

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kompatibilita zabezpečovacího a trakčního zařízení

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr SUCHÁNEK**
Osobní číslo: **E11N0043K**
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Kompatibilita zabezpečovacího a trakčního zařízení**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


1. Uveďte základní pojmy, popis a rozdělení EMC a rozeberte příslušnou legislativu.
2. Vysvětlete a popište ohrožující a rušivé vlivy trakce AC25 kV na zabezpečovací a sdělovací vedení. Proveďte vzorový výpočet indukovaného napětí pro zkratový a mimořádný stav do vazebního kabelu zabezpečovacího zařízení. Navrhněte metody eliminace tohoto napětí.
3. Proveďte analýzu vzájemné součinnosti systémů vyhodnocujících volnost kolejových úseků s trakčním zařízením. Vysvětlete problematiku míst neomezeného připojení zemní svodové admitance.
4. Proveďte závěrečné zhodnocení a shrnutí dosažených výsledků.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:
1. Příslušné technické normy
2. Technické a bezpečnostní předpisy SŽDC
3. Informační zdroje, katalogy

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Konstantin Schejbal, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie
Konzultant diplomové práce: **František Suchánek**
SŽDC - TÚDC, diagnostická laboratoř zabezpečovací
techniky
Datum zadání diplomové práce: **15. října 2012**
Termín odevzdání diplomové práce: **9. května 2013**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




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

V Plzni dne 15. října 2012

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na elektromagnetickou kompatibilitu zabezpečovacího a trakčního zařízení. Popisuje ohrožující a rušivé vlivy střídavé trakční soustavy na zabezpečovací a sdělovací vedení, obsahuje výpočet indukovaného napětí do vazebního kabelu zabezpečovacího zařízení, analýzu vzájemné součinnosti systémů vyhodnocujících volnost kolejových úseků s trakčním zařízením a přináší komplexní pohled na simultánní provoz zabezpečovacího a trakčního zařízení.

Klíčová slova

Zabezpečovací zařízení, trakční zařízení, sdělovací zařízení, simultánní činnost, koexistence, kompatibilita, admitance, kolejový obvod, počítač náprav, neomezené připojení, nebezpečný vliv, zkratový stav.

Abstract

This thesis is focused on electromagnetic compatibility of security and traction devices. It describes threatening and disruptive influences of AC traction system for signaling and communication lines. It includes calculation of induced voltage in coupling security device cable; it provides analysis of systems' interaction that evaluates accessibility of tracked sections with traction devices and it presents comprehensive view on the simultaneous operation of the signaling and traction devices.

Key words

Security system, traction system, communication devices, simultaneous activity, coexistence, compatibility, admittance, track circuit, axle counter, unlimited connection, dangerous influence, short-circuit situation.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 2.5.2013

Bc. Petr Suchánek

Poděkování

Tento prostor bych v první řadě rád věnoval poděkování doc. Ing. Konstantinu Schejbalovi, CSc. za cenné rady a vedení práce. Dále je mou povinností poděkovat přednostně Ing. Vladimíru Verzichovi, Ph.D. a Ing. Janu Říčařovi za čas, který mi věnovali během našich konzultací a za mnoho užitečných rad a informací, které mně poskytli. V neposlední řadě však také patří dík mým kolegům v zaměstnání, a to za pomoc a podporu během celého mého studia.

OBSAH

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	12
1 Základní pojmy, rozdělení EMC, legislativa	13
1.1 Úvod	13
1.2 Základní pojmy	13
1.3 Elektromagnetická kompatibilita	19
1.3.1 Přímý vliv	19
1.3.2 Nepřímý vliv	20
1.4 Legislativa	20
1.4.1 Ochrana zabezpečovacích vedení	20
1.4.2 Součinnost zabezpečovacího a trakčního zařízení	21
2 Ohrožující vlivy trakce AC 25 kV / 50 Hz	23
2.1 Úvod	23
2.2 Jednofázový trakční systém	23
2.2.1 Elektrické vlivy	24
2.2.2 Vzájemná indukčnost	25
2.2.3 Měrná vodivost půdy	25
2.2.4 Trakční proudy	26
2.2.5 Redukční faktor kolejí	29
2.2.6 Stručné zásady	29
2.3 Vzorový výpočet	30
2.3.1 Výchozí parametry	31
2.4 Nebezpečný vliv	33
2.4.1 Zkratový stav	33
2.4.2 Mimořádný stav	37
2.5 Rušivý vliv	37
2.6 Eliminace vlivů	37
3 Analýza součinnosti zabezpečovacího a trakčního zařízení	38
3.1 Úvod	38
3.2 Systémy vyhodnocující volnost kolejových úseků	39
3.2.1 Prostředky spolupůsobení vlaku	39
3.2.2 Kolejové obvody	39
3.2.3 Detektory kol	40
3.2.4 Počítače náprav	41
3.2.5 Současný stav	41

3.3	Legislativa	42
3.4	Místo neomezeného připojení	45
3.4.1	Modelový příklad	46
3.4.2	Svodiče přepětí	47
3.4.3	Elektrický ohřev výměn.....	47
4	Závěrečné shrnutí a vyhodnocení	49
4.1	Shrnutí druhé části	49
4.1.1	Praktický příklad	50
4.2	Shrnutí třetí části.....	52
4.2.1	Praktické dopady	55
4.3	Blízká budoucnost	59
	ZÁVĚR	61
	POUŽITÁ LITERATURA	62
	SEZNAM PŘÍLOH	65
	Příloha č. 1: Průběh zkratových trakčních proudů	66
	Příloha č. 2: TABULKA redukční činitel kolejí	67
	Příloha č. 3: TABULKA meze nebezpečných elektromagnetických vlivů.....	68
	Příloha č. 4: TABULKA meze krátkodobých nebezpečných indukčních vlivů;	69
	rozsah výpočtů.....	69
	Příloha č. 5: NOMOGRAM pro stanovení vzájemné indukčnosti M	70
	Příloha č. 6: TABULKA maximálního dotykového napětí pro AC trakční soustavy jako ..	71
	funkce doby trvání	71
	Příloha č. 7: Průběh redukčního činitele kolejí.....	72
	Příloha č. 8: VÝŘEZ programu z prostředí MS Excel určeného k výpočtu	73
	indukovaných napětí.....	73

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/symbol	Význam
AC	Střídavá soustava
ACRI	Asociace podniků českého železničního průmyslu
CCZ	Pantografová oblast
ČD	České dráhy, akciová společnost
DC	Stejnoseměrná soustava
DLZT	Diagnostická laboratoř zabezpečovací techniky (subjekt TÚDC)
DÚ	Drážní úřad
EMC	Elektromagnetická kompatibilita
EOV	Elektrický ohřev výměn
ERTMS	Evropský systém řízení železniční dopravy
ETCS	Evropský vlakový zabezpečovací systém
EŽ	Elektrizace železnic Praha, a.s.
HP	Nejvyšší bod trolejového vedení
J	Vyhodnocovací relé kolejového obvodu
KO	Kolejový obvod
KSUaTP	Koordináční schéma ukolejnění a trakčního propojení
KÚ	Kolejový úsek
MNP	Místo neomezeného připojení
NN	Nízké napětí
OAE	Odbor automatizace a elektrotechniky (odbor SŽDC)
OCLZ	Oblast trolejového vedení
OPNDN	Ochrana před nebezpečným dotykovým napětím
OŘ	Oblastní ředitelství (subjekt SŽDC)
PN	Počítač náprav
POTV	Prostor ohrožení trakčním vedením
PZZ	Přejezdové zabezpečovací zařízení
RZZ	Reléové zabezpečovací zařízení
SDC	Správa dopravní cesty (nahrazeno OŘ)
SEE	Správa elektrotechniky a energetiky (subjekt OŘ)
SSZT	Správa sdělovací a zabezpečovací techniky (subjekt OŘ)
ST	Stykový transformátor
SYT	Symetrikační tlumivka fy AŽD Praha, s.r.o.
SZZ	Staniční zabezpečovací zařízení
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty, státní organizace
TCL	Osa koleje
TOR	Temeno kolejnice
TT	Trakční transformovna
TÚDC	Technická ústředna dopravní cesty (subjekt SŽDC)
TV	Trakční vedení
UPO	Průrazka s opakovatelnou funkcí
VLD	Zařízení omezující napětí
VN	Vysoké napětí
ZL	Zaváděcí list

<i>a</i>	[m]	vzájemná vzdálenost ovlivňujících se okruhů
<i>f</i>	[Hz]	frekvence trakce
<i>I_k</i>	[A]	jednofázový zkratový proud tekoucí vedením
<i>I_{nap}</i>	[A]	trakční proud při mimořádném stavu
<i>I_{ek}</i>	[A]	trakční proud ekvivalentní počtu lokomotiv
<i>I_z</i>	[A]	zkratový proud
<i>L_{pr}</i>	[km]	vzdálenost dvou míst neomezeného připojení
<i>l_{ek}</i>	[km]	délka souběhu
<i>l_i</i>	[km]	délka i-tého výpočetního úseku souběhu
<i>M</i>	[H/km]	činitel (faktor) vzájemné indukčnosti
<i>R</i>	[Ω]	elektrický odpor
<i>r</i>	[-]	celkový redukční činitel (faktor)
<i>r_n</i>	[-]	dílčí redukční činitel (faktor)
<i>r_v</i>	[-]	výsledný redukční činitel (faktor)
<i>r_p</i>	[Ωkm]	rezistance přechodu kolej-zem
<i>U_i</i>	[V]	indukované napětí
<i>U_z</i>	[V]	indukované napětí do vazebního kabelu při zkratu
<i>U_m</i>	[V]	indukované napětí do vazebního kabelu při mimořádném stavu
<i>U_{te,max}</i>	[V]	dovolené dotykové napětí
<i>y</i>	[S.km ⁻¹]	měrná svodová admitance
<i>μ₀</i>	[H/m]	permeabilita země; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$
<i>q</i>	[-]	koeficient stanovený normou; $q = 1,7811$
<i>σ</i>	[Ωm]	zdánlivý měrný odpor půdy
<i>α</i>	[-]	koeficient; $\alpha = \sqrt{\mu_0 \frac{2\pi f}{\sigma}} = 0,00281 \cdot \sqrt{\frac{f}{\sigma}}$
<i>γ</i>	[km ⁻¹]	činitel šíření
<i>x</i>	[-]	parametr k určení vzorce pro výpočet M; $x = a\alpha$
<i>k</i>	[-]	koeficient (proměnný dle počtu lokomotiv)
<i>ω</i>	[-]	konstanta; pro 50 Hz platí: $\omega = 2\pi f = 314$

Pozn.: Uvedené symboly představují uvedené veličiny v uvedených jednotkách, není-li v práci uvedeno jinak.

ÚVOD

V dobách dávno minulých sloužily koleje pouze k fyzickému vedení vlaku určitou trasou. S následným vývojem se koleje začaly postupně, v důsledku elektrifikace, používat k odvodu zpětných trakčních proudů do napájecích stanic a posléze také jako vodiče signálního proudu kolejových obvodů. Simultánní provoz systémů trakčních a zabezpečovacích zařízení však s sebou nese mnoho úskalí. Během provozu drážní dopravy nastávají situace, které je potřeba vyřešit kompromisem s ohledem na všechna dotčená odvětví (zabezpečovací, trakční...). Dogmatická opatření vedoucí např. k eliminaci dotykových napětí mohou mít fatální dopad na spolehlivost zařízení zabezpečovacího a obráceně.

První část práce slouží k zasvěcení do drážní terminologie v oblasti zabezpečovacího a trakčního zařízení a k seznámení s příslušnými technickými normami, o něž se celá tato práce opírá.

Druhá část se věnuje přímým vlivům střídavé trakční soustavy na zabezpečovací a sdělovací vedení. Obsahuje vzorový výpočet indukovaného napětí do vazebního kabelu zabezpečovacího zařízení a navrhuje metody eliminace tohoto napětí.

Třetí část je analýzou součinnosti systémů vyhodnocujících volnost kolejových úseků (zejména kolejových obvodů) s trakčním zařízením a popisuje problematiku míst neomezeného připojení zemní svodové admitance.

Čtvrtá část je sumárním shrnutím a vyhodnocením nabytých poznatků a závěrů, demonstrovaných výpočty na konkrétních případech v žst. Přeštice a Kařízek.

1 Základní pojmy, rozdělení EMC, legislativa

1.1 Úvod

V této části bude vysvětlena základní terminologie používaná v této práci, popsaná elektromagnetická kompatibilita mezi zabezpečovacím a trakčním zařízením a uvedeny základní normy, z nichž jednotlivé části této práce vychází.

1.2 Základní pojmy

Železniční zabezpečovací zařízení: Zařízení, které v souvislosti s jízdami drážních vozidel přispívá k zajištění bezpečnosti železniční dopravy kontrolováním a náhradou podílu lidského činitele a umožňuje automatizaci dopravního procesu a zvyšování výkonnosti železničních tratí a stanic. ([3], s.13)

Trakční napájecí stanice: Zařízení, jehož hlavní funkcí je napájení trakčního vedení. Napájecí stanice je připojena na energetickou soustavu VN nebo VVN, obvykle 22 kV nebo 110 kV. ([3], s.14)

Trakční transformovna: Trakční napájecí stanice pro AC trakční soustavu 25 kV/50Hz.

Trakční měnič: Trakční napájecí stanice pro DC trakční soustavu 3 kV.

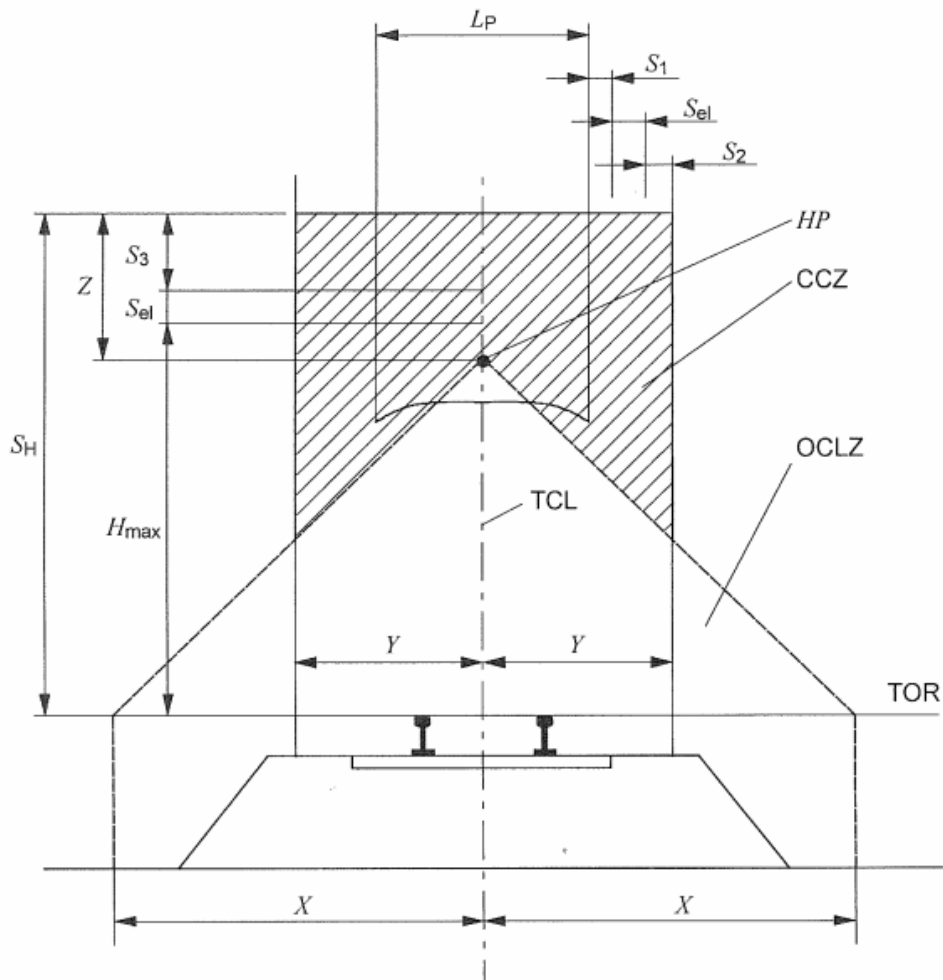
Trakční vedení: Soustava vodičů zabezpečujících dodávku elektrické energie do vozidla prostřednictvím sběrače. ([3], s.14)

Zpětné kolejnicové vedení: Část zpětného vedení vytvořená vodivě propojenými (většinou pojížděnými) kolejnicemi.

Stykový transformátor: Zařízení umožňující u dvoupásových kolejových obvodů průchod zpětného trakčního proudu přes izolované kolejnicové styky, které současně zajišťuje správnou funkci kolejových obvodů. ([3], s.14)

Elektrický ohřev výměn (EOV): Zařízení využívající vyhřívacích odporových tyčí, umístěných na pevné části výhybky, k odstranění sněhu a námrazy.

Prostor ohrožení trakčním vedením (POTV): Geometricky vymezený prostor, o kterém se předpokládá, že při poruše trakčního vedení v něm může dojít k přenesení napětí na vodivé části v tomto prostoru. ([3], s.15)



Obr. 1 Prostor ohrožení trakčním vedením (POTV) ([8], s.3)

Legenda

TOR	temeno kolejnice;
HP	nejvyšší bod trolejového vedení;
OCLZ	oblast trolejového vedení;
CCZ	pantografová oblast;
TCL	osa koleje;
X	maximální jednostranná (poloviční) horizontální vzdálenost od osy koleje OCLZ, v úrovni temene kolejnice;
Y	maximální jednostranná (poloviční) horizontální vzdálenost CCZ;
Z	vzdálenost mezi HP a S_H ;
S_1	šířka bočního pohybu sběrače; (příčná tuhost);
S_2	boční bezpečná vzdálenost pro poškozený nebo uvolněný sběrač;
S_3	vertikální bezpečná vzdálenost pro poškozený nebo uvolněný sběrač;
S_{el}	elektrická vzdušná vzdálenost podle EN 50119;
S_H	maximální výška pantografové oblasti;
L_P	šířka pantografu;
H_{max}	maximální výška plně zdvihnutého pantografu.

([8], s.3)

Napětová soustava	Parametr		
	X	Y	Z
DC 3 kV, 1,5 kV	3 000	1 700	400
AC 25 kV; 50 Hz	3 000	1 800	600
* U prostého trolejového vedení, kdy nejvyšší živou částí je trolejový vodič, musí být parametr Z zvětšen o zdvih trolejového vodiče při maximálním přitlaku sběrače (pantografu)			

V oblouku o poloměru menším než 1 600 m se vnitřní část základny trojúhelníku (parametr X) zvětšuje u poloměru:

800 m – 1 600 m	na 4 000 mm
600 m – 800 m	na 4 500 mm
Do 600 m	na 5 000 mm

Tab. 1 Hodnoty parametrů X, Y, Z ([8], s.4)

Ochrana ukolejněním: Vodivé spojení všech neživých částí přívodního vedení a ostatních zařízení v POTV, která musejí být chráněna, se zpětným vedením při současném zajištění rychlého vypnutí poškozeného úseku trakčního zařízení. ([3], s.15)

Staniční zabezpečovací zařízení (SZZ) (stavědlo): Zařízení, které zabezpečuje jízdy vlaků a posunových dílů v dopravnách s kolejovým rozvětvením. ([3], s.16)

Trat'ové zabezpečovací zařízení (TZZ): Zařízení, které zabezpečuje následné i protisměrné jízdy vlaků v mezistaničních úsecích. ([3], s.16)

Přejezdové zabezpečovací zařízení (PZZ): Zařízení, které informuje uživatele pozemní komunikace o tom, zda se k přejezdu blíží železniční vozidlo, a poskytuje informace strojvedoucímu nebo obsluhujícímu zaměstnanci, zda lze jet k přejezdu nejvyšší dovolenou rychlostí. ([3], s.16)

Reléové zabezpečovací zařízení (RZZ): Zařízení, ve kterém jsou bezpečnostní závislosti realizovány převážně prostřednictvím relé.

Elektronické zabezpečovací zařízení: Zařízení, ve kterém jsou bezpečnostní závislosti realizovány převážně prostřednictvím mikroelektronických prvků.

Kolejový obvod: Elektrický obvod, jehož část tvoří kolejnice kolejového úseku s napájecím zdrojem na jednom a se snímacím zařízením na druhém konci kolejnicového úseku. Slouží k detekci přítomnosti železničního vozidla na trati. Volnost či obsazení se zjišťuje na základě vodivého propojení celistvých kolejnicových pásů nápravou drážního vozidla. ([3], s.16)

Elektromagnetická kompatibilita (EMC): Schopnost zařízení nebo systému fungovat vyhovujícím způsobem ve svém elektromagnetickém prostředí bez vytváření nepřijatelného elektromagnetického rušení pro cokoli v tomto prostředí. ([4], s.18)

Elektromagnetické rušení: Elektromagnetický jev, který může zhoršit provoz přístroje, zařízení nebo systému, anebo nepříznivě ovlivnit živou nebo neživou hmotu. ([3], s.17)

Zemnič: Část nebo soubor uzemňovací soustavy, která vytváří přímý elektrický kontakt se zemí a pomocí které se rozptýlí elektrický proud do země.

Vliv: Vznik nežádoucího napětí nebo proudu ve sdělovacím (zabezpečovacím) vedení působením trakčního vedení. Podle druhu vazby mezi oběma vedeními se člení na elektromagnetický vliv, elektrostatický vliv a galvanický vliv. Podle účinku se dělí na nebezpečný vliv a rušivý vliv. ([14], s.1)

Rušivý vliv: Vliv trakčního vedení, při němž vznikají ve sdělovacích (zabezpečovacích) vedeních napětí a proudy, které zhoršují kvalitu přenosu signálu. ([14], s.1)

Nebezpečný vliv: Vliv trakčního vedení, při němž vznikají ve sdělovacích (zabezpečovacích) vedeních napětí a proudy nebezpečné pro pracující na sdělovacích (zabezpečovacích) vedeních a zařízeních, popř. napětí a proudy, které mohou ohrozit zařízení připojená na tato vedení. ([14], s.1)



Obr. 2 Rozdělení nebezpečných vlivů

Normální stav trakčního vedení: Stav, při němž trakční vedení je napájeno všemi napájecími stanicemi trakčního úseku. ([15], s.6)

Mimořádný stav trakčního vedení: Stav, při němž některá z napájecích stanic je dočasně mimo provoz. ([15], s.6), (Při výpočtu uvažováno s maximálním možným počtem lokomotiv)

Zkratový stav: Stav, při němž je trolejové vedení ve zkratu se zemí.

Dálkový kabel: Kabel pro spojení mezinárodní nebo vnitrostátní na větší vzdálenosti, včetně kabelů ochranných a přípojných. ([15], s.7)

Místní kabel: U železničních kabelů se zpravidla jedná o kabel lokalizovaný v obvodu železniční stanice.

Redukční činitel: Poměr výsledné elektromotorické síly indukované ve sdělovacím (zabezpečovacím) vedení při uplatnění kompenzačních účinků kovových obalů kabelů,

sousedních vodičů a kovových konstrukcí k elektromotorické síle, která by se indukovala ve sdělovacím (zabezpečovacím) vedení bez kompenzačních účinků kovových obalů, vodičů a konstrukcí. ([15], s.7)

Podélná elektromotorická síla: Elektromotorická síla indukovaná střídavým elektromagnetickým polem trakčního proudu v okruhu tvořeném vodičem sdělovacího (zabezpečovacího) vedení a zemí. ([15], s.7)

Průrazka: Průrazné jiskřiště, zapojované mezi kolejnicí vedoucí trakční proud a kovové zařízení, jež má být chráněno. Průrazka spojí samočinně chráněné zařízení s kolejnicí vedoucí trakční proud, vznikne-li na něm napětí vyšší než je průrazné napětí průrazky. ([14], s.2)

Souběh: Sblížení zabezpečovacího (sdělovacího) a trakčního vedení, při kterém mohou vzniknout v zabezpečovacím (sdělovacím) vedení nebezpečné nebo rušivé vlivy. ([14], s.3)

Dotykové napětí: Část napětí uzemňovací soustavy proti zemi, kterou člověk může překlenout při dotyku přičemž se uvažuje od ruky k nohám. [25]

Obchozí cesta: Prostor v kolejišti, ve kterém je nebezpečí vzájemného ovlivnění dvoupásových kolejových obvodů.

Symetrizační tlumivka: Určena pro symetrické připojení svodičů přepětí, zdrojů napájených z trakčního vedení (transformátorů, střídačů), případně ukolejnění vodivých konstrukcí v prostoru ohroženém trakčním vedením do dvoupásových kolejových obvodů. V jednom kolejovém obvodu může být použito pouze jedno symetrické ukolejnění pomocí této tlumivky resp. kaskády dvou tlumivek. Zapojuje se mezi kolejnice elektrického kolejového úseku dvoupásového kolejového obvodu.

Zaváděcí list: Dokument informující o schválení nových zařízení, přístrojů, typových zapojení, metod pomůcek a přípravků pro provoz na železniční dopravní cestě. ZL vydává Technická ústředna dopravní cesty SŽDC.

Veřejně přístupná místa: Prostory určené pro veřejnost, nástupiště a přístupové cesty k nim a prostory v budovách nacházejících se v obvodu dráhy, pokud jsou v nich poskytovány služby související s drážní dopravou, nákladiště a komunikace, které jsou v souběhu s drážním tělesem nebo ho křížují a nacházejí se v obvodu dráhy. ([7], čl.3.1)

1.3 Elektromagnetická kompatibilita

H. M. Schlike, jeden ze zakladatelů elektromagnetické kompatibility jako nového vědecko-technického oboru již v roce 1968 řekl: „Systém sám o sobě může být dokonale spolehlivý – bude však prakticky bezcenný v provozu, pokud současně nebude elektromagneticky kompatibilní. Spolehlivost a elektromagnetická kompatibilita jsou neoddělitelné požadavky na systém, který má fungovat v každé době a za všech okolností“. ([19], s.8)

Dnes lze s jistotou prohlásit, že čas mu dal za pravdu.

Ať už se jedná o kolejové úseky staniční, či traťové, téměř vždy se nachází v relativně těsné blízkosti vedení trakční (je-li elektrifikováno) s vedeními zabezpečovacích (případně sdělovacích) zařízení. Obvody zabezpečovacích zařízení obvykle protékají proudy o napětí v rozmezí několika málo, až po stovky voltů, a o poměrně širokém spektru kmitočtů. Naprostá většina těchto vedení se nachází v elektromagnetickém poli trakce, kterou protéká proud o napětí 25 000 V a kmitočtu 50 Hz. Je logické, že současný provoz a vzájemná koexistence těchto systémů nemůže zůstat bez obtíží.

Obecně lze vliv vedení střídavé trakce rozdělit do dvou hlavních skupin a to na *přímý* a *nepřímý* vliv.

1.3.1 Přímý vliv

Přímým vlivem trakčního vedení se zabývá druhá část této práce, ve které je popsán jednofázový trakční systém a proveden vzorový výpočet indukovaného napětí do vazebního kabelu zabezpečovacího zařízení.

1.3.2 Nepřímý vliv

Provoz zařízení sloužících k přenosu napěťové hladiny 25 000 V, jehož equipment se nachází ve veřejnosti přístupných místech, používající kolejnice jako zpětné vedení, vyžaduje takové opatření, aby riziko ohrožení života a zdraví osob bylo minimální. Ideální ochrana proti vzniku nedovolených dotykových napětí na neživých částech zařízení by však znamenala porušení vnějších podmínek zabezpečovacího zařízení pro provoz systémů vyhodnocujících volnost kolejových úseků, konkrétně kolejových obvodů. Z hlediska bezpečnosti by bylo ideální, každou samostatnou neživou část situovanou v POTV přímo připojit ke zpětnému vedení (ukolejnit) a zároveň uzemnit. Spolehlivá činnost kolejových obvodů však vyžaduje zemní odpor, připojených konstrukcí, co možná nejvyšší. Simultánní spolehlivá činnost trakčního a zabezpečovacího zařízení je tedy otázkou kompromisu mezi spolehlivostí výstupů zabezpečovacích systémů a bezpečností neživých částí systémů trakčních z hlediska dotykového napětí. Analýzou současného stavu a hledáním optimálního konsenzu se zabývá třetí část této práce.

1.4 Legislativa

Technických norem týkajících se provozu zabezpečovacího nebo trakčního zařízení je značné množství. Samotné shromáždění veškerých legislativních dokumentů a následný výběr materiálů, potřebných pro správné a pravdivé sepsání druhé a třetí části, je tedy poměrně zdoluhavý úkol. Jelikož je pro tuto práci stěžejní druhá a třetí část, je tedy i vztažená legislativa rozdělena do dvou částí.

1.4.1 Ochrana zabezpečovacích vedení

Pro určování a výpočty ochrany zabezpečovacích (sdělovacích) vedení před účinky elektrické trakce 25 kV, 50 Hz jsou stěžejní následující, aktuálně platné (v době psaní této práce), normy.

ČSN 34 2040 – Předpisy pro ochranu sdělovacích a zabezpečovacích vedení a zařízení před nebezpečnými a rušivými vlivy elektrické trakce 25 kV, 50 Hz, schválena 16.10.1968, účinná

od 1.1.1970, změna a) 12/1977, b) 1/1989, c) 5/1991. Se zapracovanými změnami vydána roku 1992.

ČSN 33 2160 – Předpisy pro ochranu sdělovacích vedení a zařízení před nebezpečnými vlivy trojfázových vedení VN, VVN a ZVN, schválená v dubnu 1993, změna 1) 4/1996, 2) 6/1999.

ČSN 33 4010 – Ochrana sdělovacích vedení a zařízení proti přepětí a nadproudu atmosférického původu, schválená 13.12.1989.

ČSN 33 3505 ed. 2 – Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Základní požadavky na elektrické napájecí a spínací stanice, vydána v březnu 2010. Od 1. 2. 2012 nahradila ČSN 33 3505 ze srpna 1988, která do uvedeného data platila společně s touto normou. Zpracovatel normy: MEDIT Consult s.r.o.

ČSN EN 60909-0 – Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – Část 0: Výpočet proudů, vydána v květnu 2002. V souvislosti s vydáním normy byly k 1. 7. 2004 zrušeny ČSN 33 3020 ze září 1992 a ČSN 33 3022 z listopadu 1996, které do uvedeného data platily souběžně s touto normou. Zpracovatel normy: Energoprojekt Praha, a.s.

1.4.2 Součinnost zabezpečovacího a trakčního zařízení

K úspěšné analýze, případně syntéze, součinnosti zabezpečovacího a trakčního zařízení jsou nezbytné normy [6], [7], [9], [10] a jejich změny [8], [11], případně návrhy [22], nebo jiná nařízení [20], [31].

Z hlediska provozu kolejových obvodů:

ČSN 34 2613 ed. 2 – Kolejové obvody a vnější podmínky pro jejich činnost, vydána v prosinci 2007. Od 31. 12. 2009 nahradila ČSN 34 2613 z října 1998, která do uvedeného data platila společně s touto normou. Zpracovatel normy: AŽD Praha, s.r.o.

ČSN 34 2614 ed. 2 – Předpisy pro projektování, provozování a používání kolejových obvodů, vydána v prosinci 2007. Od 31. 12. 2009 nahradila ČSN 34 2614 z října 1998, která do uvedeného data platila společně s touto normou. Zpracovatel normy: AŽD Praha, s.r.o.

V listopadu 2011 byla vydána změna Z1, která se týká přílohy S (zásady připojení vn části stacionárních zařízení napájených z trakčního vedení na zpětné kolejnicové vedení) a přílohy T (doporučené připojování ukolejňovacích vodičů a svodičů přepětí na kolejnice elektrických kolejových úseků dvoupásových kolejových obvodů). Podstata změny spočívá v odstranění odstavce e) čl. S.1.3, který zní: „Na AC trakční soustavě se oba vodiče bezpečnostního připojení připojí přes průrazku s opakovatelnou funkcí na uzemnění s rezistencí menší než 10Ω “. Tato změna vstoupila v platnost tři měsíce před vydáním zaváděcího listu [32] (během ověřovacího provozu) na nový produkt firmy (na symetrizační tlumivku SYT, prvek, který za určitých okolností dokáže nahradit příslušné uzemnění), která je zároveň zpracovatelem původní normy.

Z hlediska trakčního zařízení:

ČSN 34 1500 ed. 2 – Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Předpisy pro elektrická trakční zařízení, vydána v prosinci 2009. Od 1. 12. 2011 nahradila ČSN 34 1500 z prosince 1995, která do uvedeného data platila společně s touto normou. Zpracovatel normy: MEDIT Consult s.r.o.

Změnou Z1 se mění geometrické parametry POTV. Aktuální rozměry a grafické znázornění jsou součástí této práce (str. 14-15).

ČSN EN 50122-1 – Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Elektrická bezpečnost, uzemňování a zpětný obvod – Část 1: ochranná opatření proti úrazu elektrickým proudem, vydána v lednu 2011. Tato norma nahrazuje dokument EN 50122-1: 1997. Zpracovatel normy: SC 9XC a technická komise CENELEC TC 9X.

2 Ohrožující vlivy trakce AC 25 kV / 50 Hz

2.1 Úvod

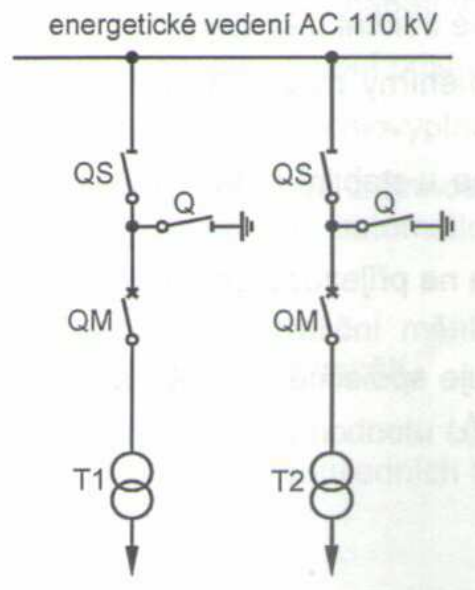
V této části jsou vysvětleny a popsány ohrožující (nebezpečné) a rušivé vlivy trakce AC 25 kV / 50 Hz na zabezpečovací a sdělovací vedení. Tato část dále obsahuje vzorový výpočet indukovaného napětí do vazebního kabelu zabezpečovacího zařízení a metody eliminace tohoto napětí.

2.2 Jednofázový trakční systém

V roce 1958 byly v ČSSR vypracovány technicko-ekonomické studie o elektrických trakčních systémech, které prokázaly, že nejvhodnějším trakčním systémem s velkou perspektivou je elektrizace jednofázovým proudem o kmitočtu 50 Hz. ([1], s.9)

Jednofázový trakční systém umožňuje provozovat síť o napětí 25 000 V, zmenšit průřez trolejových vodičů téměř na hranici mechanické stability a pevnosti trolejového vedení a dovoluje zjednodušit napájecí stanice a snížit jejich počet cca na polovinu oproti stejnosměrnému trakčnímu systému. ([1], s.9)

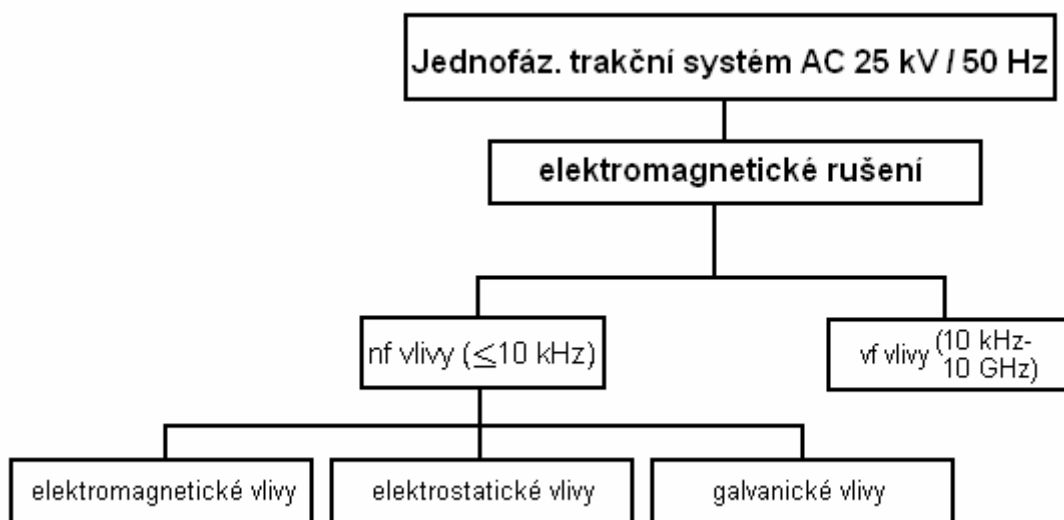
Napájecí stanice jednofázového střídavého systému je připojena na trojfázovou síť 110 kV. Trakční vedení je napájeno na obě strany od napájecí stanice stejnou fází. Trakční transformátory, z nichž jeden se uvažuje jako záložní, jsou jednofázové s primárním vinutím na vedení 110 kV. Sekundární vinutí 25 kV je připojeno jedním koncem ke kolejnici a uzemněno. Druhým koncem k jednofázovému rozvodu 25 kV směrem k trakčnímu vedení. ([1], s.10)



Obr. 3 Způsob připojování trakčních transformoven ([41], čl.9.2.3)

2.2.1 Elektrické vlivy

Na rozdíl od stejnosměrné trakce, jejíž provoz je spjat s problematikou elektrochemických dějů (koroze způsobená bludnými proudy), je jednofázový trakční systém problematický zejména v oblasti elektromagnetismu. Zjednodušená hierarchie elektromagnetického rušení je patrná z obrázku 4.



Obr. 4 Elektromagnetické rušení trakce AC 25 kV ([15], s.4)

Elektromagnetické rušení je oblastí střídavého proudu a přechodných dějů, projevující se indukčními vlivy.

Elektromagnetické vlivy způsobují vznik indukovaných napětí, popř. proudů v souběžných a křížujících zabezpečovacích (sdělovacích) vedení. **Elektrostatické vlivy** vyvolávají nabíjecí proudy, popř. nabíjecí napětí v ovlivňovaných zařízeních a **Galvanické vlivy** způsobují přepětí, popř. nadproudy v zabezpečovacích (sdělovacích) zařízeních (k tomu dochází např. při vzniku potenciálového trychtýře v oblasti uzemňovacího systému napájecí stanice). **Vysokofrekvenční vlivy** zasahující až do pásma 10 GHz způsobují především rušení rozhlasového, televizního příjmu apod. ([15], s.4)

2.2.2 Vzájemná indukčnost

Činitel vzájemné indukčnosti „M“ je závislý na vzdálenosti mezi ovlivňujícím a vlivňovaným vedením, kmitočtu proudu ovlivňujícího vedení a na měrné vodivosti půdy. Jedinou složkou, kterou je možno poměrně přesně stanovit, je vzájemná vzdálenost mezi oběma vedeními. Zbývající dvě složky jsou ve skutečných poměrech velmi proměnné a jejich přesný výpočet je prakticky neproveditelný. ([3], s.127)

Pro zjednodušení byl sestrojen nomogram (Příloha č. 5) obsahující několik křivek pro různé hodnoty odporu půdy v rozmezí od 1 Ω m do 1000 Ω m.

2.2.3 Měrná vodivost půdy

Vliv měrné vodivosti se uplatňuje nejen v součiniteli vzájemné indukčnosti, ale i v redukčním faktoru kolejí a kovového pláště kabelu. Měrná vodivost půdy je obecně závislá na geologickém složení půdy, povětrnostních podmínkách a na kmitočtu ovlivňujícího proudu. Zpětný proud se šíří jak v rovině horizontální, tak vertikální, takže se zde uplatňují i hlouběji uložené vrstvy zemského povrchu. Příímý vliv na rozložení proudu v zemi má jeho kmitočet. V našem případě, kde se jedná o kmitočet 50 Hz, což je hodnota poměrně nízká, bude hloubka vniku proudu velká a v měrném odporu půdy se tedy projeví i složení hluboko ležících vrstev půdy. ([3], s.127)

Pro určení orientační hodnoty rezistivity půdy, v závislosti na jejím charakteru, poslouží následující tabulka:

Charakter půdy	Rezistivita Ωm
Bažinatá půda	od několika do 30
Naplaveniny	20 až 100
Humus, prst'	10 až 150
Vlhká rašelina	5 až 100
Tvárný jíł	50
Vápenatý a kompaktní jíł	100 až 200
Jurský jíł	30 až 40
Jílovité písky	50 až 500
Křemenné písky	200 až 3 000
Holé kamenité půdy	1 500 až 3 000
Zatrávněné kamenité půdy	300 až 500
Měkký vápenec	100 až 300
Kompaktní vápenec	1 000 až 5 000
Rozpukaný vápenec	500 až 1 000
Břidlice	50 až 300
Mikanitová břidlice	800
Žula a pískovec podle míry zvětrání	1 500 až 10 000
Žula nebo velmi zvětralý vápenec (podle míry zvětrání)	100 až 600

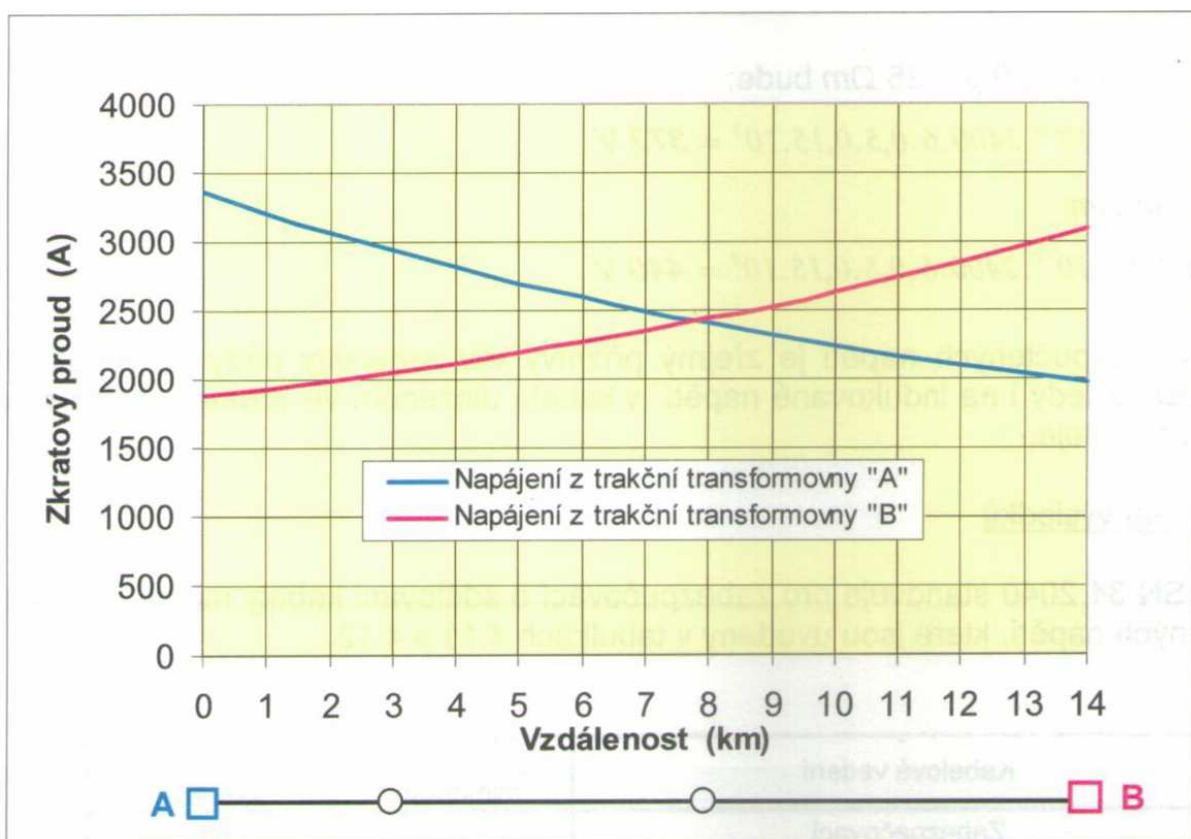
Tab 2. Rezistivita půdy

2.2.4 Trakční proudy

Proudy protékající trakčním vedením jsou rozhodujícím parametrem, který ovlivňuje velikost indukovaného napětí v souběžných vedeních. Z hlediska hodnoty proudu protékajícího trolejovým vodičem rozlišujeme dva základní stavy: Provozní a zkratový. ([3], s.130)

Provozní stav je určen počtem vlaků pohybujících se v uvažovaném úseku. Pro výpočet uvažujeme nejvyšší možný počet vlaků, resp. lokomotiv a tento stav nazýváme mimořádný.

Velikost zkratového proudu závisí na impedanci předřazené napájecí stanici, impedanci transformátoru a impedanci trakčního obvodu k místu zkratu. Při konstantních parametrech napájecí stanice se hodnota zkratového proudu mění pouze v závislosti na vzdálenosti zkratu od napájecí stanice. V obou případech musíme samozřejmě přihlížet k tomu, zda se jedná o jednokolejnou či dvoukolejnou trať. ([3], s.130)

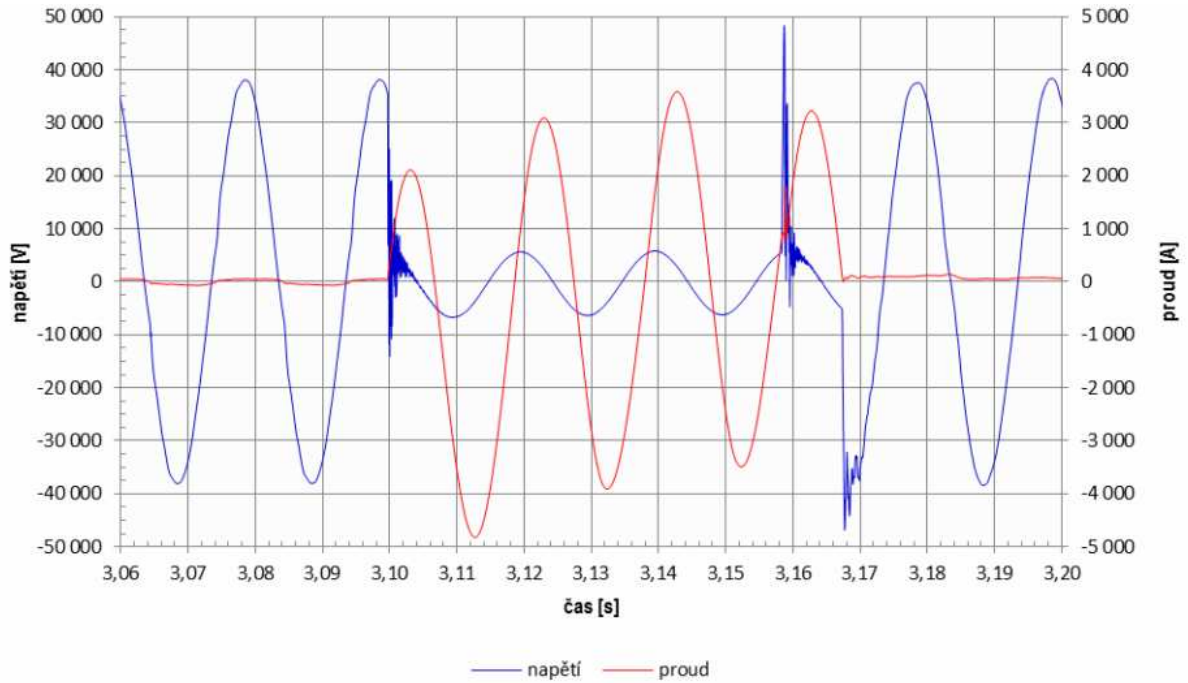


Obr. 5 Příklad průběhů zkratových proudů [38]

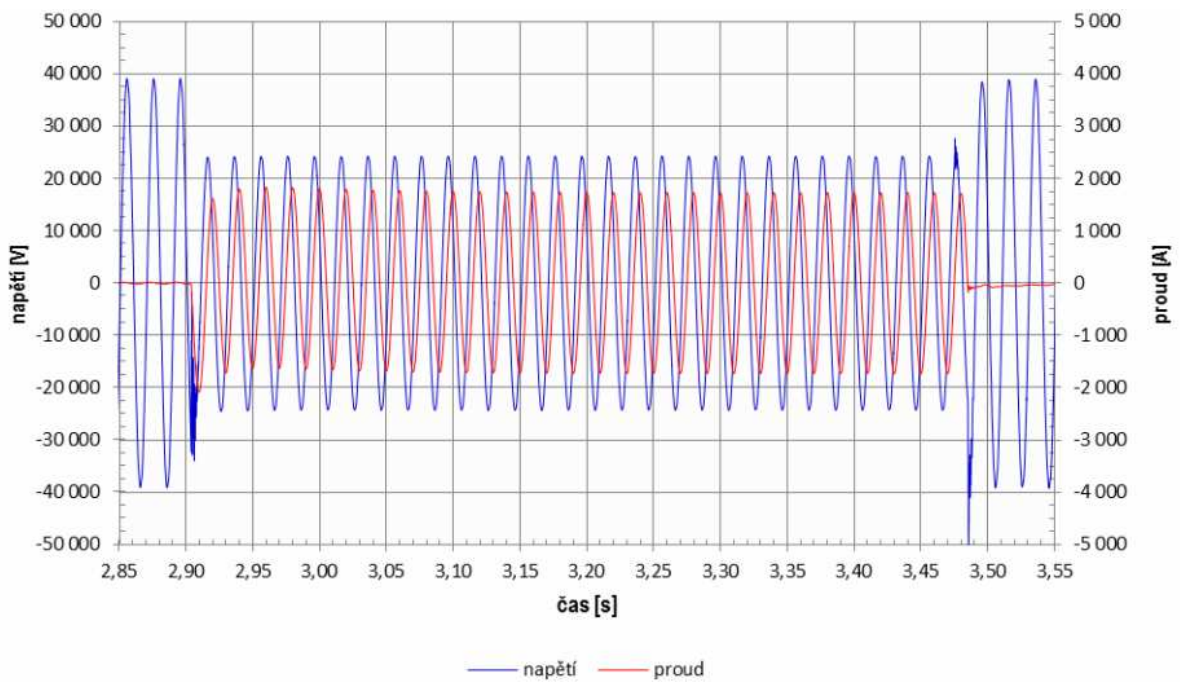
Výpočty zkratových proudů se dle určení drážní normy [41] provádějí podle ustanovení ČSN EN 60909-0.

V rámci probíhajících optimalizací koridorových tratí, bývají zároveň zkratové proudy zhotovitelem (většinou EŽ) měřeny. Následující obrázky slouží k zobrazení rozdílu mezi blízkým a vzdáleným zkratem. Na obr. 6 je zobrazen průběh napětí a proudu při zkratu vzdáleném 3,85 km (zkrat na kolej č. 3 v žst. Kařízek) od trakční transformovny (TT Mýto)

a na obr. 7 zase zkrat ve vzdálenosti 33,60 km (kolej č.1 na zastávce Králův Dvůr). V obou případech je délka napájeného úseku 33,60 km.



Obr. 6 Průběh napětí a proudu při blízkém zkratu [43]



Obr. 7 Průběh napětí a proudu při vzdáleném zkratu [43]

2.2.5 Redukční faktor kolejí

Problémem zjišťování redukčního faktoru kolejí se velmi důkladně zabýval v roce 1963 železniční výzkum v bývalém SSSR, který uskutečnil celou řadu měření ve skutečných provozních podmínkách. ([3], s.130)

Grafické znázornění výsledků těchto měření je obsaženo v normě [14] a zároveň je součástí této práce jako Příloha č. 7.

Směrné hodnoty redukčního faktoru kolejí jsou uvedeny v ČSN 34 2040 a zároveň jsou přílohou této práce (Příloha č. 2).

Pro vyjádření ideálního stínícího účinku železničních kolejí platí vztah odpovídající rovnici:

$$r_K = 1 - \frac{Z_{1K} \cdot Z_{2K}}{Z_{12} \cdot Z_K} = 1 - \frac{(R_{1K} + j\omega L_{1K}) \cdot (R_{2K} + j\omega L_{2K})}{(R_{12} + j\omega L_{12}) \cdot (R_K + j\omega L_K)}$$

kde r_K - redukční faktor kolejí [-];

Z_K - impedance kolejí [Ω/km];

Z_{1K}, Z_{2K}, Z_{12} - vzájemné impedance v dané soustavě [Ω];

2.2.6 Stručné zásady

Indukovaná podélná elektromotorická síla bude dle [1] tím menší, čím bude:

- menší indukující proud,
- větší vzdálenost mezi trakčním a zabezpečovacím (sdělovacím) vedením,
- kratší souběh trakčního a zabezpečovacího vedení,
- nižší hodnota redukčního činitele,
- větší vodivost země.

Dodržováním těchto pěti hlavních zásad dosáhneme přijatelných hodnot indukovaných napětí do kabelů a vedení obecně.

Trakční vedení způsobuje ve svém okolí elektrická a elektromagnetická pole. Tato pole indukují v souběžných a křížujících sdělovacích (zabezpečovacích) vedeních napětí a proudy,

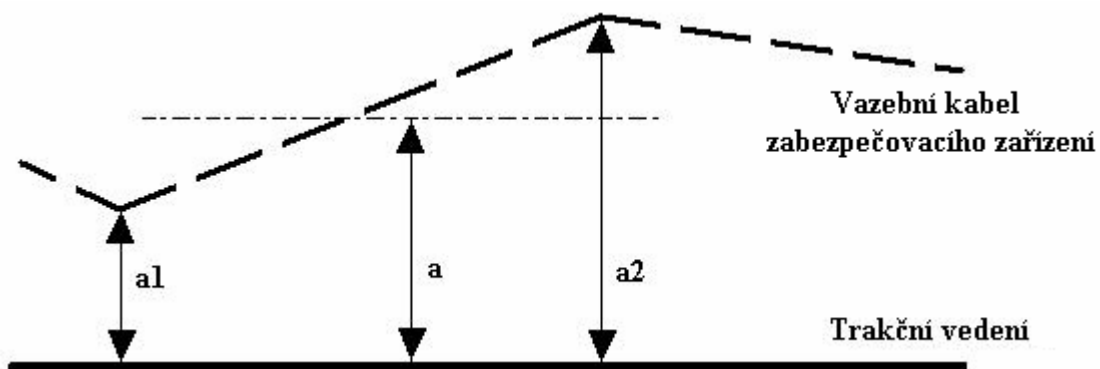
jež se mohou projevit jako nebezpečné nebo rušivé. Únik části zpětného trakčního proudu z kolejí do země může způsobit korozi kovových kabelových obalů. **Indukční vazba** se projevuje na všech vedeních nadzemních i kabelových. Oblast indukční vazby zasahuje okolí v okruhu asi 5 km od železniční tratě. **Kapacitní vazba** se projevuje na nadzemních vedeních, mimo závěsné a samonosné kabely s kovovým uzemněným pláštěm. Je-li vzdálenost nadzemních vedení od trakční sítě větší než 100 m, není nutno tento vliv uvažovat. **Galvanická vazba** se projevuje na okruzích používajících země pro vedení zpětného proudu. ([14], čl.33)

Efektivní hodnoty podélných elektromotorických sil indukovaných v kabelech pro zabezpečovací zařízení nesmějí být při mimořádném stavu napájení trakčního vedení vyšší než 250 V a při zkratu trakčního vedení vyšší než 650 V (elektrická pevnost obvodové izolace návěstních kabelů nesmí být nižší než 1000 V).

Jsou-li zabezpečovací obvody umístěny v dálkovém kabelu, platí pro ně stejné meze jako pro sdělovací okruhy. ([14], čl.51, 52)

2.3 Vzorový výpočet

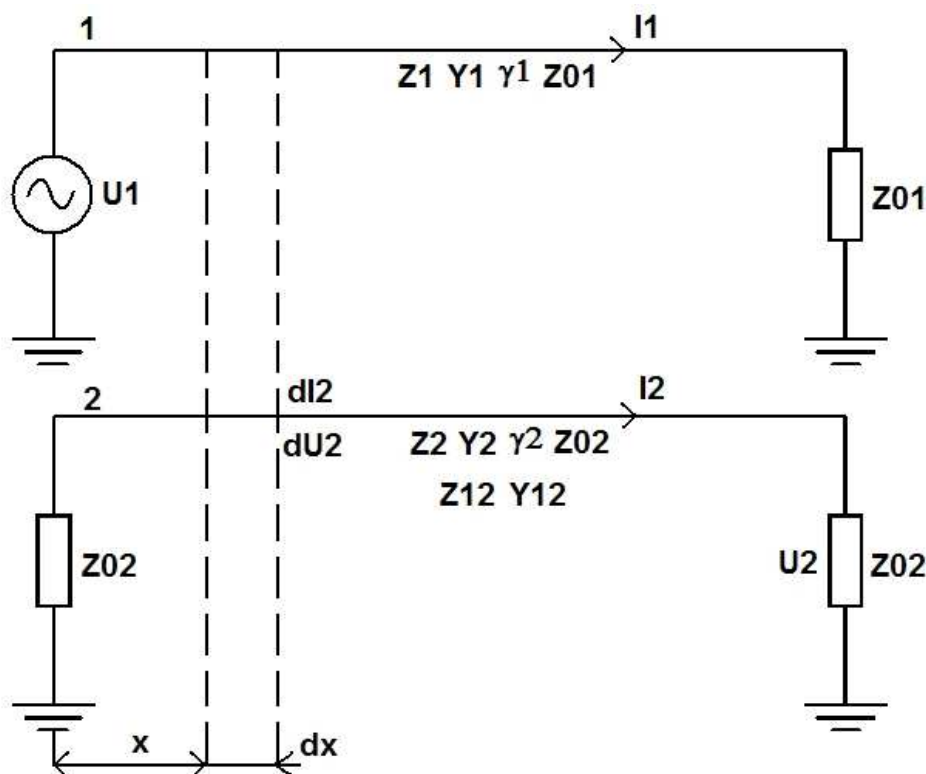
Samotnému výpočtu předchází grafické znázornění počítaného (projektovaného) kabelu vůči trakčnímu vedení. Proveďte se rozdělení celkové délky kabelu na kratší celky, které se vůči trakčnímu vedení aproximují. Indukované napětí U_i je pro zkratový i mimořádný stav počítáno pro každý celek zvlášť a výsledné U_i je dáno jejich součtem.



Obr. 8 Aproximace vazebního kabelu vůči trakčnímu vedení

Při stanovování výchozích parametrů je nezbytné posoudit, jaká míra přesnosti je pro daný případ rozhodující. Je to důležité proto, že některé výchozí parametry ovlivňuje řada činitelů, jejichž stanovení pro přesnější výpočty vyžaduje experimentální měření, což je záležitost často obtížná a nákladná. Výpočty v této práci proto vycházejí z normovaných tabulek a nomogramů.

2.3.1 Výchozí parametry



Obr. 9 Grafické znázornění ovlivňujícího a ovlivňovaného okruhu

Podél jednovodičového vedení 1 (ovlivňující okruh), kterým prochází střídavý elektrický proud I_1 ze zdroje o napětí U_1 do zátěže Z_{01} rovné vlnové impedanci vedení (při zpětném vedení zemí), probíhá druhé, jednovodičové vedení 2 (ovlivňovaný okruh) na obou koncích spojené se zemí přes impedanci Z_{02} . Elektrostatické a elektromagnetické pole vytvořené kolem vodiče 1 indukuje na délce dx vodiče 2 napětí a proud, které je možno vyjádřit rovnicemi:

$$\begin{aligned} -dU_2 &= Z_2 \cdot I_2 \cdot dx + Z_{12} \cdot I_1 \cdot dx \\ -dI_2 &= Y_2 \cdot U_2 \cdot dx + Y_{12} \cdot U_1 \cdot dx \end{aligned}$$

U_1, I_1, U_2, I_2 jsou komplexní efektivní hodnoty v čase konstantní. Z teorie dlouhých vedení je známo, že průběh napětí a proudu podél vedení, které je připojeno na impedanci rovné vlnové impedanci vedení, má exponenciální průběh a je vyjádřen rovnicemi:

$$I_1 = I_{10} \cdot e^{-\gamma_1 x}$$

$$U_1 = U_{10} \cdot e^{-\gamma_1 x}$$

Zavedením těchto vztahů do soustavy rovnic získáme po úpravě konečný tvar diferenciálních rovnic, jejichž řešením obdržíme výrazy pro indukované napětí a proud v ovlivňovaném vedení 2.

$$-\frac{dU_2}{dx} = Z_2 \cdot I_2 + Z_{12} \cdot I_{10} \cdot e^{-\gamma_1 x}$$

$$-\frac{dI_2}{dx} = Y_2 \cdot U_2 + Y_{12} \cdot U_{10} \cdot e^{-\gamma_1 x}$$

V uvedených rovnicích vyjadřují použitá označení tyto parametry:

- | | |
|------------------------------------|---|
| $Z_1 = R_1 + j\omega L_1$ | - podélná impedance vedení 1; |
| $Y_1 = G_1 + j\omega C_1$ | - příčná admitance vedení 1; |
| $Z_{01} = \sqrt{\frac{Z_1}{Y_1}}$ | - vlnová impedance vedení 1; |
| $\gamma_1 = \sqrt{Z_1 Y_1}$ | - činitel šíření vedení 1; |
| U_{10}, I_{10} | - napětí a proud na začátku vedení 1; |
| $Z_2 = R_2 + j\omega L_2$ | - podélná impedance vedení 2; |
| $Y_2 = G_2 + j\omega C_2$ | - příčná admitance vedení 2; |
| $Z_{02} = \sqrt{\frac{Z_2}{Y_2}}$ | - vlnová impedance vedení 2; |
| $\gamma_2 = \sqrt{Z_2 Y_2}$ | - činitel šíření vedení 2; |
| $Z_{12} \doteq j\omega M_{12}$ | - vzájemná impedance mezi vedením 1 a 2 přibližně charakterizovaná vzájemnou indukčností M_{12} ; |
| $Y_{12} = G_{12} + j\omega C_{12}$ | - vzájemná admitance mezi vedením 1 a 2; |

Všechny parametry (kromě proudů a napětí) jsou vztaženy na jednotku délky. Řešením diferenciálních rovnic 2. řádu a matematickým zjednodušením dostaneme vzorec pro indukované napětí (bez uvažování redukčního faktoru):

$$U_{20} = \frac{\omega \cdot I_{10} \cdot M_{12}}{\gamma_1^2 - \gamma_2^2} \cdot (\gamma_1 + \gamma_2 \cdot \frac{e^{-\gamma_1} - \cosh \gamma_2'}{\sinh \gamma_2'})$$

Dalšími matematickými úpravami potom dostaneme normovaný vzorec uvedený v kapitole 2.4, pomocí kterého je proveden konkrétní výpočet.

2.4 Nebezpečný vliv

2.4.1 Zkratový stav

Při výpočtu zkratového stavu vycházíme ze vzorce dle ČSN 34 2040:

$$U_z = \omega M I_z l_{ek} r$$

který je totožný se vzorcem dle ČSN 33 2160, čl. 7.2.1:

$$U_i = 3,14 \cdot I_k \sum_{i=1}^n r_v M_i \cdot 10^{-4}$$

Pozn.: V tomto vzorci je uvedena hodnota „M“ v jednotkách $\mu\text{H}/\text{km}$.

Nejsložitějším částí výpočtu je stanovení vzájemné indukčnosti.

Tři možné varianty zjištění vzájemné indukčnosti M:

- 1.) Výpočtem (dle ČSN 33 2160, Příloha B).
- 2.) Odečtením z nomogramu (ČSN 34 2040), (Příloha č. 5).
- 3.) Softwarovou aplikací (při častějších výpočtech), viz. Příloha č. 8.

Pro snadný a rychlý výpočet vzájemné indukčnosti dle ČSN 33 2160 (a zároveň také celkového indukovaného napětí dle ČSN 34 2040) byl jako součást této práce napsán v prostředí MS Excel program, jehož „printscreen“ je uveden v Příloze č. 8.

Příklad manuálního postupu při výpočtu je pro ilustraci uveden na následujících řádkách:

Uvažovaný (Příloha č. 2) zdánlivý měrný odpor půdy $\sigma = 50 \Omega\text{m}$ (v praxi zjišťován měřením).

Vzájemná vzdálenost (po teoretické aproximaci) trakčního vedení a zabezpečovacího (sdělovacího) kabelu: $a = 15 \text{ m}$

$$x = 0,00281 \cdot a \sqrt{\frac{f}{\sigma}}$$

$$\text{Dosazením do vzorce dostáváme: } x = 0,00281 \cdot 15 \cdot \sqrt{\frac{50}{50}} = 0,04215$$

Jelikož parametr $x < 0,1$, postupujeme pro výpočet M podle vzorce „B.2“ těžké normy, tedy:

$$M = \frac{\mu_0}{4\pi} \left(2 \ln \frac{2}{qa\alpha} + 1 - j \frac{\pi}{2} \right) 10^9$$

Po dosazení hodnot:

$$M = 10^{-7} \left(2 \ln \frac{2}{(1,7811 \cdot 15 \cdot 0,00281)} + 1 - j \frac{\pi}{2} \right) 10^9$$

Po matematickém zjednodušení vychází hodnota činitele vzájemné indukčnosti:

$$\mathbf{M = 772 \mu\text{H/km}}$$

Věrohodnost výsledku ověříme kontrolním porovnáním s hodnotou nomogramu (Příloha č. 5), kde pro $a = 15 \text{ m}$; $\sigma = 50 \Omega\text{m}$, odečítáme hodnotu cca $770 \mu\text{H/km}$. Téměř přesná shoda hodnoty spočítané s hodnotou nomogramovou dokazuje, že při výpočtu bylo postupováno správně.

Velikost zkratového proudu I_z zjistíme z grafu průběhu zkratových trakčních proudů (příklad takového grafu viz. Příloha č. 1 této práce).

V tomto příkladu zvolíme velikost zkratového proudu $I_z = 2500 \text{ A}$.

Délku souběhu vodičů zvolíme $l_{ek} = 2 \text{ km}$.

Stanovení redukčního činitele r :

$$r = r_1 \cdot r_2 \cdot r_3 \dots$$

Celkový redukční činitel r je dán součinem dílčích redukčních činitelů (kolejí, kabelů, a dalších kovů nacházejících se v oblasti vlivu trakce).

Redukční činitel kolejí r_1 : Zvolíme $r_1 = 0,6$ (viz. Příloha č. 2)

Redukční činitel kabelu TCEKE $r_2 = 0,9$

Další případní redukční činitele nabývají v našem příkladu hodnot velmi blízkých jedné a jejich zařazením by nedošlo k významnému ovlivnění výsledku. Proto s nimi ve výpočtu není uvažováno.

Celkový redukční činitel $r = 0,54$

Výpočet indukovaného napětí pro zkratový stav:

$$U_z = 314 \cdot 0,000772 \cdot 2500 \cdot 2 \cdot 0,54$$

$$U_z = 654,5 \text{ V}$$

Spočítané napětí porovnáme s hodnotami uvedenými v tabulce mezi nebezpečných elektromagnetických vlivů z ČSN 34 2040 (viz. Příloha č. 3). Dle rozdělení tabulky se jedná o výpočet dálkového kabelu bez translátorů a bez výstrahy OPNDN (ochrana před nebezpečným dotykovým napětím).

V takovém případě se Tab. 1. zmíněné normy odkazuje na Tab. 14 téže normy (meze krátkodobých nebezpečných indukčních vlivů). Dle této tabulky (Příloha č. 4) je maximální přípustné napětí (efektivní hodnota) v nejhorším možném případě (tj. trvání zkratu po dobu 1,0 s, což je čas, na který je nastavena záložní ochrana) **160 V**.

Z výše uvedeného je patrné, že při uvažovaných podmínkách překročí teoreticky indukované napětí limity stanovené normou o více než 494 V.

Nejjednodušším řešením je použití kabelu typu TCEKPFLEZE, resp. kabelu s provedeným Al drátovým armováním (Příklad na obr. 11), jehož redukční činitel se pohybuje v rozmezí 0,4 – 0,05.



Obr. 10 „Klasický“ kabel bez armování [34]



Obr. 11 „Z“ kabel s Al armováním [35]

Zvolením kabelu s redukčním činitelem 0,15 (tj. při průměru kabelu 50 mm [36]) se celkový redukční činitel sníží na hodnotu $r = 0,09$

Do vzorce pro výpočet U_z dosadíme místo původního redukčního činitele 0,54 snížený redukční činitel.

$$\text{Dosadíme: } U_z = 314 \cdot 0,000772 \cdot 2500 \cdot 2 \cdot 0,09$$

$$U_z = \mathbf{109 \text{ V}}$$

Takto vysoké indukované napětí je již z pohledu normy akceptovatelné.

2.4.2 Mimořádný stav

Postupuje se obdobně jako při výpočtu zkratového stavu a to dle vztahu:

$$U_m = \omega M I_{ek} I_{ek} r$$

Kde $I_{ek} = I_{nap} k$, $k = 0,6 \sim 1$ dle počtu lokomotiv v uvažovaném úseku a

U_m je hodnota indukovaného napětí při mimořádném stavu.

Vzhledem k tomu, že až na zmíněné změny se při výpočtu postupuje stejným způsobem jako při výpočtu zkratového stavu, není v této práci duplicitní výpočet obsažen.

2.5 Rušivý vliv

Výpočet rušivých vlivů elektrické trakce pro zabezpečovací zařízení není ČSN 34 2040 požadován (viz. Příloha č. 4, tabulka „Rozsah výpočtů“). Výpočet rušivého napětí je požadován pro sdělovací vedení, kde se obvykle počítá s proudem 16. a 20. harmonické síťového kmitočtu (oblast nejvyšší citlivosti lidského ucha). Vzorce pro výpočet jsou stanovené normou [14] a jejich meze jsou řádově v [mV], což jsou řády, které nemají vliv na spolehlivý chod zabezpečovacího zařízení.

2.6 Eliminace vlivů

Pravidla pro výpočty nebezpečných vlivů jsou nastavena s bezpečnou rezervou, tzn. že při praktickém ověřování indukovaných napětí dochází zpravidla ke změření nižších hodnot, než jsou hodnoty spočítané. Vyjde-li tedy výpočet indukovaného napětí na hraně meze stanovené normou, žádná další opatření vedoucí ke snížení tohoto napětí se z ekonomických důvodů nezavádějí. Přesahuje-li však indukované napětí normou stanovené meze, je třeba zavést opatření, které povede k jeho snížení. Za obecně nejjednodušší způsob je považována náhrada „klasického“ kabelu za kabel typu TCEKPFLEZE, TCEKPFLEZY... (obecněji kabelu s provedeným Al drátovým armováním). Tím dosáhneme výrazného snížení celkového redukčního činitele, tím pádem celkového indukovaného napětí. Dalším způsobem může být rozdělení délky vazebního kabelu (viz. obr. 8) na vyšší počet dílčích celků a provést uzemnění

pláště kabelu. V případě sdělovacích vedení se přistupuje k projektování optických kabelů, které jsou vůči elektromagnetickým vlivům naprosto inertní.

3 Analýza součinnosti zabezpečovacího a trakčního zařízení

3.1 Úvod

Tato část práce se zabývá analýzou vzájemné součinnosti zabezpečovacího zařízení, konkrétně systémů vyhodnocujících volnost kolejových úseků se zařízením trakčním. Přímý vliv trakce na vedení zabezpečovacích zařízení byl popsán v předchozí části. Tato část je tedy, logicky, zaměřena na vliv nepřímý.

Veškeré vodivé stavby nebo konstrukce (až na výjimky stanovené v [7], článek 5.5.6) nacházející se v POTV je nutno chránit před nebezpečným dotykovým napětím, které by mohlo mít za následek úraz elektrickým proudem. Metody, způsoby, výjimky... To vše stanovuje Česká technická norma ČSN 34 1500 ed. 2. Naproti tomu se však v POTV nachází také systémy vyhodnocující volnost kolejových úseků. Výstup těchto systémů musí být naprosto spolehlivý. Jejich úkolem je rozhodnout, zda se v daném úseku nachází kolejové vozidlo či nikoliv, a tuto informaci postoupit dalším prvkům a systémům zabezpečovacího zařízení. Na základě této stěžejní informace je postavena logika zabezpečovacího zařízení, která následně umožní či neumožní obsluhujícímu zaměstnanci provést ze stavědla příslušnou operaci (postavení vlakové cesty, přestavění výhybky apod.). Právě proto, že pravdivost této informace je rozhodující, kladou se na vnější podmínky pro činnost těchto systémů vysoké nároky (veškeré podstatné informace obsahují normy [9] a [10]).

Vysoké nároky na bezpečnost provozu zařízení trakčního a spolehlivost výstupu zařízení zabezpečovacího s sebou nese úskalí v podobě praktického řešení nevyhovujícího (v době psaní této práce) platným normám. Existují sice opatření, která by představovala optimální konsensus, jejich realizace by však byla až příliš nákladná. Praktické řešení je tedy téměř vždy otázkou kompromisu. Momentální příprava změn některých norem (zejména [9], viz. [22]) má za následek ještě větší zpřísnění podmínek pro provoz zabezpečovacího zařízení, takže zmíněný normativní rozkol se tímto jednostranným revidováním bude prohlubovat. Závažná je zejména skutečnost, že drtivá většina realizací (nových tranzitních

koridorů nevyjímaje) je v přímém rozporu s určitými články určitých norem. To je hlavním důvodem k zevrubnému legislativnímu rozboru, který představuje meritum této části práce.

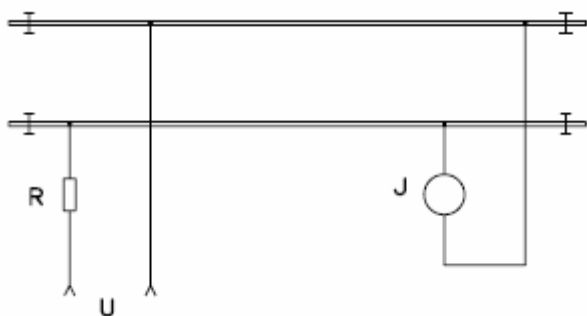
3.2 Systémy vyhodnocující volnost kolejových úseků

3.2.1 Prostředky spolupůsobení vlaku

Pro poloautomatické a automatické zabezpečovací systémy představuje nezbytnost detekce vlaku. Různé zabezpečovací systémy vyžadují různou kvalitu a přesnost detekční informace. Ta ve finále obsahuje údaje o poloze vlaku, směru pohybu, rychlosti pohybu a to pro všechny vlaky v celé řízené oblasti. Metoda použité detekce musí odpovídat použitému systému, splňovat bezpečnostní kritéria podle analýzy možných hazardních stavů a musí být kompatibilní s ostatními provozovanými železničními systémy. ([26], s.5)

3.2.2 Kolejové obvody

Každý kolejový obvod se skládá z kolejového vedení a k němu připojené výstroje. Kolejové vedení je tvořeno úsekem železničního svršku, u kterého kolejnicové pásy představují vodiče a izolaci nahrazují pražce a štěrky. Kolejnicové pásy jsou složeny z jednotlivých kolejnic, které jsou spojeny buď svárem, nebo kolejnicovými spojkami. Kolejnicové spojky (styky) jsou z hlediska elektrického odporu značně neurčité, protože jejich hlavní účel je pevné mechanické spojení sousedících kolejnic. Uvnitř kolejových obvodů se proto styky obvykle přemostují vodivými stykovými propojkami. Na koncích klasického kolejového obvodu se běžné kolejnicové spojky nahrazují izolačními spojkami – izolovanými styky. Ty sice tvoří pevné mechanické spojení kolejnic kolejového obvodu s kolejnicemi sousedícími, ale elektricky je od nich izolují. Když kolejové vozidlo vjede do kolejového obvodu, spojí oba kolejnicové pásy svými elektricky vodivými dvojkolími. Elektrický odpor dvojkolí a zejména přechodové odpory mezi koly a kolejnicemi nemusí být zanedbatelné vzhledem k ostatním odporům v kolejovém obvodu a proto se nehovoří o zkratování kolejnicových pasů, ale o jejich šuntování. Výsledný elektrický odpor všech dvojkolí (včetně přechodových odporů kolo-kolejnice) vlaku v kolejovém obvodu se nazývá vlakový šunt. ([33], s.5)



Obr. 12 Paralelní kolejový obvod ([27], s.4)

Pro získání bezpečné informace o volnosti koleje je třeba, aby byl kolejový obvod konstruován tak, že ani při své poruše nebude obsazenou kolej hlásit jako volnou. Bude-li naopak při poruše volnou kolej hlásit jako obsazenou, může sice dojít k narušení provozu, ale nedojde k přímému ohrožení bezpečnosti, protože zabezpečovací zařízení cestu nepovolí. Rozborem poruch podle obvyklých zásad zabezpečovací techniky lze dovodit, že tomuto účelu v zásadě vyhovuje paralelní, dvoupásový (KO využívá k vedení signálního proudu oba kolejnicové pásy) kolejový obvod podle obr. 12. Kolejový obvod přitom poskytuje informaci o volnosti kontinuálně, bez potřeby paměťového prvku a bez ohledu na způsob, jímž k obsazení či uvolnění koleje došlo (včetně například nasazení či sejmutí vozidla v kterémkoli místě). ([33], s.5)

3.2.3 Detektory kol

Hlavním úkolem zařízení této kategorie je schopnost detekovat přítomnost, resp. nepřítomnost kola v určitém místě. To je založeno na principu snímání mechanických účinků nebo feromagnetických vlastností kola železničního dvojkolí. ([26], s.7)

Nejjednodušším typem tohoto zařízení je tzv. pedál, který je připevněn ke kolejnici, jehož vysunutá část je „sešlapávána“ nákolkem železničního dvojkolí. Změna polohy vysunuté části je využita k rozepínání a spínání kontaktů připojených elektrických obvodů. Přestože jde napohled o velmi primitivní zařízení, je v zabezpečovací technice některých železnic velmi využíván, zejména díky jeho schopnosti detekovat projíždějící nápravy i při rychlostech přesahujících 200 km/h. V České republice se však nepoužívá. ([26], s.8)

Dalším typem jsou detektory využívající elektromagnetických účinků kola na snímač umístěný na kolejnici. Jelikož neobsahují žádné pohyblivé mechanické prvky, lze je i přes jejich složitost považovat z hlediska zabezpečovací techniky za bezpečné. Způsobů, kterými je přítomnost železničního kola zjišťována je několik. Podstatou je vždy schopnost snímače reagovat na přítomnost magneticky, nebo elektricky vodivého materiálu kola v elektromagnetickém poli, které snímač produkuje. Změny, které jsou takto průjezdem kola

ve snímači vyvolány, jsou transformovány připojenými elektrickými obvody do podoby signálu vhodného k přenesení do místa, kde je vyhodnocení průjezdu vozidla vyžadováno. ([26], s.8)

3.2.4 Počítače náprav

Počítač náprav je zařízení, které využívá bodových prvků ke kontrole volnosti/obsazenosti uceleného úseku. Nejčastěji je užíváno detektorů kol umístěných na hranicích takového úseku. Ty zaznamenávají kola - nápravy, které do úseku vstupují nebo z úseku vystupují. Počet vstupujících náprav je v počítači náprav připočítáván, počet náprav z úseku vystupujících je odečítán. Pokud je počet náprav zaznamenaný v počítači náprav nulový, je úsek hlášen jako volný. Pro tuto funkci na nerozvětveném kolejovém úseku jsou potřeba alespoň dva páry detektorů kol, jeden na každém konci kolejového úseku. Pár a nikoliv jen jeden detektor zde musí být umístěn proto, aby počítač náprav mohl vyhodnotit směr pohybu vlaku, pohybujícího se na hranici úseku, a tak správným způsobem nápravy přičítat nebo odečítat. ([33], s.100)

Celý počítač náprav tedy tvoří soustava detektorů kol, vyhodnocovací jednotka a vedení k detektorům kol.

3.2.5 Současný stav

Ve zkratce lze prohlásit, že počítači náprav se osazují vedlejší staniční koleje a vedlejší tratě. Kolejovými obvody jsou zase osazovány hlavní tratě (koridory) a hlavní staniční koleje. Je to hlavně proto, že PN (v porovnání s KO):

- má jednodušší instalaci,
- je prakticky bez údržbových,
- jednotlivé KÚ s PN mohou být i delší než 10 km (u KO je tomu 1600 m),
- je odolný povětrnostním vlivům a znečištění kolejového lože,
- je plně kompatibilní s naprostou většinou drážních vozidel (lokomotiv),
- není ovlivňován OPNDN (ukolejňování, zemnění...),
- funguje při rezavých i silně znečištěných kolejnicích,

Instalace, provoz, údržba a vnější podmínky pro provoz kolejových obvodů jsou v porovnání s počítači náprav nesrovnatelně komplikovanější. Všechny tyto nevýhody však KO vynahrazují jednou významnou výhodou, které žádný typ zavedeného PN není schopen dostát. Paralelní kolejový obvod reaguje na lom kolejnice obsazením dotčeného KÚ. PN ke své funkci teoreticky kolejnice ani nepotřebuje, proto bývá instalován na málo frekventované a pomaleji pojížděné koleje. Sekundární výhodou KO oproti PN také je, že výstroj KO je možné použít ke kódovanému vysílání návěstní informace do koleje a prostřednictvím snímače na lokomotivě je přenášet až na stanoviště strojvedoucího.

3.3 Legislativa

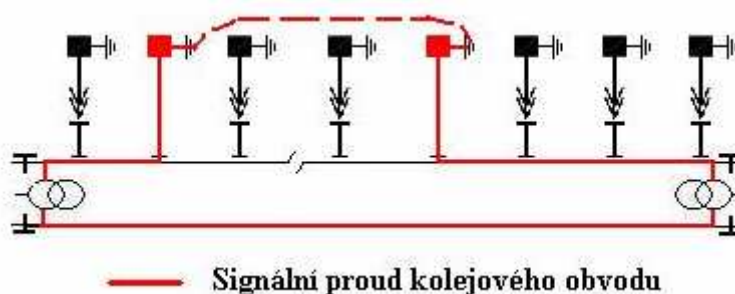
Nejdiskutovanější legislativní nesoulad způsobuje „Tabulka 4“ normy [6]. Při praktickém řešení otázek výskytu trakčního napětí na neživých kovových částí v POTV je počítáno s nejhorsším možným časem (dle [28]) reakce ochrany (záložní ochrany jsou nastaveny na čas 1,0 s) a následným vypnutím napájení troleje z trakční napájecí stanice. Pro tento čas je uvedeno maximální dovolené dotykové napětí (Příloha č. 6) 75 V. V konečném důsledku to znamená, že u každé trakční podpěry a každé vodivé konstrukce (až na zmíněné výjimky) situované v POTV, musí být provedeno takové opatření, které zabrání výskytu vyššího napětí, než uvedených 75 V. V úsecích bez KO se toto zajišťuje přímým připojením konstrukce ke zpětnému vedení, tedy vodivým spojením chráněného s kolejnici.



Každou konstrukci si lze představit jako ekvivalentní zemní odpor, který je ke kolejnici přičítán. V úsecích bez KO toto žádný problém nepředstavuje, ovšem v KÚ hlídanými KO se jedná o problém kardinální. Takovéto přímé připojení (přizemnění kolejového pasu) totiž může způsobit asymetrii KO, případně obchází cestu pro signální proud KO. To by mohlo způsobit „samovolné“ obsazení, nebo naopak uvolnění KO přímo pod vlakem. Tento problém bývá řešen přidáním VLD (průrazky) mezi chráněnou konstrukci a zpětné vedení.

Obr. 13 Připojení na patu kolejnice V síti SŽDC jsou zavedeny průrazky se zápalným napětím 250 V (nasazováno v místech přístupných veřejnosti, nebo u TP nesoucích trakční odpojovač) a 500 V (nasazováno na všem ostatním). V obzvlášť nebezpečném případě se

přistupuje k uzemnění konstrukce a současnému ukolejnění přes průrazku s opakovatelnou funkcí (UPO), viz. obr. 15.



Obr. 14 Příklad obchozí cesty signálnímu proudu KO

Na obr. 14 je znázorněna obchozí cesta signálnímu proudu kolejového obvodu při lomu kolejnice. Ten se uzavře přes uzemnění přímo ukolejňených konstrukcí, což v kritickém případě zabrání odpadu kotvy kolejového relé a následnému obsazení kolejového obvodu. Tento stav kolejového obvodu je považován za **nekorektní**.



Obr. 15 Ochrana uzemněním a nepřímým ukolejněním



Obr. 16 Ochrana ukolejněním přes UPO

Na obr. 16 je zobrazena nejpoužívanější varianta ochrany, tedy ukolejnění přes UPO 500 V. Takto je chráněna drtivá většina konstrukcí situovaných v POTV a úsecích s paralelními KO železniční sítě České republiky. **Je zřejmé, že tímto řešením není zajištěno maximální dotykové napětí 75 V, které nařizuje norma [6] (dokonce ani limit**

160 V, který norma nařizuje pro DC tratě. Analýza součinnosti na DC tratích však není předmětem této práce).

Je třeba poznamenat, že pravděpodobnost výskytu nebezpečného dotykového napětí v kombinaci s přímým dotykem člověka je relativně nízká, což potvrzuje i statistika provozovatele dráhy, která nezná případ zranění způsobené dotykovým napětím, při správném provedení uvedeného způsobu ochrany. To však nezlehčuje závažnost zavedených postupů nekorespondujících s legislativním nařízením.

V rizikových lokalitách, tedy v místech přístupných veřejnosti a u TP nesoucích trakční odpojovač, viz. [20], se provádí výpočet možnosti aplikování varianty přímého ukolejnění (nedílnou součástí KSUaTP). Výpočet vychází z informací uvedených v [9], kde článek 6.3.1, bb) praví: „Hodnota přidané měrné svodové admitance ukolejnění konstrukcí o kterou se zvyšuje měrná svodová admitance mezi kolejí a zemí, nepřekročí hodnotu 0,1 S/km v oblasti možné obchozí cesty KO“. Podrobný výpočet již byl zpracován v [5], takže zde není blíže popsán, prakticky to však znamená, že např. k 500 m dlouhému KÚ je možno jednopásově připojit konstrukce, jejichž sumární impedance nebude nižší, než 20 Ω . Nevyhoví-li zemní odpor konstrukcí tomuto požadavku, přistupuje se ve většině případů k ukolejnění přes UPO 250 V (opět v rozporu s normou [6]). S momentální přípravou reedice normy ČSN 34 2613, ed.2, kde článek 6.3.1 mizí a s ním i možnost jednoznačného rozhodnutí o přímém ukolejnění (za určitých okolností) u dvoupásových KO, viz. návrh [22], lze očekávat, že případů nekorespondujících se zněním normy [6] (jejíž reedice proběhla v lednu 2011 a další není v blízkém časovém horizontu plánována) bude přibývat.

V obzvlášť exponovaných situacích se přistupuje k vodivému propojení jednotlivých TP (případně jiných konstrukcí). Konstrukce z této skupiny, která se nachází nejbližší ke stykovému transformátoru (nejdále však 50 m), je přímo připojena na jeho střední vývod (který je obvykle definován za MNP dle [9]), čímž je zajištěna ochrana proti nedovolenému dotykovému napětí ve smyslu znění [6]. K tomuto zdánlivě ideálnímu řešení však bývá přistupováno pouze zřídka a to hned z několika důvodů:

- Výrazně vyšší realizační náklady v porovnání se zaběhnutým chráněním přes UPO;
- Časté odcizování propojovacích vodičů;
- Vyšší provozní náklady (nutnost provádění pravidelných zkratových zkoušek);
- Většinou nutné definovat přípojně místo za MNP;

Popisu posledního faktoru je z důvodu obsáhlosti věnována samostatná kapitola.

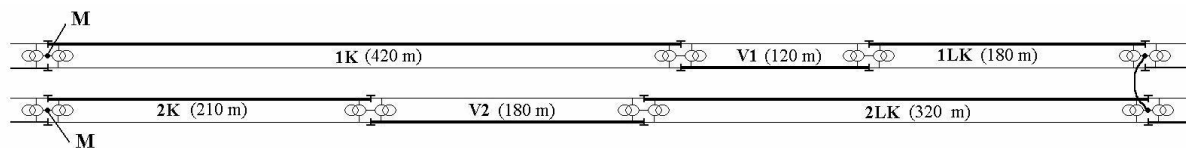
3.4 Místo neomezeného připojení

Norma ČSN 34 2613 ed. 2 definuje místo neomezeného připojení následovně: „Místo dovoleného připojení neomezené zemní svodové admitance, tj. místo v kolejnicovém vedení, ve kterém je přípustné i bez použití omezovacího prvku signálního proudu kolejových obvodů připojit na střední vývod hlavního vinutí trakčního stykového transformátoru nebo topného stykového transformátoru dvoupásových kolejových obvodů libovolně nízký zemní odpor nebo kolejové obvody tímto způsobem vzájemně propojovat danou vodivou cestou s další vodivou cestou (souběžnou kolejí); minimální vzdálenost mezi dvěma místy neomezeného připojení stanoví ČSN 34 2614 ed. 2“.

Jak je uvedeno v definici, norma [10] stanovuje pouze vzdálenost těchto dvou míst. Z toho vyplývají následující nejasnosti:

- a) V žádném předpisu ani normě není uvedeno, jestli udávaná vzdálenost je uvažována po trase kolejové nebo zemní. Vzdálenost dvou míst neomezeného připojení je definována z důvodu eliminace rizika vzniku obchozí cesty signálnímu proudu KO zemí. Navzdory tomu je však projektanty (na základě neoficiálního výkladu zpracovatele normy) počítána trasa kolejová. V případě větších stanic, nebo seřadovacích nádražích se tedy může stát (a také se stává), že tato dvě místa jsou od sebe po kolejové trase dostatečně vzdálená (i několik km), vzdušnou čarou se však jedná o vzdálenost třeba jen několik desítek metrů.
- b) Z definice MNP vyplývá, že do takto označeného místa je přípustné připojit libovolně nízký zemní odpor. V žádné normě však není uvedeno, jaká je mezní hodnota tohoto odporu, resp. jak nízký odpor může být, aby se ještě nejednalo o místo neomezeného připojení a nebylo tak třeba uvažovat dle [10], čl. 6.5.

3.4.1 Modelový příklad



Obr. 17 Příklad míst neomezeného připojení

Jako názorný příklad definice místa neomezeného připojení dostatečně poslouží obr. 17. Jsou zde znázorněny dvě souběžné koleje rozdělené jednotlivými KÚ s vyznačeným fázováním KO (silná a slabá čára). Každý KÚ obsahuje název a svojí délku. Na konci pravé části obrázku je vyznačeno mezikolejové lanové propojení, které se v praxi instaluje z důvodu vyrovnání trakčních proudů mezi sudou a lichou sekcí kolejiště. Písmenem „M“ jsou vyznačena dvě potenciální místa neomezeného připojení (v 1. a 2. koleji). Norma [10] vzdálenost dvou MNP definuje následovně:

$$L_{pr} = 21 \cdot f^{-1/2}, \text{ kde } L_{pr} \text{ je vzdálenost v km; } f \text{ je signální kmitočet KO v Hz.}$$

Pro signální kmitočet 275 Hz (kmitočet KO ve stanici) vychází $L_{pr} = 1,266$ km.

Součet dílčích KÚ na obrázku je roven **1430 m**.

Zároveň však vzdálenost mezi MNP musí být minimálně tři EKÚ a současně musí být delší než trojnásobek nejdelšího z EKÚ. Nejdelší EKÚ je KO 1K, který je dlouhý 420 m.

$$420 \cdot 3 = 1260 \text{ m.}$$

Místa vyznačená „M“ na obr. 17 je na základě uvedeného možné definovat jako místa neomezeného připojení. Na střední vývody stykových transformátorů je tedy možné, za plného souladu s normou, připojit libovolně nízký zemní odpor. Jinými slovy, vyznačené střední vývody stykových transformátorů je možné uzemnit, ačkoliv jsou od sebe fyzicky vzdáleny pouze několik metrů.

Jak nízká může být dále impedance, resp. velká admitance, kterou je možné připojit na střední vývody propojených ST, např. mezi 1K a V1 **není nikde uvedeno**. Návrh [22] pouze

deklaruje, že připojením nebudou překročeny mezní hodnoty měrné svodové admitance mezi kolejnicovými pásy, tedy $0,33 \text{ S.km}^{-1}$ u nového nebo obnoveného železničního svršku a $0,67 \text{ S.km}^{-1}$ u svršku dráhy celostátní, regionální, nebo vlečky. Přesnou mezní hodnotu MNP zpracovatel normy, navzdory přímé výzvě, odmítá definovat.

3.4.2 Svodiče přepětí

Trakční vedení působí jako ochranná jímací síť, neboť údery blesku jsou obvykle zachyceny exponovanými částmi TV. Na venkovních částech zabezpečovacího zařízení, jako jsou návěstidla, čidla počítačů náprav a pohony výměn, se přímé údery objevují jen zcela výjimečně. Sekundární nebezpečí však vzniká při úderu blesku do trakční soustavy přenosem proudového impulsu do stavědlové ústředny po kolejích, protože jak trakční podpěry, tak růžkové bleskojistky umístěné obvykle na staničních zhlavích jsou ukolejňovány. Dle vyjádření DÚ [31] se bleskojistky ukolejní přes UPO a zároveň uzemní na hodnotu nižší než 15Ω , čímž je zajištěno svedení podstatné části bleskového proudu do země. Existují však lokality (např. oblasti v okolí Stříbra, Pavlovic aj. části nejenom III. tranzitního koridoru), kde z důvodu skalnatých a kamenitých povrchů není možné provést odpovídající uzemnění. Bleskojistky v dotčených KÚ jsou pouze připojeny ke kolejnicovému pásu, a to na přímo. Ačkoliv se jedná o bouřkově relativně průměrné lokality, dle [5], nejsou v souvislosti s bouřkami zaznamenávány poruchy na zabezpečovacím zařízení, spíše naopak. Přesto však OAE ustoupil výrobcí symetrikačních tlumivek SYT, který požadoval, (z důvodu garance spolehlivosti kolejových obvodů) každý svodič přepětí připojit na střed ST (což většinou z důvodu vzdálenosti není přijatelné), případně právě na SYT (mnohonásobně finančně náročnější varianta v porovnání s ukolejněním na kolejový pás přes UPO).

3.4.3 Elektrický ohřev výměn

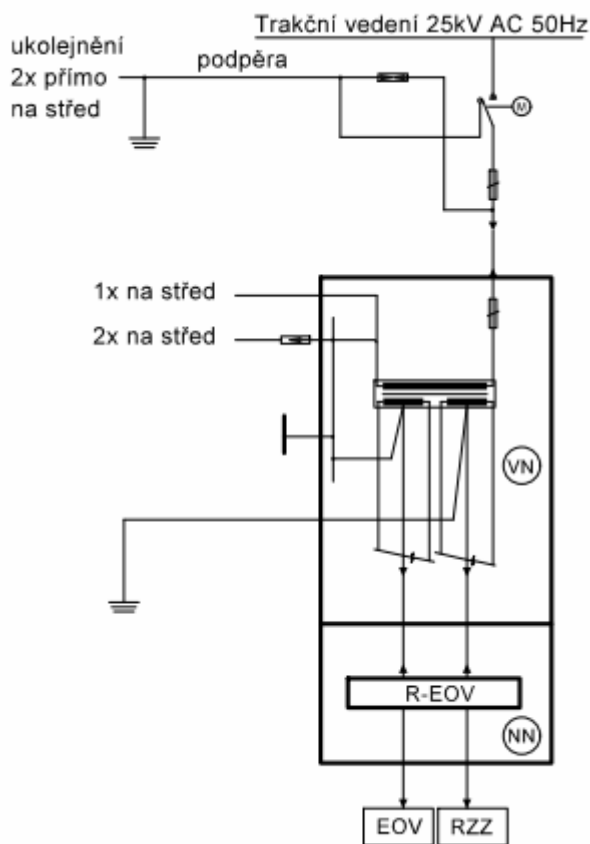
Ještě před několika lety byla různá drážní zařízení (EOV, RZZ, SZZ...) primárně napájena z centralizovaného napájecího rozvodu 6 kV (někde ještě stále je). S postupující optimalizací jednotlivých (zejména koridorových) tratí, dochází k nahrazování tohoto konceptu napájení přímou transformací napětí trakčního, ze kterého je následně napájeno

EOV, případně zabezpečovací zařízení apod. Pohled do útrobu domku napájení pro EOV je zachycen na obr. 18.



Obr. 18 Uspořádání domku EOV v žst. Planá u Mariánských Lázní

Jeden pól primárního vinutí transformátoru je připojen přes pojistku na trakční vedení AC 25 kV, druhý pól na zpětné, tedy kolejové, vedení a z bezpečnostních důvodů zároveň uzemněn přes UPO 250 V (v levé horní části obrázku je patrná opakovatelná průrazka, která odděluje zpětný pól a tím tedy kolejové vedení od zemniče). Schválení, provoz a údržba tohoto zařízení spadá do kompetencí SEE. Z těchto důvodů není ke schvalovacím řízením povoláván zástupce DLZT ani SSZT. Během analýzy rizik vzniku obchodních cest signálním proudům KO prováděnou DLZT Plzeň ve spolupráci se SSZT v letech 2010-2012 bylo zjištěno, že většina již provozovaných transformátorů EOV má provedeno ochranné uzemnění napřímo, tedy bez průrazky, čímž fakticky dochází k uzemnění přípojných středů stykových transformátorů a vytváření nepřípustných MNP. Na základě této zkušenosti je přítomnost a správné zapojení UPO před každou aktivací zařízení kontrolováno DLZT a schéma zapojení je nově součástí KSUaTP. Příklad - viz. obr. 19.



Obr. 19 Schéma zapojení EOv v KSUaTP [30]

4 Závěrečné shrnutí a vyhodnocení

4.1 Shrnutí druhé části

Obecně platí, že čím jsou ostatní vedení blíže k trakčním vedením, tím jsou vedení více ovlivňována indukovaným (dříve podélným elektromotorickým) napětím. Překračuje-li hodnota indukovaného napětí povolenou mez, je nutné provést ochranná opatření. Ochranná opatření (pokud již nelze ovlivnit vzájemné geometrické uspořádání vedení) spočívají obecně

- 1.) V omezení působení indukčních vlivů
 - stíněním,
 - snížením redukčních činitelů

2.) V omezení následků již naindukovaných napětí (například svodiči přepětí).

Pro dosažení stanoveného redukčního činitele musí být hodnoty uzemnění stínění (pláště z Al vodičů) do 5Ω a tato hodnota musí být měřitelná (přístupné uzemnění). Vyšší hodnoty uzemnění již nezaručují stanovené redukční činitele kabelů a tím ani velikosti vypočtených indukovaných napětí v těchto kabelech. Pro zvýšení redukčních účinků lze v některých případech použít i náhodných volných vodičů (nezapojených žil kabelu), které se pospojí a uzemní. V úvahu připadají pouze vodiče v nejtěsnější blízkosti ohrožených kabelů. I tak je účinek nutno stanovit na konkrétní případy a ani potom výsledky výpočtů nemusí být 100%.

Z výše uvedeného vyplývá, že maximální ovlivnění je u nechráněných vedení (kabelů) mezi které je nutno počítat i stíněná vedení, která nemají dostatečně uzemněný plášť, nebo není zajištěna kontinuita jeho propojení. Pro tyto případy, kdy dojde k překročení mezí, zbývá již jen ochrana svodiči přepětí, případně translátory. Použitím svodičů přepětí v odůvodněných případech bude zajištěna ochrana obsluhy a zařízení nejen z hlediska vlivů trakce, ale i z hlediska přepětí vzniklých od atmosférických působení.

Hlavní přínos druhé části této práce spočívá v tom, že ji lze použít jako návod (případně přímo pomocí přiloženého programu) pro výpočet ohrožujících (případně rušivých) vlivů trakčního vedení AC 25 kV / 50 Hz na zabezpečovací (případně sdělovací) vedení. Jedná se o problematiku, která byla (a bohužel stále je) v posledních letech velmi opomíjena a projekční střediska různých firem mají s jejím řešením nemalé potíže. Tomuto přispívá také fakt, že zmíněný výpočet není provozovatelem dráhy striktně požadován jako součást projektové dokumentace.

4.1.1 Praktický příklad

Pro praktickou ukázkou použiji příklad žst. Přeštice, kde výpočet slouží jako podklad pro realizaci dražší investiční varianty. Uvažujeme zde indukční vliv trakce do kabelů zabezpečovacího zařízení, které vedou z reléové místnosti ve výpravní budově k vjezdovým návěstidlům stanice. Výstupem výpočtů jsou maximální přípustné délky nestíněného/stíněného kabelu při mimořádném/zkratovém stavu za použití lokálních,

změřených parametrů, pro přímé vzdálenosti kabelu od trakčního vodiče 1.) 6,5 m, 2.) 8 m, 3.) 12 m, 4.) 50 m. Hodnoty trakčních proudů při mimořádném stavu byly získány od SEE Plzeň a hodnoty zkratových proudů byly odečteny z grafu v příloze č. 1. Hodnota měrného odporu půdy v žst. Přeštice činila v době měření 174,3 Ωm . Celkový redukční činitel byl určen součinem redukčního činitele kolejí dle přílohy č. 2 a redukčního činitele kabelu dle katalogového listu. Mezní hodnoty, normou povolených, indukovaných napětí (60 V pro mimořádný stav a 210 V pro zkratový stav) byly odečteny z tabulky v příloze č. 3 a 4.

Vzdálenost od výpravní budovy k návěstidlu na lichém zhlaví: **822 m**.

Vzdálenost od výpravní budovy k návěstidlu na sudém zhlaví: **461 m**.

Nestíněný kabel

Mimořádný stav

č.	a [m]	I_{ek}	σ [Ωm]	r [-]	f [Hz]	U_m	I_{ek} [km]
1	6.5	730	174.3	0,76	50	59,2	0,32
2	8	730	174.3	0,76	50	58,7	0,33
3	12	730	174.3	0,76	50	59,0	0,36
4	50	730	174.3	0,76	50	59,7	0,52

Tab. 3 Hodnoty pro mimořádný stav nestíněného kabelu

Zkratový stav

č.	a [m]	I_z	σ [Ωm]	r [-]	f [Hz]	U_z	I_{ek} [km]
1	6.5	1381	174.3	0,57	50	209,9	0,80
2	8	1381	174.3	0,57	50	209,9	0,83
3	12	1381	174.3	0,57	50	209,1	0,90
4	50	1381	174.3	0,57	50	208,7	1,28

Tab. 4 Hodnoty pro zkratový stav nestíněného kabelu

Stíněný kabel

Mimořádný stav

č.	a [m]	I_{ek}	σ [Ωm]	r [-]	f [Hz]	U_m	I_{ek} [km]
1	6.5	730	174.3	0,2	50	59,9	1,23
2	8	730	174.3	0,2	50	59,4	1,27
3	12	730	174.3	0,2	50	59,9	1,39
4	50	730	174.3	0,2	50	59,9	1,98

Tab. 5 Hodnoty pro mimořádný stav stíněného kabelu

Zkratový stav

č.	a [m]	I_z	σ [Ω m]	r [-]	f [Hz]	U_z	I_{ek} [km]
1	6.5	1381	174.3	0,15	50	209,9	3,04
2	8	1381	174.3	0,15	50	209,7	3,16
3	12	1381	174.3	0,15	50	209,8	3,43
4	50	1381	174.3	0,15	50	209,8	4,89

Tab. 6 Hodnoty pro zkratový stav stíněného kabelu

RESUMÉ:

č.	nestíněný kabel			
	mimořádný		zkratový	
	liché zhl.	sudé zhl.	liché zhl.	sudé zhl.
1	x	x	x	v
2	x	x	v	v
3	x	x	v	v
4	x	v	v	v
stíněný kabel				
1	v	v	v	v
2	v	v	v	v
3	v	v	v	v
4	v	v	v	v

Tab. 7 shrnutí výpočtů pro žst. Přeštice

Z tabulky 7 vyplývá, že jediným přípustným případem z nabízených variant, kdy lze použít levnější, nestíněný kabel, je ve vzdálenosti 50 m od trolejového vodiče směrem na sudé zhlaví stanice. V ostatních případech varianta nestíněného kabelu nevyhoví pro mimořádný stav.

4.2 Shrnutí třetí části

Hlavní přínos třetí části této práce spočívá v tom, že zobrazuje aktuální stav řešení souběžného provozu zabezpečovacího zařízení společně se zařízením trakčním. Tento stav je v práci konfrontován s aktuální legislativou, která je s ohledem na vývoj a vzrůstající požadavky na interoperabilitu neustále aktualizována.

Ještě v dnešní době jsou některá mezinárodní vlaková spojení komplikována nekompatibilitou jednotlivých lokomotiv s jednotlivými národními zabezpečovacími systémy. V posledních letech je v rámci politiky ERTMS, viz. [37], aktivně usilováno o vytvoření jednotného evropského vlakového zabezpečovacího systému. To s sebou, zcela přirozeně, nese i řadu legislativních úprav, které přímo souvisí se smyslem pohledu na vztah zabezpečovacího a trakčního zařízení.

Následuje bodové shrnutí zmíněných kontroverzních případů a k nim stručné vyjádření:

- **Tendence nahrazování kolejových obvodů počítači náprav**

Použití počítačů náprav je z mnoha důvodů (vyjmenováno v odst. 3.2.5) výhodnější a čím dál tím více používanější. Je ovšem třeba mít neustále na paměti, že PN nedokáže detekovat lom (případně odcizení) kolejnice, což může mít fatální následky. Proto je nezbytné na frekventované a rychle pojížděné koleje instalovat interoperabilně vyhovující KO.

- **Dovolené dotykové napětí**

Současné řešení OPNDN na kolejích s dvoupásovými kolejovými obvody nevyhovuje základní evropské normě [6]. To je akceptováno neoficiální dohodou projektantů se zástupci provozovatele dráhy, že tabulka (Příloha č. 6) dotykových napětí zmíněné normy se týká pouze případů přímého styku živé části trakčního vedení s neživou, a netýká se napětí indukovaných.

- **Místo neomezeného připojení**

Ani po opakovaných požadavcích na tvůrce norem, provozovatele dráhy aj. kompetentní osoby, není stále žádnou vyhláškou, normou, směrnicí ani nařízením deklarováno, od jak nízké hodnoty zemního odporu se jedná o místo neomezeného připojení. Na základě empirických zjištění, bývá při posuzování plzeňským regionálním pracovištěm DLZT, počítáno s hodnotou blízkou 3Ω . Zároveň není nikde uvedeno, zda-li je přípustná vzdálenost dvou MNP (dle [10]) počítána po trase zemní, nebo kolejové. Z praktických důvodů je neoficiálně dohodnuta trasa kolejová.



Obr. 20 Uzemnění zpětných vodičů přes UPO

Na obr. 20 je zachyceno připojení zpětných kabelů ze středních vývodů stykových transformátorů umístěných v žst. Zdice mezi 7. kolejí a výhybkou 14-15, na společnou lištu, která je z bezpečnostních důvodů uzemněna přes průrazku s opakovatelnou funkcí, v tomto případě neobvykle, se zápalným napětím 500 V. Přímé připojení bez průrazky by vyžadovalo přistupovat ke zmíněným ST jako k MNP, což s ohledem na blízkost trakční napájecí stanice (vzdálena cca 700 m) není možné.

- **Způsob ukolejnění trakčních podpěr nesoucí trakční odpojovač**

Na základě znění dnes již neplatných norem, jsou stále trakční podpěry nesoucí trakční odpojovač považovány z pohledu výskytu nedovoleného dotykového napětí, v porovnání s běžnými trakčními podpěrami, za více rizikové. Rozdíl v pohledu na tuto problematiku mezi SEE a DLZT (eventuelně SSZT) a nejednoznačné dikce norem, vyřešilo v roce 2010 příslušné nařízení [20] OAE. Na jeho základě je pro každou TP (je-li od ST dále než 50 m, jinak je automaticky připojena na střední vývod ST, není-li její zemní odpor nižší, než 3Ω) proveden výpočet (proveden v [5]), podle kterého se rozhodne, je-li možné z hlediska provozu kolejových obvodů provést přímé ukolejnění (v kolejích s dvoupásovými kolejovými obvody, jinak je přímé ukolejnění automatické). V opačném případě je TP ukolejněna nepřímo přes UPO 250 V. Tento postup je uplatňován i u TP situovaných v místech přístupných veřejnosti.

- **Připojování zpětných vodičů EO V**

Dle čl. 6.3.1 odst. ea) normy [9], nesmí být ke kolejnicovému vedení připojena konstrukce, která by způsobovala asymetrii zpětných trakčních proudů větší, než 15 A. Z tohoto důvodu není ve většině případů možné zpětné vedení EO V připojit ke kolejnicovému pasu, ale pouze na střední vývod ST, případně symetrizační tlumivky.

Z bezpečnostních důvodů je toto připojení ještě připojeno na přirozený nebo strojený zemnič a to buď na přímo (v případě možnosti vytvoření MNP), nebo přes UPO 250 V.

- **Připojování trakčních svodičů přepětí (bleskojistek)**

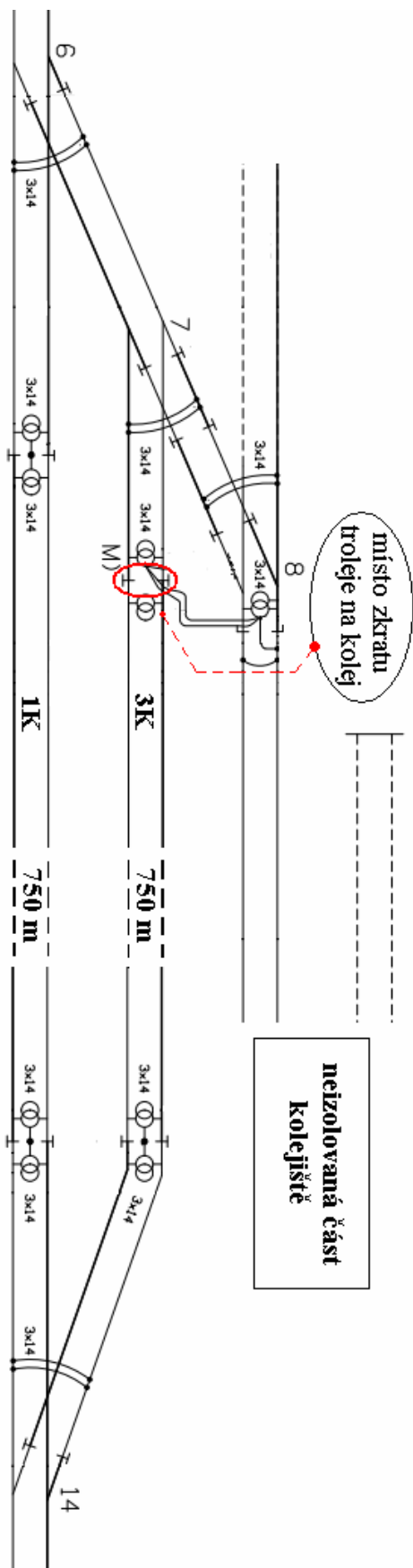
Bleskojistky se na základě vyjádření DÚ [31] připojí na přirozený nebo strojený zemnič a současně přes průrazku s opakovatelnou funkcí na kolejový pás, případně střední vývod ST, nově na střední vývod symetrizační tlumivky. V některých lokalitách se přistoupilo k přímému připojení bleskojistek na kolejový pás (bez příslušného uzemnění). Ačkoliv se dle současně platné legislativy jedná o nepovolené řešení, tak se na základě provozních záznamů SSZT Plzeň nejedná o přímý zdroj poruch.

4.2.1 Praktické dopady

Jako demonstrativní příklad nevhodného návržení izolace kolejiště ve smyslu míst neomezeného připojení, uvedu žst. Kařízek, kde během zkratových zkoušek (těsně před izol. stykem) došlo k elektrickému přeskoku (viz. obr. 21) přes izolovaný styk v místě označeném M (červený kroužek, viz. obr. 22).



Obr. 21 Poškození izolovaného styku elektrickým obloukem v žst. Kařízek



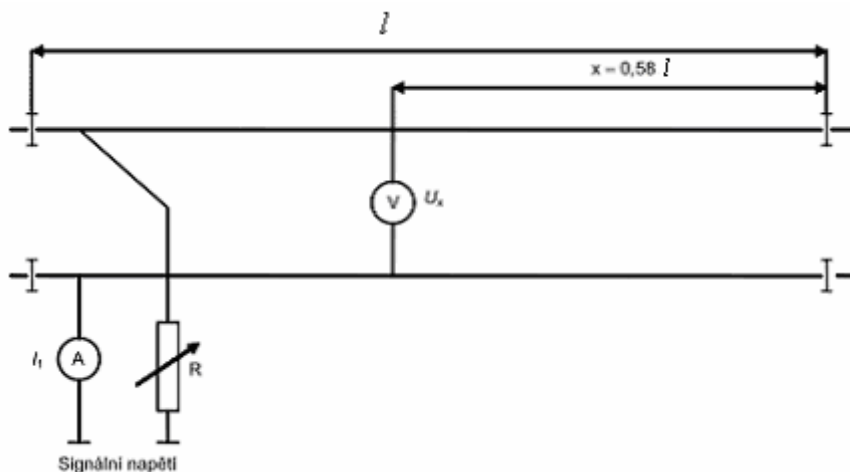
Obr. 22 Výřez z KSUaTP žst. Kařízek

Rozizolování kolejiště dle obr. 22 je v kontextu s KSUaTP stanice Kařízek [30], v době psaní této práce, v souladu s platnou legislativou, kdy je zamezeno obchodním cestám signálních proudů KO a zároveň je zajištěna zpětná cesta trakčních proudů po metalickém vedení zpět do trakční transformovny, ze které byl daný úsek napájen (ze žst. Zdice). Předpokládaná cesta zkratového proudu byla přes úseky 3K, výhybku 14, 1K, výhybku 6 dál směrem do Zdic, případně částečně přes výhybku 7 do místa označeného „M“ (místo neomezeného připojení) a do země. Přeskok přes izolovaný styk byl neočekávanou událostí.

V místě „M“ (propojení s neizolovanou částí kolejiště) byla naměřena hodnota zemního odporu $< 1 \Omega$. Hodnota měrné svodové admitance železničního svršku změřená a vypočítaná dle obr. 23 činí pro 3K a 1K $0,0112 \text{ S.km}^{-1}$ resp. $91,74 \Omega.\text{km}$ a $0,0102 \text{ S.km}^{-1}$ resp. $98,04 \Omega.\text{km}$ (Tab. 7). Před obnovou železničního svršku, která proběhla po roce 2010 činily hodnoty měrné svodové admitance 3K a 1K shodně $0,5 \text{ S.km}^{-1}$ resp. $2 \Omega.\text{km}$.

Výrazně snížená hodnota měrné svodové admitance železničního svršku způsobená jeho obnovou, způsobila během zkratových zkoušek rozdíl napěťových potenciálů na izolovaném styku takových intenzit, že došlo k elektrickému přeskoku.

Tento problém byl vyřešen přemístěním středové propojky stykových transformátorů z druhého konce KO 3K, kde díky absenci MNP nebude izolovaný styk vystaven tak intenzivnímu elektrickému namáhání, jako na rozhraní 3K a V7.



Obr. 23 Zapojení pro měření svodové admitance ohraničených KO [9]

kde:

y - absolutní hodnota měrné svodové admitance žel. svršku v S/km

 I_1 - napájecí proud při volném úseku v A U_x - napětí v místě „x“ ve V

L - délka měřeného úseku v km

R - regulační rezistor

A - ampérmetr

V - voltmetr

l - délka KO

$$y = I_1 \cdot (U_x \cdot l)^{-1} \text{ [9]}$$

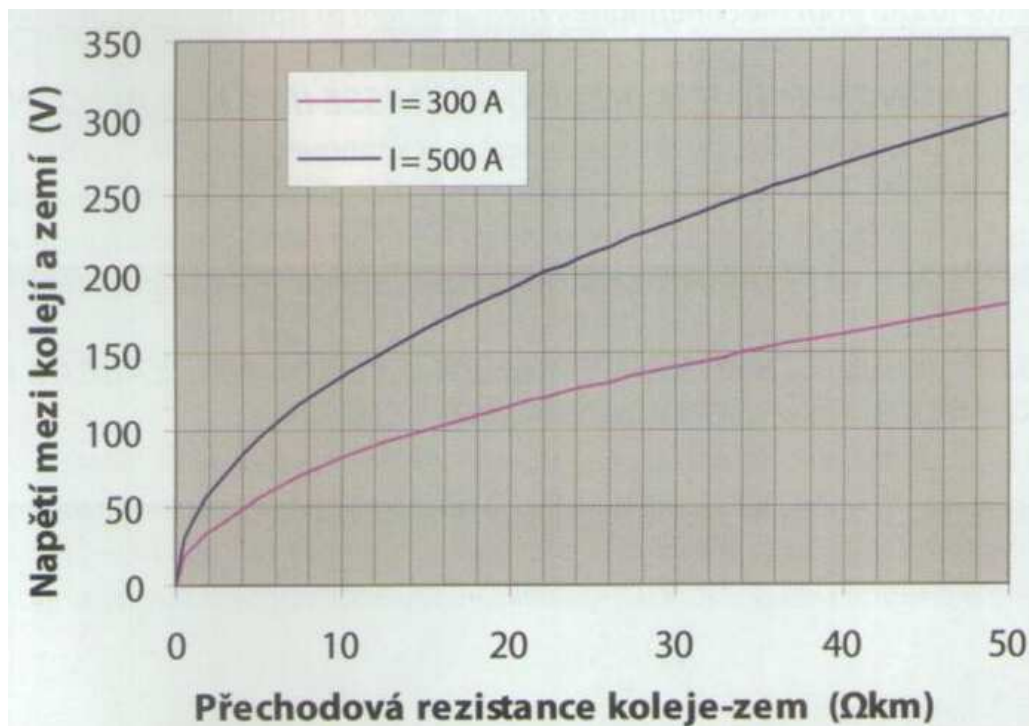
KO	změřené hodnoty			vypočítané
	l [km]	I_1 [A]	U_x [V]	y [S/km]
3K	0,847	0,0131	1,42	0,0109
1K	0,883	0,0148	1,64	0,0102

Tab. 7 Výpočet měrné svodové admitance v žst. Kařízek

Během provozu kolejových obvodů na neobnovovaných železničních svrščích se vyskytují poruchy způsobené příliš vysokou svodovou admitancí železničního svršku ($y > 0,67 \text{ S} \cdot \text{km}^{-1}$), kdy v důsledku vysokého svodu kolejiště dochází k poklesům napětí na cívkách vyhodnocovacích relé kolejových obvodů. Ty na základě toho „propadávají“ a způsobují v zabezpečovací technice neopodstatněné obsazování kolejových úseků. Na druhou

stranu je však zvýšený svod kolejiště výhodný z hlediska provozu trakčního zařízení, neboť dochází k únikům trakčního proudu do země, čímž se sníží elektrické namáhání izolovaných styků, veškerých metalických cest, které tvoří zpětné trakční vedení a zejména nedochází k výskytům nebezpečných dotykových napětí.

Provoz kolejových obvodů na obnovených železničních svrščích, kdy hodnoty měrné svodové admitance železničního svršku jsou i o několik řádů nižší, než u svršků neobnovovaných, sice není primárně poruchový (ba naopak), je však omezen únik trakčního proudu do země. Zpětnou cestu proudu do trakční transformovny tak tvoří „pouze“ kolej a metalická vedení, čímž dochází k jejich většímu elektrickému namáhání a větším úbytkům napětí (a s nimi spojený výskyt nebezpečných dotykových napětí). Průjezdem vlaku tak dochází k výskytu přechodových napětí kolej-zem v řádu i několika stovek voltů viz. obr. 24.



Obr. 24 Závislost napětí mezi kolejí a zemí na přechodové rezistanci [17, s.15]

Tato závislost byla vypočítána pro místo přímo pod koly lokomotivy ze známé rovnice

$$U_{kz} = \frac{I(1-\mu)Z_v}{2} e^{-\gamma x} \quad \text{kde:}$$

U_{kz} - napětí mezi kolejí a zemí [V];

x - vzdálenost od lokomotivy [km];

I - proud odebíraný lokomotivou [A];

Z_v - vlnová impedance koleje [Ω];

$$Z_v = \sqrt{Z_k \cdot r_p}$$

Z_k - impedance koleje [Ω/km];

r_p - rezistance přechodu kolej-zem [$\Omega \cdot \text{km}$];

γ - činitel šíření [km^{-1}];

$$\gamma = \sqrt{\frac{Z_k}{r_p}}$$

μ - podíl proudu indukovaného v koleji;

$$\mu = \frac{Z_{tk}}{Z_k}$$

Z_{tk} - reaktance vzájemné indukčnosti mezi trakčním vedením a kolejí [Ω/km];

Pro výpočet byly použity typizované hodnoty $Z_k = 0,43 \Omega / \text{km}$; $Z_{tk} = 0,32 \Omega / \text{km}$. [17, s.15]

4.3 Blízká budoucnost

V nejbližší budoucnosti dojde k vydání již třetí edice normy [9]. Jestliže její znění bude dle [22] (jako že tomu v době psaní této práce vše nasvědčovalo), bude před odsouhlasením každého přímého připojení jakékoli konstrukce nezbytné, provést kontrolní měření měrné svodové admitance mezi kolejovými pásy, aby se prokázalo, že přímým připojením nedojde ke vzrůstu této admitance nad povolenou mez. Tento postup považují, s ohledem na provozní zkušenosti, za zbytečnou a nákladnou komplikaci. Tato konkrétní změna zmíněné normy je popsána v kapitole 3.3 této práce. Zároveň by mělo dojít k dokončení ukolejňovací tlumivky (nadstavba pro symetrizační tlumivku SYT), která by měla svojí funkcí umožnit přímé připojení jakékoli konstrukce o jakkoli nízkém zemním odporu při zachování bezpečnostních parametrů přímého ukolejnění a zároveň představovala takové impedanční oddělení, aby se nejednalo o místo neomezeného připojení. Tato tlumivka je však ve vývoji fy AŽD Praha, s.r.o. již mnoho let, přičemž každý rok je jejími vývojáři na odborných konferencích prezentován počátek jejího ověřovacího provozu v horizontu několika měsíců. V tomto případě je tedy pojem „blízká budoucnost“ potřeba považovat za

velmi relativní. Dále je vyvíjena snaha do příslušné legislativy zakotvit zhotoviteli železničního svršku povinnost, aby součástí předávací dokumentace o díle nebyl pouze protokol o změřené vyhovující svodové admitance mezi kolejovými pasy, ale také o změření přechodové rezistance kolej-zem, které se v současnosti provádí pouze k experimentálním účelům.

K dalším legislativním změnám bude také docházet v souvislosti s rozšířením systému ETCS na tratích ČR, resp. vyšší integrací politiky ERTMS. Zevrubný rozbor této problematiky však není předmětem této práce a pro obecnější seznámí doporučuji [37].

ZÁVĚR

Tato diplomová práce si klade za cíl, co možná neobjektivněji, popsat aspekty simultánní činnosti zabezpečovacího a trakčního zařízení, jejich stinné stránky a komplikace, které koexistenci těchto dvou, stěžejních, drážních systémů provázejí. Vzájemná elektromagnetická kompatibilita je rozdělena na dvě části, kdy první se zabývá přímým vlivem trakce na zabezpečovací, eventuelně sdělovací, vedení, potažmo zařízení (indukce napětí do souběžných zabezpečovacích vedení – součástí práce je výpočtový program) a druhá hledá optimální konsensus pro zajištění spolehlivosti výstupů zabezpečovacích systémů a současně bezpečného provozu trakce. Veškeré uvedené provozní a legislativní informace vychází z mojí profese (specialista zabezpečovací techniky SŽDC) a během psaní práce byly konfrontovány s aktuálně platnými normami, vyhláškami a nařízeními. Doufám, že díky kýžené objektivitě a komplexnímu pohledu na rozebíranou problematiku, se tato práce stává nejen zevrubným reportem současného stavu, ale také, že dokáže posloužit jako případný klíč k řešení zdánlivě komplikovaných a nejasných provozních situací.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] VIKTORIN, Jan. *Vlivy elektrických trakčních systémů na sdělovací a zabezpečovací zařízení*. I. Praha: NADAS, 1971.
- [2] FARAN, Antonín. AŽD PRAHA, s.r.o. *Paralelní kolejové obvody železnic České republiky a Slovenské republiky a jejich proudová kompatibilita*. I. Praha: Comunica, a.s., 2008.
- [3] VERZICH, Vladimír. ČD, a.s., Technická ústředna Českých drah. *Napájecí systémy železničních zabezpečovacích zařízení*. I. Praha: Ing. Václav Svoboda, 2005. ISBN 80 – 85104 – 86 – 5
- [4] VERZICH, Vladimír. AŽD PRAHA, s.r.o. *Ochrana železničních elektronických stavědel a přejezdových zařízení před účinky blesku*. I. Praha: Comunica, a.s., 2007.
- [5] SUCHÁNEK, Petr. *Ochrana zabezpečovacího zařízení před přepětovými vlivy*. Plzeň, 2011. Bakalářská práce. ZČU Plzeň, FEL. Vedoucí práce doc. Ing. Ivan Konečný, CSc.
- [6] ČSN EN 50122-1 ed. 2. *Drážní zařízení - Pevná trakční zařízení - Elektrická bezpečnost, uzemňování a zpětný obvod: Část 1: Ochranná opatření proti úrazu elektrickým proudem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [7] ČSN 34 1500 ed. 2. *Drážní zařízení - Pevná trakční zařízení - Předpisy pro elektrická trakční zařízení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [8] ČSN 34 1500 ed. 2 ZMĚNA Z1. *Drážní zařízení - Pevná trakční zařízení - Předpisy pro elektrická trakční zařízení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [9] ČSN 34 2613 ed. 2. *Železniční zabezpečovací zařízení - Kolejové obvody a vnější podmínky pro jejich činnost*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [10] ČSN 34 2614 ed. 2. *Železniční zabezpečovací zařízení - Předpisy pro projektování, provozování a používání kolejových obvodů*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [11] ČSN 34 2614 ed. 2 ZMĚNA Z1. *Železniční zabezpečovací zařízení - Předpisy pro projektování, provozování a používání kolejových obvodů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [12] ČSN 33 4010. *Ochrana sdělovacích vedení a zařízení proti přepětí a nadproudu atmosférického původu*. Praha: Vydavatelství norem, 1990.

- [13] ČSN 33 2160. *Předpisy pro ochranu sdělovacích vedení a zařízení před nebezpečnými vlivy trojfázových vedení VN, VVN a ZVN*. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1993.
- [14] ČSN 34 2040. *Předpisy pro ochranu sdělovacích a zabezpečovacích vedení a zařízení před nebezpečnými a rušivými vlivy elektrické trakce 25 kV, 50 Hz*. Praha: Centrum služeb pro normalizaci, 1992.
- [15] SUCHÁNEK, Petr. *Zásady ochrany sdělovacích a zabezpečovacích vedení před ohrožujícími a rušivými vlivy elektrické trakce AC 25 kV / 50 Hz*. Plzeň, 2012. Semestrální projekt. ZČU Plzeň, FEL. Vedoucí práce doc. Ing. Ivan Konečný, CSc.
- [16] ACRI. *Záznam semináře: Zásady revize ČSN 34 2613 ed. 2*. Praha, 2011.
- [17] NŽT: *Nové železniční trendy, doprava, telematika*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství MiS, 2012, roč. 20, č. 3. ISSN 1210 - 3942.
- [18] TESAŘ, Rudolf, Ivo DOLEŽEL a Bohuš ULRYCH. MERTEX PLZEŇ. *Studie: nebezpečných galvanických a elektromagnetických vlivů venkovních vedení VVN při zkratových stavech na podzemní sdělovací kabely v blízkosti stožárů VVN*. Plzeň, 1998.
- [19] VACULÍK, Pavel. *Knižnice Elektro, Svazek 21: Ochrana elektronických zařízení před přepětím*. I. Praha: STRO.M, spol. s r.o., 1994.
- [20] Výklad k ukolejnění trakční podpěry s odpojovačem na střídavé trakci 25 kV. Č.j.: 14668/10 - OAE. Praha: SŽDC, s.o., 2010.
- [21] AŽD PRAHA, s.r.o. *Kolejové obvody KOA1: Pokyny pro projektování do úrovně projektové dokumentace*. I. Praha, 2008.
- [22] ČSN 34 2613 ed. 3. *Železniční zabezpečovací zařízení – Kolejové obvody a vnější podmínky pro jejich činnost*. NÁVRH 1.
- [23] ČD, a.s., SDC-SEE Plzeň. *Výpočet trakčních proudů*. 188/2004-SEE. Plzeň, 2004.
- [24] ČSN EN 50122-2 ed. 2. *Drážní zařízení - Pevná trakční zařízení - Elektrická bezpečnost, uzemnění a zpětný obvod: Část 2: Ochranná opatření proti účinkům bludných proudů DC trakčních soustav* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [25] Ochrana před úrazem elektrickým proudem. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-08-23]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Ochrana_p%C5%99ed_%C3%BArazem_elektrick%C3%BDm_proudem
- [26] SUCHÁNEK, Petr. *Zabezpečovací technika na železnici*. Plzeň, 2008. Semestrální projekt. ZČU Plzeň, FEL. Vedoucí práce Ing. Jiří Čengery, Ph.D.

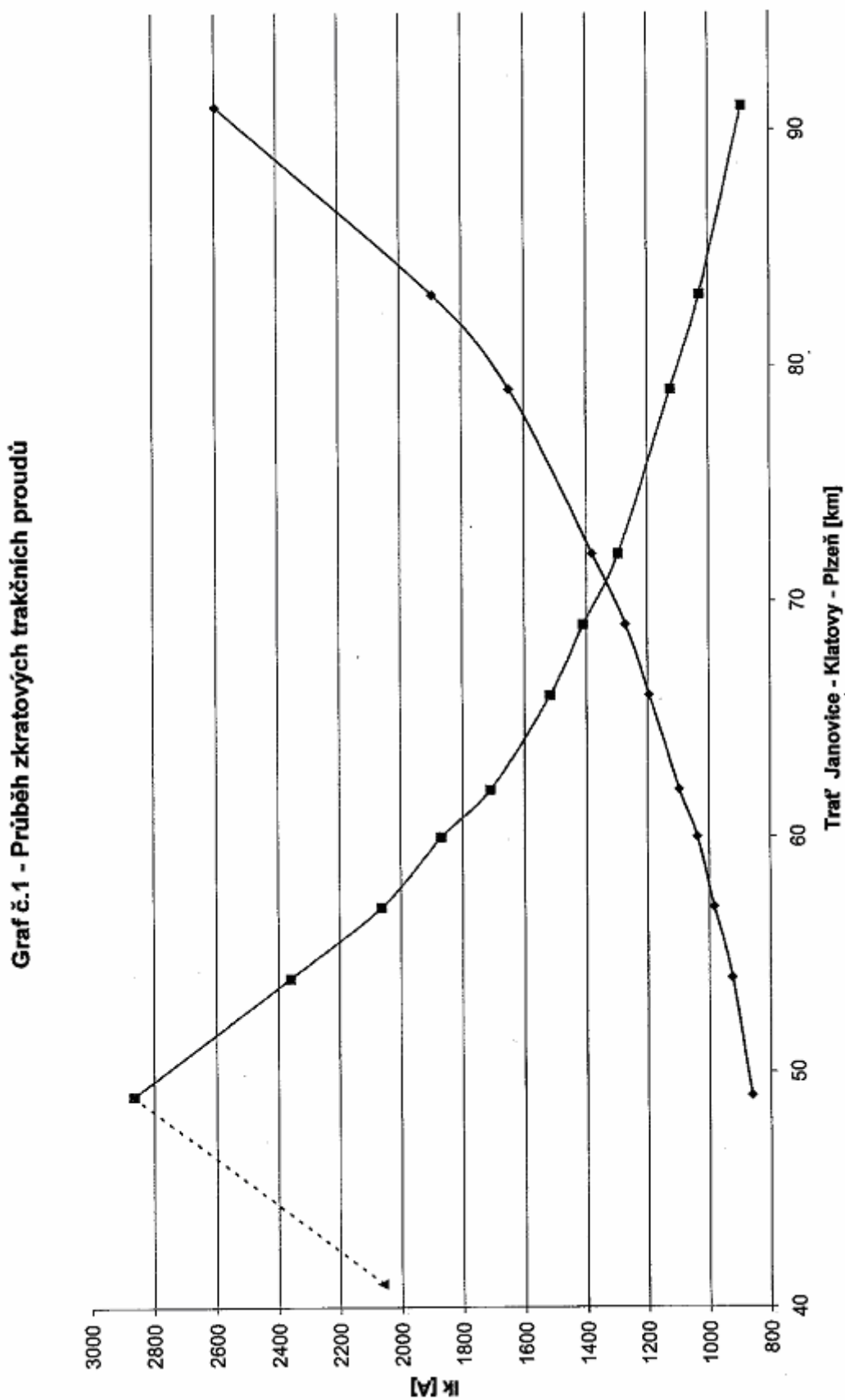
- [27] SUCHÁNEK, Petr. *Kolejové obvody – princip, rozdělení a typy*. Plzeň, 2009. Semestrální projekt. ZČU Plzeň, FEL. Vedoucí práce Ing. Tomáš Blecha, Ph.D.
- [28] SŽDC, s.o., OŘ-SEE Plzeň. *Zápis z porady: Dotykové napětí na AC trakční soustavě*. Plzeň, 2012.
- [29] Česká republika. Vyhláška Ministerstva dopravy, kterou se vydává stavební a technický řád drah. In: *177/1995 Sb.* 1995. Dostupné z: http://www.sbcr.cz/cgi-bin/khm.cgi?typ=1&page=khm:SSBC95/SBC95048.HTM;ca177_1995_00
- [30] DYTRYCH, Jaroslav. SUDOP PRAHA, a.s. *Koordinační schéma ukolejnění a trakčního propojení: žst. Kařízek*. Praha, 2012.
- [31] Stanovisko k provedení ukolejnění stožárů TV s bleskojistkami. Č.j.: 2-8050/00-DÚ. Praha: Drážní úřad, 2001.
- [32] Zaváděcí list: Symetrizační tlumivka SYT. In: *ZL 01/2012-SZ*. Praha: SŽDC, s.o., Technická ústředna dopravní cesty, 2012.
- [33] CHUDÁČEK, Václav a kol. *Detekce kolejových vozidel: v železniční zabezpečovací technice*. II. Praha, 2005.
- [34] Kabelovna Děčín Podmokly, s.r.o.. In: [online]. [cit. 2012-09-19]. Dostupné z: http://www.kabelovna.cz/produkty/1_telekomunikacni-kabely/1
- [35] Kabelovna Děčín Podmokly, s.r.o.. In: [online]. [cit. 2012-09-19]. Dostupné z: http://www.kabelovna.cz/produkty/1_telekomunikacni-kabely/2
- [36] PRAKAB Pražská Kabelovna, s.r.o. In: [online]. [cit. 2012-10-18]. Dostupné z: <http://www.prakab.cz/info/vyroby/zeleznicni-zabezpecovaci-kabely/>
- [37] European Train Control System. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-10-25]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/ETCS>
- [38] VERZICH, Vladimír. AŽD PRAHA, s.r.o. *Výpočty zkratových proudů*. Praha, 2013.
- [39] ČSN EN 60909-0. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [40] VERZICH, Vladimír. AŽD PRAHA, s.r.o. *Dimenzování a jištění napájecích vedení a účinky zkratových proudů v železniční zabezpečovací technice*. Praha: Srdce Evropy, s.r.o., 2010. ISBN 978-80-254-7259-0.
- [41] ČSN 33 3505 ed. 2. *Drážní zařízení - Pevná trakční zařízení - Základní požadavky na elektrické napájecí a spínací stanice*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

- [42] Schválení podmínek pro 2. ověřovací provoz symetrizační tlumivky SYT. Č.j.: 12651/10 -OAE. Praha: SŽDC, s.o., 2010.
- [43] LUŽNÝ, Richard. ELEKTRIZACE ŽELEZNIC PRAHA, a.s. *Zpráva ze zkratových zkoušek TT Mýto*. Praha, 2011.
- [44] T120. *Předpis SŽDC: Pro provozování a údržbu zařízení pro kontrolu volnosti nebo obsazenosti kolejových úseků*. Se zpracovanou změnou č. 1. Praha: České dráhy, a.s. - Technická ústředna Českých drah, 2008.
- [45] MERTLOVÁ, Jiřina, Pavla HEJTMÁNKOVÁ a Tomáš TAJTL. FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ. *Teorie přenosu a rozvodu elektrické energie*. I. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2008. ISBN 978-80-7043-307-2.
- [46] HRNČÍŘ, Josef. KTA TECHNIKA, s.r.o. *Koordinační schéma ukolejnění a trakčního propojení: žst. Přeštice*. Plzeň, 2012.

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1** Průběh zkratových trakčních proudů [23]
- Příloha č. 2** TABULKA redukční činitel kolejí [14]
- Příloha č. 3** TABULKA meze nebezpečných elektromagnetických vlivů [14]
- Příloha č. 4** TABULKA meze krátkodobých nebezpečných indukčních vlivů; rozsah výpočtů [14]
- Příloha č. 5** NOMOGRAM pro stanovení vzájemné indukčnosti M [14]
- Příloha č. 6** TABULKA maximálního dotykového napětí pro AC trakční soustavy jako funkce doby trvání [6]
- Příloha č. 7** Průběh redukčního činitele kolejí [14]
- Příloha č. 8** VÝŘEZ programu z prostředí MS Excel určeného k výpočtu indukovaných napětí

Příloha č. 1: Průběh zkratových trakčních proudů



Příloha č. 2: TABULKA redukční činitel kolejí

REDUKČNÍ ČINITEL KOLEJÍ r_k

Druh železniční tratě	Kolejnice elektricky dobře propojené				Kolejnice elektricky špatně propojené			
	Vzdálenost od napájecí stanice				Vzdálenost od napájecí stanice			
	< 3 km		> 3 km		< 3 km		> 3 km	
	provozní stav	zkratový stav	provozní stav	zkratový stav	provozní stav	zkratový stav	provozní stav	zkratový stav
jednokolejná	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,5	0,8	0,6
dvoukolejná	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,4	0,7	0,5
tří- a vícekolejná	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,6	0,5

Poznámka: Hodnoty redukčního činitele kolejí r_k jsou uvedeny pro střední odpor půdy 50 Ω m. Se stoupajícím odporem půdy hodnoty r_k klesají a naopak. Průběh redukčního činitele kolejí v závislosti na vzdálenosti od dvoukolejně elektrizované trati při odporu půdy 24,4 Ω m je uveden pro informaci na obr. 16 a 17.

Hodnoty redukčního činitele platí pro základní kmitočty 50 Hz i pro referenční kmitočty 800 Hz, popř. 1000 Hz.

Příloha č. 3: TABULKA meze nebezpečných elektromagnetických vlivů

		Druh sdělovacího vedení		Stav trakčního vedení	
				mimořádný	zkratový
Nadzemní vedení	s dřevěnými stožáry	bez transformátorů	60 V	430 V	
		s transformátory	150 V	650 V	
	s železobetonovými nebo ocelovými stožáry nebo s dřevěnými stožáry s uzemňovacími vedením	bez transformátorů	60 V	150 V	
		s transformátory	150 V	430 V	
Kabely	místní	bez výstražky	60 V	podle tab. 14	
		s výstražkou a OPNDN	60 % U_{bz} max. však 250 V	60 % U_{bz} max. však 650 V	
		bez výstražky	60 V ¹⁾	podle tab. 14 ¹⁾	
	dálkové	s transformátory	60% U_{ik} při ¹⁾²⁾³⁾ $U_{ik} \leq U_{itr}$ jinak 60% U_{itr}		
		bez transformátorů	60 V	podle tab. 14	
		s transformátory	60% U_{bz} při $U_{bz} \leq U_{ik}$ jinak 60% U_{ik}		
	s transformátory	60 V ¹⁾	podle tab. 14 ¹⁾		
	s transformátory	60% U_{ik} při ¹⁾²⁾ $U_{ik} \leq U_{itr}$ jinak 60% U_{itr}			

**Příloha č. 4: TABULKA meze krátkodobých nebezpečných indukčních vlivů;
rozsah výpočtů**

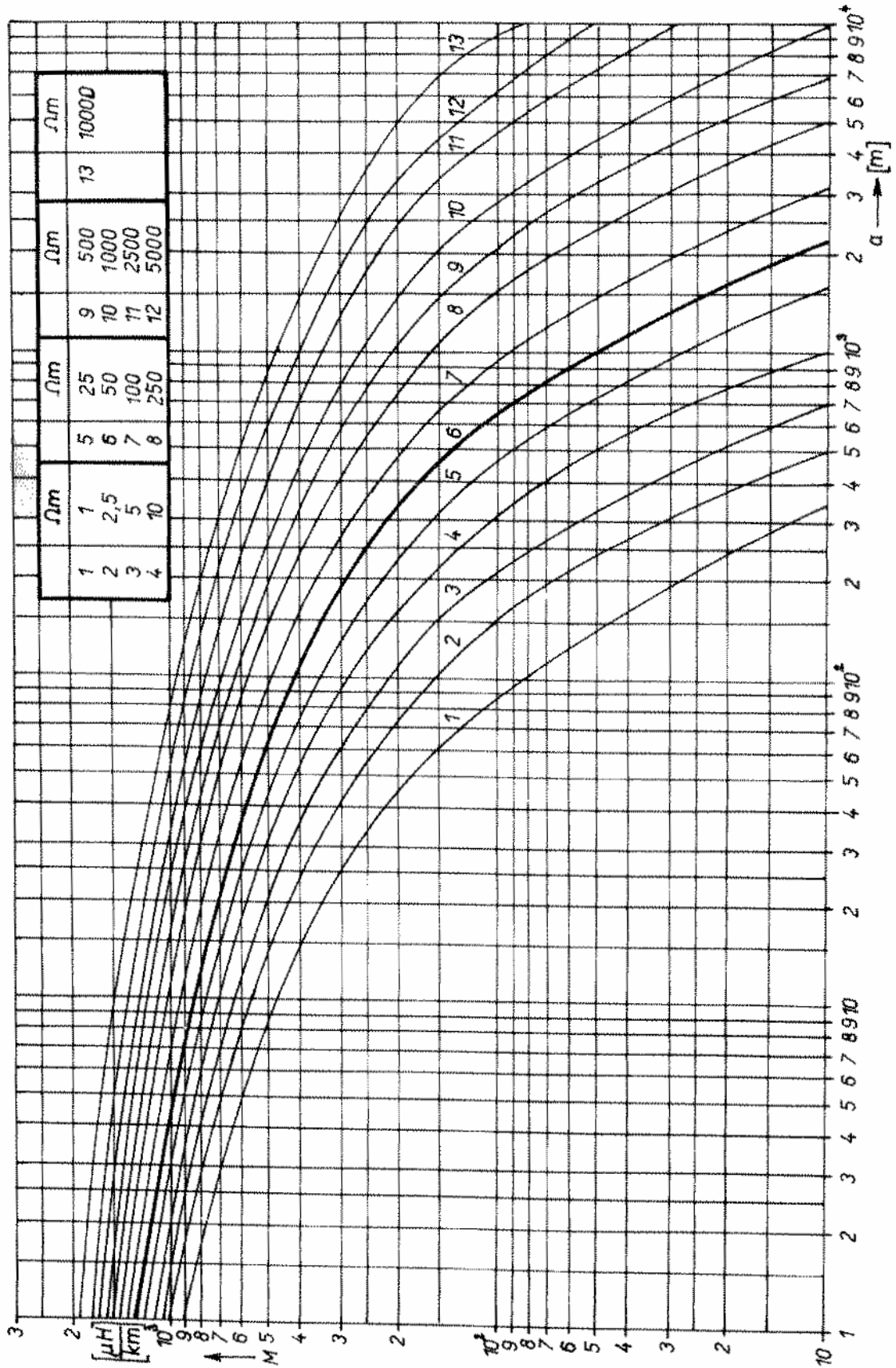
MEZE KRÁTKODOBÝCH NEBEZPEČNÝCH INDUKČNÍCH VLIVŮ

Doba trvání zkratu (s)	0,1 až 0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Mez (efektivní hodnota) (V)	300	260	230	210	190	180	170	160

ROZSAH VÝPOČTŮ

Druh sdělovacího a zabezpečovacího vedení	Požaduje se výpočet		
	nebezpečných vlivů elektromagnet.	nebezpečných vlivů elektrostatických	rušivých vlivů
Úložné kabely a závěsné kabely s uzemněným kovovým obalem pro sdělovací zařízení	ano	ne	ano ¹⁾
Nadzemní vedení a závěsné kabely bez kovových uzemněných obalů pro sdělovací zařízení	ano	jen při vzdálenostech do 100 m od trakčního vedení	ano ¹⁾
Úložné dálkové kabely pro traťové a dálkové zabezpečovací zařízení	ano	ne	ne
Úložné kabely pro staniční zabezpečovací zařízení bez i s kovovými obaly	jen při délkách větších než 500 m	ne	ne
¹⁾ U vř kanálů a místních telefonních spojů ČSD na nadzemních a kabelových vedeních zpravidla není nutno kontrolovat rušivé vlivy (viz čl. 203).			

Příloha č. 5: NOMOGRAM pro stanovení vzájemné indukčnosti M

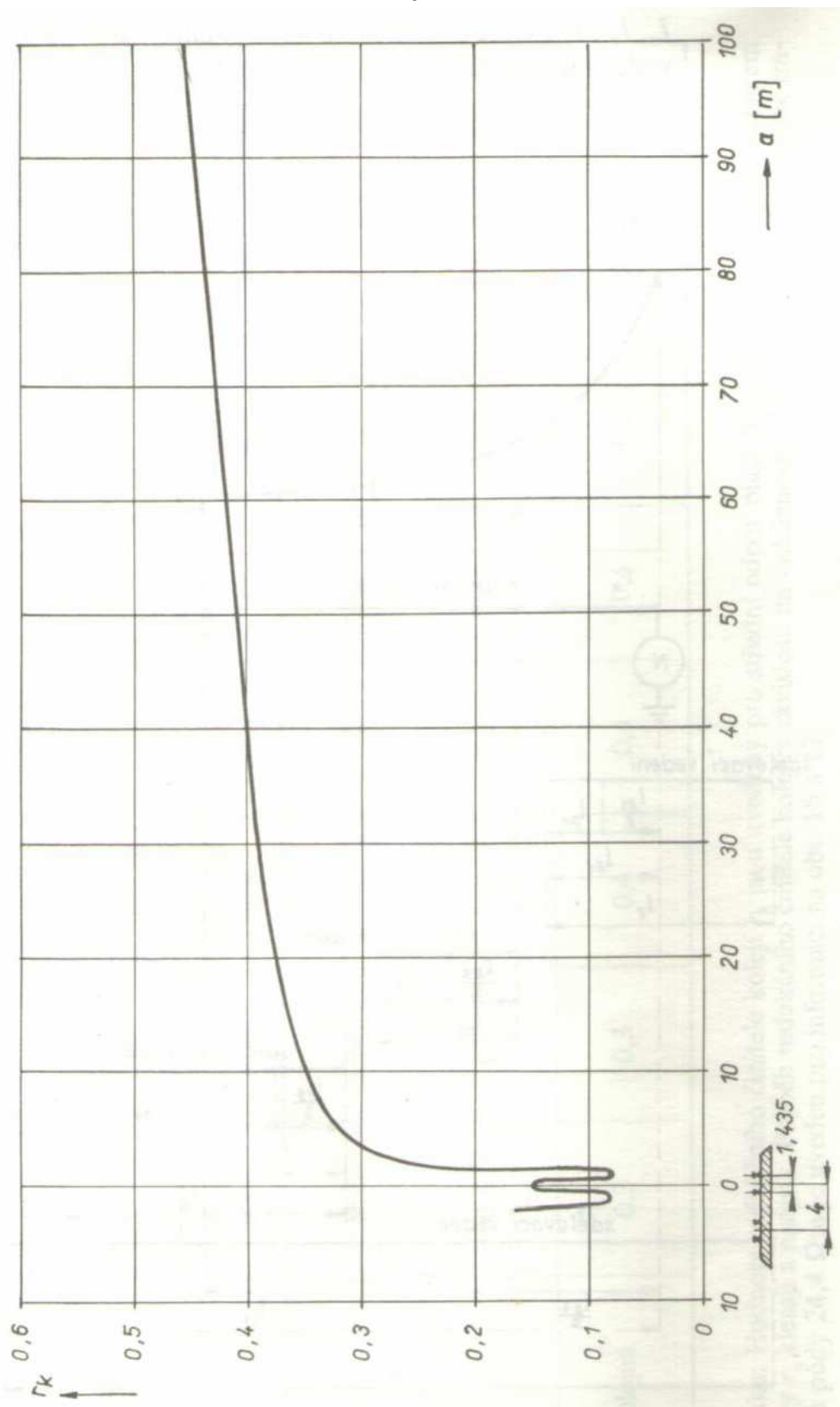


Příloha č. 6: TABULKA maximálního dotykového napětí pro AC trakční soustavy jako funkce doby trvání

t s	$U_{ta, max}$ dlouhodobé V	$U_{ta, max}$ krátkodobé V
> 300	60	–
300	65	–
1	75	–
0,9	80	–
0,8	85	–
0,7	90	–
< 0,7	–	155
0,6	–	180
0,5	–	220
0,4	–	295
0,3	–	480
0,2	–	645
0,1	–	785
0,05	–	835
0,02	–	865

Legenda
 t doba trvání;
 $U_{ta, max}$ dovolené dotykové napětí.

Příloha č. 7: Průběh redukčního činitele kolejí



Příloha č. 8: VÝŘEZ programu z prostředí MS Excel určeného k výpočtu indukovaných napětí

	Zdánlivý měrný odpor půdy	50	ohm*m
	Proud troleje	2500	A
	Frekvence trakce	50	Hz
	Délka souběhu	2000	m
	Vodorovná vzdálenost od troleje	15	m
	Výška troleje	5	m
	Výška (-hloubka) kabelu	-3	m
redukční faktor	kolejí	0,6	
	kabelu	0,15	
	CELKOVÝ	0,09	
	Vzájemná vzdálenost	17	m
	Parametr α	0,04777	
	Vzájemná indukčnost M	748,114	uH/km
	Indukované napětí	105,8	V

LEGENDA: Vstupní hodnoty ■
 Výstupní hodnoty ■

Pozn.: Tento program byl vytvořen během psaní této diplomové práce a je její součástí.