14524 \angle 180^\circ \text{ A}$
Stínění B	$\overline{I_{SB}} = 0 \angle 0^\circ \text{ A}$
Stínění C	$\overline{I_{SC}} = 0 \angle 0^\circ \text{ A}$
Beton	$\overline{I_{BK}} = 0,0126 \angle 180^\circ \text{ A}$
Půda	$\overline{I_P} = 2,7925 \angle 180^\circ \text{ A}$

Analogicky s předchozím případem byly vypočítány proudy v potrubí (Ocel 2), vyvolané vzniklým indukovaným napětím na potrubí vlivem průtoku poruchového proudu předmětného kabelu, který je však vybaven omezujícím vodičem S. V následující tabulce Tab. 10 jsou shrnuty hodnoty proudů v potrubí s aplikací omezujícího vodiče a bez aplikace omezujícího vodiče. Poměrem těchto proudů je získán tzv. redukční činitel omezujícího nebo-li symetrizačního vodiče.

$$r_s = \frac{\overline{I_{p2s}}}{\overline{I_{p2}}}, \quad (3)$$

kde:

r_s (-).....redukční činitel symetrizačního vodiče S

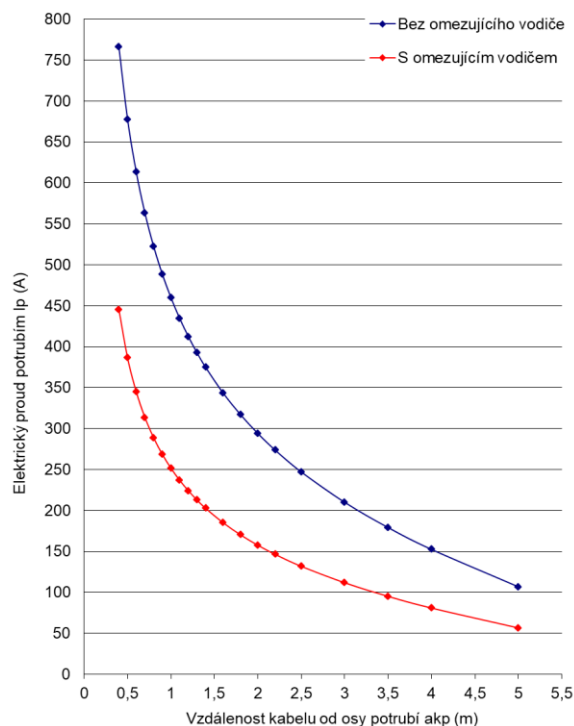
I_{p2} (A).....elektrický proud potrubím Ocel 2 v případě poruchy na kabelu bez symetrizačního vodiče

I_{p2s} (A).....elektrický proud potrubím Ocel 2 v případě poruchy na kabelu se symetrizačním vodičem.

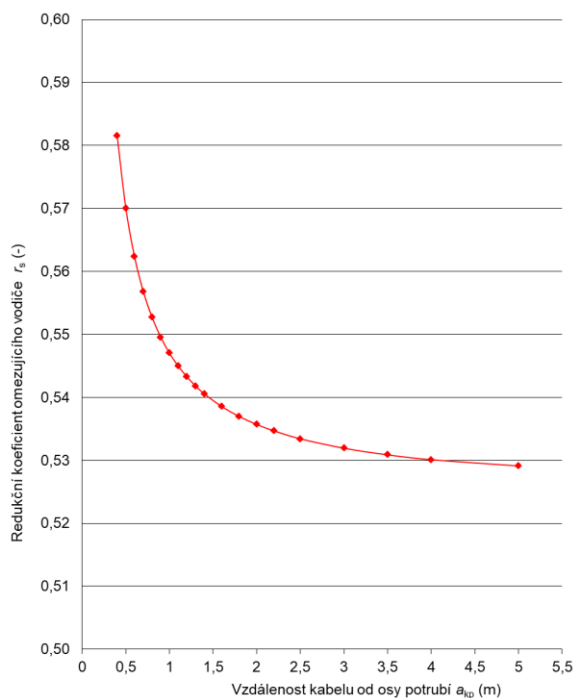
Zřejmý účinek symetrizačního vodiče je patrný z následujících grafů, viz Obr. 8 a Obr. 9. V daném případě omezí proud v potrubí o 42 % až 47 %. Velikost redukčního koeficientu omezujícího vodiče kabelového vedení je závislá na vzdálenosti od posuzovaného potrubí. Eliminující účinek je tím větší, čím je větší vzájemná vzdálenost od vyšetřovaného potrubí. S rostoucí vzdáleností hodnota redukčního koeficientu klesá. Projevuje se zde jistá analogie jako u řešení omezujícího účinku zemního pásu, který se ukládá v souběhu s potrubím jako ochrana před nebezpečnými induktivními účinky venkovních vedení [6].

Tab. 10: Indukovaná napětí a potenciál potrubí Ocel 2

a_{kp} (m)	$\overline{I_{p2}}$ (A)	$\overline{I_{p2s}}$ (A)	r_s (-)
0,4	766,202	430,125	0,582
0,5	677,837	371,757	0,570
0,6	613,271	331,129	0,562
0,7	563,151	300,668	0,557
0,8	522,507	276,639	0,553
0,9	488,627	256,998	0,550
1,0	459,701	240,510	0,547
1,1	434,548	226,374	0,545
1,2	412,368	214,055	0,543
1,3	392,532	203,130	0,542
1,4	374,650	193,371	0,541
1,6	343,465	176,526	0,539
1,8	316,962	162,376	0,537
2,0	293,981	150,220	0,536
2,2	273,640	139,546	0,535
2,5	246,988	125,661	0,533
3,0	209,894	106,531	0,532
3,5	179,052	90,774	0,531
4,0	152,364	77,230	0,530
5,0	106,697	54,203	0,529



Obr. 8: Závislost proudu v potrubí na vzdálenosti ovlivňujícího kabelu od osy potrubí



Obr. 9: Závislost velikosti redukčního koeficientu omezujícího vodiče na vzdálenosti kabelu od osy potrubí

ZÁVĚR

Článek prezentuje případovou studii induktivních vlivů kabelového vedení vvn na blízké ocelové izolované potrubí. Pro různé souběhy kabelů a potrubí jsou vypočítány hodnoty napětí indukovaných v potrubí a hodnoty elektrického proudu vyvolaného tímto napětím. Uvedené výsledky byly použity jako podkladový materiál pro zahraniční projekt stavby kabelového vedení 110 kV, jehož trasa byla zvolena v koridoru s cizími inženýrskými sítěmi. U souběhů, které dle výpočtu představují nebezpečný provoz inženýrské sítě, v tomto případě potrubí, je nutné provést ochranná opatření. V daném případě byl zkoumán kabelový systém s omezujícím vodičem. Omezující vodič, aplikovaný na straně ovlivňujícího vedení se projevil jako prvek účinně eliminující induktivní vliv na okolní síť. Omezující účinek byl pro různá dispoziční uspořádání vyjádřen formou redukčních koeficientů, které lze s výhodou uplatnit v normativních výpočtech na posouzení nebezpečných vlivů kabelových vedení na okolní ocelová izolovaná potrubí a metalické sdělovací kabely.

LITERATURA

- [1] ČSN 33 2165. Elektrotechnické předpisy - Zásady pro ochranu ocelových izolovaných potrubí uložených v zemi před nebezpečnými vlivy venkovních trojfázových vedení a stanic vvn a zvn. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [2] prEN 50443. Effects of Electromagnetic Interference on Pipelines cased by High Voltage A.C. Railway Systems and/or High Voltage A.C. Power Supply Systems. Brussels: CENELEC, 2009.
- [3] Theofilos A. Papadopoulos, Andreas I. Chrysochos, Dimitrios I. Doukas, Grigoris K. Papagiannis, Dimitris P. Labridis. Induced voltages and currents: Overview and evaluation of simulation models and methodologies. In: Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MedPower 2016). Belgrade, Serbia: IET, 2016. ISBN 978-1-78561-406-4.
- [4] Fatiha Babaghayou, Boubakeur Zegnini, Tahar Seghier. Experimental model investigation of the corrosion of buried steel pipelines with cathodic protection near high voltage power lines. In: 2016 International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM). Marrakech, Morocco: IEEE, 2016. ISBN 978-1-5090-4947-9.
- [5] Janda, Z., Noháč, K. Analysis of the inductive effects of overhead lines to close pipelines. In: 15th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2014. Brno: VUT Brno, 2014. ISBN 978-1-4799-3806-3.
- [6] Janda, Z., Noháč, K. Nové zkušenosti s výpočtním vyhodnocováním nebezpečného vlivu venkovního vedení vvn na blízké potrubní systémy. Slovgas. Bratislava: Slovenský plynárenský a naftový svaz, 2014, 24(1), 24-30. ISSN 1335-3853.
- [7] Duo Lu, Chenlong Liu, Lei Qi, Hui Yuan. Mitigation of Electromagnetic Influence on the Buried Metal Pipeline near Overhead AC Transmission Line. In: 2012 Sixth International Conference on Electromagnetic Field Problems and Applications. Dalian, Liaoning, China: IEEE, 2012. ISBN 978-1-4673-1335-3.