

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ
ELEKTRONIKY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv trojfázových vedení na sdělovací vedení

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2016/2017

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

Jméno a příjmení: **Ondřej ŠEFL**
Osobní číslo: **E14B0062P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektrotechnika a energetika**
Název tématu: **Vliv trojfázových vedení na sdělovací vedení**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Popište možné vlivy venkovních a kabelových vedení na sdělovací vedení.
2. Vytvořte algoritmus pro výpočet nebezpečných vlivů trojfázových vedení na sdělovací vedení.
3. Uvažujte různá geometrická uspořádání.
4. Naprogramujte výpočet nebezpečných vlivů trojfázových vedení na sdělovací vedení.
5. Vytvořte uživatelské rozhraní pro snazší ovládání programu.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

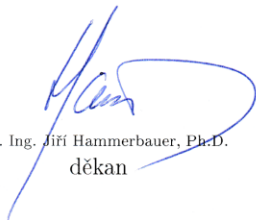
Seznam odborné literatury:

1. ČSN 332160. Elektrotechnické předpisy. Předpisy pro ochranu sdělovacích vedení a zařízení před nebezpečnými vlivy trojfázových vedení VN, VVN a ZVN. Praha: Federální úřad pro normalizaci, 1993.
2. Mayer, Daniel. Teorie elektromagnetického pole. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2004.


Vedoucí bakalářské práce: Ing. Lenka Šroubová, Ph.D.
Katedra teoretické elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: 14. října 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 8. června 2017


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




Prof. Ing. Václav Kús, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce pojednává o nežádoucích vlivech trojfázového vedení na sdělovací vedení, které je vedeno v jeho blízkosti. Teoretická část bakalářské práce popisuje jednotlivá vedení jak venkovní, kabelové, tak i sdělovací. Dále jsou v bakalářské práci rozebrané jednotlivé vlivy na sdělovací vedení. Poslední část je pak věnována vytvořenému programu, který tyto vlivy dokáže spočítat a vyhodnotit.

Klíčová slova

Sdělovací vedení, trojfázové vedení, venkovní vedení, kabelové vedení, indukční vliv, kapacitní vliv, galvanický vliv, nebezpečný vliv, program, MATLAB

Abstract

Submitted Bachelor's thesis deals with the undesirable effects of three-phase lines on the communication lines which is led close to it. Theoretical part of the thesis describes individual outdoor, cable and communication lines. There are also individual effects on the communication lines analyzed in the thesis. The last part pays attention to the created program, which can count and evaluate these effects.

Key words

Communication lines, three-phase lines, outdoor lines, cable lines, inductive influence, capacitive influence, galvanic influence, dangerous influence, program, MATLAB

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 7.6.2017

Ondřej Šefl

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí mé bakalářské práce Ing. Lence Šroubové, Ph.D. za laskavý přístup, obětavost a ochotu. Také děkuji za cenné rady a připomínky, které pomohly zlepšit a doplnit tuto práci.

Obsah

ÚVOD	10
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	11
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
1 ELEKTRICKÉ VEDENÍ.....	14
1.1 DLE NAPĚŤOVÉ HLADINY	14
1.2 DLE FUNKCE.....	14
1.2.1 Přenosová soustava.....	14
1.2.2 Distribuční soustava.....	15
1.3 DLE POUŽITÝCH VODIČŮ	15
1.3.1 Holé vodiče - venkovní vedení.....	15
1.3.2 Izolované vodiče - kabelové vedení.....	18
1.3.3 Kabelové vedení VVN 110kV.....	19
1.3.4 Typy kabelů.....	20
1.3.5 Značení kabelů.....	22
1.4 PASIVNÍ PARAMETRY VEDENÍ.....	23
1.4.1 Činný odpor vedení:	24
1.4.2 Indukčnost, induktivní reaktance.....	25
1.4.3 Kapacita vedení.....	27
1.4.4 Svod.....	28
2 SDĚLOVACÍ VEDENÍ.....	29
2.1 SYMETRICKÝ KABEL.....	30
2.2 KOAXIÁLNÍ KABEL	31
2.3 OPTICKÝ KABEL:	31
3 NORMA PRO OCHRANU SDĚLOVACÍCH VEDENÍ PŘED NEBEZPEČNÝMI VLIVY TROJFÁZOVÝCH VEDENÍ VN, VVN A ZVN.....	32
3.1 INDUKČNÍ VLIV	34
3.2 GALVANICKÝ VLIV	37
3.3 KAPACITNÍ VLIV	39
4 MATLAB	41
4.1 ZÁKLADNÍ ČÁSTI MATLABU	41
4.2 M - FILE.....	42
4.3 PROSTŘEDÍ GUIDE	42
5 PROGRAM PRO VÝPOČET VLIVU TROJFÁZOVÉHO VEDENÍ NA SDĚLOVACÍ VEDENÍ....	43
5.1 FUNKCE	45
5.2 STŘEDNÍ FUNKCE.....	46
5.2.1 Zadávání proměnných	47
5.2.2 Šikmý souběh	49
5.3 MALÉ A POMOCNÉ FUNKCE	51
5.3.1 Výpočet celkového redukčního činitele.....	52
5.3.2 Určení činitele vzájemné indukčnosti M	54
5.4 VÝPOČET INDUKOVANÉHO NAPĚTÍ A NÁSLEDNÉ VYHODNOCENÍ	55
5.5 PŘÍKLAD Z PRAXE.....	57
6 ZÁVĚR.....	59
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ:	61
PŘÍLOHY A:	65

PŘÍLOHY B:74

Úvod

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit program, který bude počítat nebezpečné vlivy trojfázového vedení na sdělovací vedení podle normy ČSN 33 2160, která udává předpisy pro ochranu sdělovacího vedení a zařízení před nebezpečnými vlivy trojfázových vedení VN, VVN a ZVN. Proto tato práce je zaměřena na vzájemné vlivy silových a sdělovacích vedení.

Práce je rozdělena do několika částí, v prvních dvou částech se zabývám silovým a sdělovacím vedením. Norma řeší pouze silová vedení, ať kabelová nebo venkovní, pouze vyšších napěťových hladin, konkrétně hladin VN, VVN a ZVN. Tyto vedení mají tedy dostatečné parametry na to, způsobit rušivý nebo nebezpečný vliv. Z tohoto důvodu jsem v bakalářské práci tyto vedení uvedl a popsal. U sdělovacího vedení jsem uvedl základní rozdělení kabelů a jako příklady jsem uvedl dva symetrické kabely, které se v normě nacházejí a jejichž redukční činitel se tam udává.

Ve třetí kapitole popisují samotnou normu ČSN 33 2160, od které se celá má práce odvíjí. V této části je tedy popsána základní podstata normy, základní definice a jednotlivé vlivy. Jednotlivými vlivy se rozumí vlivy indukční, kapacitní a galvanický. Každý z těchto vlivů způsobuje nebezpečné napětí v kovových obalech sdělovacího vedení, které následně mohou ohrozit obsluhu, proto je nutné řešit bezpečnou vzájemnou vzdálenost. Tato vzdálenost se zjistí právě podle této normy.

Ve čtvrté části je zmíněno vývojové prostředí MATLAB, v němž jsem program vytvořil.

V páté a nejdůležitější části je představena struktura programu, který slouží ke spočítání převážně napětí při indukčním vlivu. Algoritmy tohoto programu vychází z použité normy. V této kapitole jsou popsány hlavní části tohoto programu a jsou zde také předvedeny jednotlivé části kódu.

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: PODPĚRNÉ ISOLÁTORY VN [28].....	15
OBRÁZEK 2: ZPŮSOBY UCHYCENÍ VODIČE [7].....	16
OBRÁZEK 3: LANO ACCR [4].....	17
OBRÁZEK 4: UKLÁDÁNÍ KABELU DO ZEMĚ [13].....	20
OBRÁZEK 5: KRUHOVÉ USPOŘÁDÁNÍ KABELU [30].....	21
OBRÁZEK 6: DRUHY JADER VODIČŮ [14].....	21
OBRÁZEK 7: SEKTOROVÉ USPOŘÁDÁNÍ KABELU [30].....	21
OBRÁZEK 8: NÁHRADNÍ SCHÉMA VEDENÍ.....	23
OBRÁZEK 9: SYMETRICKÉ ROZLOŽENÍ VODIČŮ.....	25
OBRÁZEK 10: NESOUMĚRNÉ ROZLOŽENÍ.....	25
OBRÁZEK 11: ROVINNÉ ROZLOŽENÍ.....	25
OBRÁZEK 12: PROVEDENÍ METALICKÝCH KABELŮ [23].....	29
OBRÁZEK 14: KABEL TCEPKPFLE [22].....	30
OBRÁZEK 13: USPOŘÁDÁNÍ SYMETRICKÝCH KABELŮ [23].....	30
OBRÁZEK 15: KABEL TCEPKPFLEZE [19].....	30
OBRÁZEK 16: KOAXIÁLNÍ KABEL [31].....	31
OBRÁZEK 17: TYPY VLÁKEN [32].....	31
OBRÁZEK 18: INDUKTIVNÍ VLIV NA SDĚLOVACÍ PODZEMNÍ VODIČ, PŘEVZATO Z [7], UPRAVENO.....	34
OBRÁZEK 19: GALVANICKÁ VAZBA - SPOLEČNÝ ZEMNÍ SYSTÉM [34].....	37
OBRÁZEK 22: KAPACITNÍ VAZBA SE ZEMÍ [35].....	39
OBRÁZEK 20: KAPACITNÍ VAZBA NA SDĚLOVACÍ VEDENÍ.....	39
OBRÁZEK 21: KAPACITNÍ VAZBA MEZI DVĚMA GALVANICKY ODDĚLENÝMI OBVODY [35].....	39
OBRÁZEK 23: BLOKOVÉ SCHÉMA PROGRAMU.....	44
OBRÁZEK 24: VZHLED PROGRAMU.....	45
OBRÁZEK 25: ČÁST HLAVNÍ FUNKCE.....	45
OBRÁZEK 26: OBECNÝ VÝVOJOVÝ DIAGRAM.....	46
OBRÁZEK 27: DIALOGOVÉ OKNO.....	47
OBRÁZEK 28: ZÁPIS DIALOGOVÉHO OKNA V MATLABU.....	47
OBRÁZEK 29: ZÁPIS FUNKCE MENU DO MATLABU.....	48
OBRÁZEK 30: GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ FUNKCE MENU.....	48
OBRÁZEK 31: TĚLO ŠIKMÉHO SOUBĚHU.....	49
OBRÁZEK 32: POSTUP PŘI NESPRÁVNÉM ZADÁNÍ POMĚRU VZDÁLENOSTÍ.....	50
OBRÁZEK 33: VÝBĚR REDUKČNÍHO ČINITELE.....	51
OBRÁZEK 34: VÝPOČET REDUKČNÍHO ČINITELE.....	52
OBRÁZEK 35: POSTUP PŘI VÝPOČTU REDUKČNÍHO ČINITELE S KOMPENZAČNÍMI VODIČI.....	53
OBRÁZEK 36: VOLBA RT.....	54
OBRÁZEK 37: VOLBA RB.....	54
OBRÁZEK 38: VÝBĚR SDĚLOVACÍHO VODIČE.....	54
OBRÁZEK 39: GRAF PRO STANOVENÍ M [33].....	54
OBRÁZEK 40: ČÁST FUNKCE PRO VÝBĚR M.....	54
OBRÁZEK 41: VOLÁNÍ FUNKCE VZÁJEMNÁ_INDUKČNOST VE STŘEDNÍ FUNKCI.....	54
OBRÁZEK 42: VÝPOČET SUMY.....	55
OBRÁZEK 43: KONEČNÝ VÝPOČET INDUKOVANÉHO NAPĚTÍ.....	56
OBRÁZEK 44: VYBRANÁ OKNA PŘI ZADÁVÁNÍ HODNOT.....	58
OBRÁZEK 45: VYHODNOCENÍ VLIVU.....	58
OBRÁZEK 46: VYZNAČENÍ OCHRANNÉHO PÁSMU. PŘEVZATO Z [7], UPRAVENO.....	74
OBRÁZEK 47: TYPY STOŽÁRŮ [7].....	75
OBRÁZEK 48: PROMĚNLIVÉ PRŮŘEZY STOŽÁRŮ [9].....	75
OBRÁZEK 49: NORMALIZOVANÝ STOŽÁR PRO VEDENÍ VN [9].....	76
OBRÁZEK 50: STOŽÁR VVN PRO 110 KV [5].....	76
OBRÁZEK 51: STOŽÁR VVN PRO 220 KV [5].....	76

Seznam symbolů a zkratek

MN	Malé napětí	
NN	Nízké napětí	
VN	Vysoké napětí	
VVN	Velmi vysoké napětí	
ZVN	Zvlášť vysoké napětí	
UVN	Ultra vysoké napětí	
MATLAB	Matrix laboratory	
PVC	Polyvinylchlorid	
HDPE	High density polyethylene	
LDPE	Low density polyethylene	
XPE	Cross-Linked Polyethylene	
ACCR	Aluminum Conductor Composite Reinforced ⁷	
ACSR	Aluminium-conductor steel-reinforced	
GUI	Graphical user interface	
GUIDE	GUI development environment	
U	Napětí	[V]
I	Proud	[A]
R	Odpor vedení	[Ω]
L	Indukčnost vedení	[H]
C	Kapacita vedení	[F]
G	Svod vedení	[S]
X	Reaktance vedení	[Ω]
ρ	Měrná odpor vodiče	[$\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$]
S	Průřez vodiče	[mm^2]
α	Teplotní součinitel	[K^{-1}]
ϑ	Teplota	[K]
χ	Součinitel zvětšení odporu	[-]
d	Průměr vodiče	[mm]
μ	Relativní permeabilita	[-]
f	Frekvence	[Hz]
d	Vzdálenost mezi fázovými vodiči	[mm]

r	Poloměr	[mm]
ω	Úhlová rychlost	[rad · s ⁻¹]
a	Vzdálenost	[m]
w	Činitel současnosti	[-]
r, R	Redukční činitel	[-]
M	Činitel vzájemné indukčnosti	[μH · km ⁻¹]
x	Parametr pro odečtení z grafu	[-]
Z	Impedance	[Ω]
b	Střední výška fázových vodičů nad zemí	[m]
l	Délka úseku	[m]
q	Výsledný činitel stínění	[-]
H	Intenzita magnetického pole	[A/m]
E	Intenzita elektrického pole	[V/m]
ϕ	Magnetický tok	[m]

1 Elektrické vedení

Elektrické vedení slouží pro přenos, rozvod a distribuci elektrické energie. Jeho vlastnosti závisí například na provedení vedení (IT, TT, TN), napěťové hladině, jeho funkci, na použitých vodičích a mnohém dalším, jako je například transpozice vedení nebo svazkové vodiče. Velmi důležitou věcí je také to, jestli se jedná o vedení kabelové nebo venkovní. Základní rozdělení je následující:

1.1 Dle napěťové hladiny

- **Malé napětí** MN, do 50 V
- **Nízké napětí** NN, 50 V - 1000
- **Vysoké napětí** VN, 1000 V - 52 kV
- **Velmi vysoké napětí** VVN, 52 kV - 300 kV
- **Zvláště vysoké napětí** ZVN, 300 kV - 800 kV
- **Ultra vysoké napětí** UVN, nad 800 kV

Převzato z [1].

1.2 Dle funkce

1.2.1 Přenosová soustava

Přenosová soustava je součástí elektrizační soustavy. Tvoří ji systém zařízení, který obstarává přenos elektrické energie z velkých elektráren k velkým rozvodnám.

Další její významnou funkcí je, že zajišťuje rovnováhu mezi výrobou a spotřebou, jelikož elektrickou energii nelze skladovat ve velkém. Přenosová soustava se pohybuje na hladině ZVN a VVN, a to konkrétně 110 kV, 220 kV a 400 kV. Důvodů přenosu na takto vysokých napěťových hladinách je hned několik. Hlavním důvodem je to, že z velkých bloků elektráren teče z generátorů proud o velikosti desítek kA. Přenos těchto velkých proudů na velkou vzdálenost by způsoboval dva problémy. Prvním problémem by bylo to, že pro přenos by musely být použity extrémně velké průřezy a byly by namáhány velkými magnetickými silami. Druhý problém se týká ztrát, které by byly moc velké, jelikož ztráty na vedení jsou přímo úměrné druhé mocnině proudu. A proto je vyrobená energie transformovaná pomocí blokového transformátoru nejčastěji na hladinu VVN. Bohužel

i přenos výkonu na hladině VVN má své nevýhody. Tuto nevýhodu tvoří ztráty korónou, ke kterým dochází na všech hrotech a hranách. [2]

1.2.2 Distribuční soustava

Distribuční síť slouží k dopravení elektrické energie ke spotřebiteli. K tomu slouží transformační stanice, ve kterých se napětí transformuje na vysoké napětí 110 kV. Část této transformované elektrické energie je odvedena do velkých podniků těžkého průmyslu a do měníren, které mají za úkol napájet železniční tratě. Zbytek elektrické energie se distribuuje k dalším spotřebitelům (města a obce), kde dochází k transformaci většinou na hodnotu napětí 22 kV. Poslední transformace probíhá v podnicích, městských čtvrtích a obcích, kde se napětí transformuje na napětí 400 V. [3]

1.3 Dle použitých vodičů

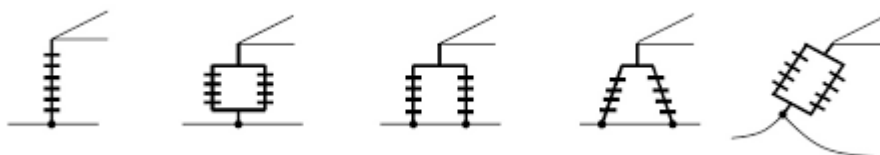
1.3.1 Holé vodiče - venkovní vedení

Venkovní vedení je provozováno výhradně na vedeních 110 kV, 220 kV, 400 kV, dále pak z velké části u vedení 22 kV, 35 kV a při rozvodech NN. Venkovní vedení se skládá z holých vodičů, stožárů, izolátorů a základů. Vodiče jsou pomocí izolátorů umístěny na stožárech. Izolátory mají za úkol odizolovat konstrukční části, tedy stožár, od elektrické části (vodič) tak, aby mezi nimi neprocházel proud, jelikož každá část je na jiném potenciálu. Proto také platí, čím vyšší je rozdíl potenciálů, respektive čím vyšší je napěťová hladina vedení, tím musí být i delší izolátor, proto se tvoří tzv. izolátorové řetězce, kde se jednotlivé "talíře" skládají na sebe. Například, pro napětí 110 kV je počet talířů na sobě sedm a celková délka izolátoru je 1,8 m, pro napětí 400 kV je počet 22 a celková délka 3,5 m. Jak již bylo uvedeno, izolátory slouží k podepření nebo zavěšení vodičů tak, aby



Obrázek 1: Podpěrné izolátory VN [28]

nedošlo ke spojení se stožárem, proto rozlišujeme izolátory několika typů: podpěrné, závěsné a tyčové. O tom, který izolátor se kde použije, rozhoduje napěťová hladina. Podpěrné izolátory se používají do 35 kV a závěsné izolátory od 22 kV. Každý izolátor musí splňovat určité elektrické a mechanické vlastnosti, dále pak musí odolávat chemickým a povětrnostním vlivům a výkyvu teplot. Vodiče mohou být připevněny k izolátoru vazem nebo svorkou. Materiálem, ze kterého jsou izolátory vyráběny, je tvrdý porcelán, jenž bývá složen z kaolínu (40 - 60 %), křemene (20 - 30 %) a živce (20 - 30 %), dále se pak ještě jako materiál používá sklo, plast + sklo a kompozitní materiál. Kompozitní izolátory v současné době nahrazují dříve nejčastěji používané porcelánové izolátory, to je dáno tím, že kompozitní izolátor má nespočet předností, například nízkou hmotnost, výbornou elektrickou pevnost, extrémní mechanickou spolehlivost a další. [5][6][7]



Obrázek 2: Způsoby uchycení vodiče [7]

Další částí venkovního vedení jsou holé vodiče. Jelikož mezi nepoužívanější elektrovedné materiály patří měď a hliník, jsou tyto materiály použity i na vedení venkovním. Na venkovní vedení se tedy používají měděná lana a dráty s hliníkovými, bronzovými a železnými vodiči. Tyto materiály ale mají své výhody i nevýhody. Nejlepším vodičem je měď, ale zároveň je také nejdražším materiálem, u železa lze považovat za největší nevýhodu jeho malou elektrickou vodivost a u hliníku jeho malou mechanickou pevnost. K potlačení jednotlivých negativních vlastností zde uvedených materiálů byly proto vyvinuty různé slitiny. Mezi vyvinuté slitiny patří slitina hliníku Aldrey a Condal, který mají větší mechanickou pevnost než klasický hliník. [29]

Na vedení velmi vysokého napětí nejčastěji nacházejí uplatnění kombinovaná lana ACSR, nejčastěji kombinovaná lana AlFe. Lana jsou složená z vodičů ze dvou materiálů. Těmito materiály jsou nejčastěji hliník a ocel. Ocel tvoří jádro vodiče a hliník, jenž je na jádro šroubovitě navinut, jeho plášť. Ocelové jádro zajišťuje mechanickou pevnost, nese celé lano a brání natahování hliníku. Hliník zajišťuje elektrické vlastnosti a je efektivně protékán elektrickým proudem vlivem skin efektu. Značení lana se provádí označením

průřezu hliníkového pláště, značkou AlFe a poměrem průřezu pláště k průřezu jádra, např. 240 AlFe 6 - poměr hliníku k oceli je 6:1, takže průřez hliníku je 240 mm^2 a průřez ocele 40 mm^2 , celkový průřez lana je potom 280 mm^2 . [5] [29]



Obrázek 3: Lano ACCR [4]

V současné době jsou lana ACSR, neboli lana AlFe, čím dál tím častěji nahrazována lany ACCR (Aluminium Conductor Composite Reinforced). Lana ACCR je moderní technologie, která řeší problém s energetickým zatížením a eliminaci průvřesů lana mezi stožáry. Použitím těchto lan dochází ke snížení mechanického zatížení na daném úseku. Hlavními výhodami jsou vynikající poměr pevnosti a hmotnosti a nízká tepelná roztažnost. Při těchto dvou vlastnostech lze dosáhnout větší přenosové schopnosti soustavy a rozpětí mezi stožáry může být větší. Tato moderní technologie spočívá v tom, že ocelové jádro je nahrazeno jádrem, které je vyrobeno z oxidu hliníku a je zpracované do podoby mikrovláken, která jsou poté složena do jednotlivých svazků. V jednom svazku může být až 20 000 mikrovláken. Pevnost jádra lana je srovnatelná s pevností oceli a v porovnání s hliníkem je osmkrát vyšší. Plášť je vyroben z kompozitu hliníku a zirkonu. Díky zirkonu je hliníkový plášť stabilnější při vyšších provozních teplotách. Další výhodou tohoto lana je to, že jádro i plášť jsou tvořeny z hliníku, tudíž nedochází ke korozi jako u AlFe lana. Při aplikaci lana na stožáry není třeba stožáry jakkoli měnit nebo zesilovat, takže při výměně není nutný zásah do krajiny a zástavba dalších pozemků. Z tohoto pohledu se jedná o nejekonomičtější řešení při zvětšování přenosové kapacity. ACCR lana se nejčastěji používají při extrémních vzdálenostech mezi stožáry např. při překonávání vodních ploch, údolí, hornatého povrchu a velmi zalidněného prostředí. [4]

- **Vzdálenost vodičů**

Tabulka 1: Vzdařlenost vodičů od země [7]

Druh vedení	vzářlenost (m)
do 1kV	5
do 1kV na zeměděřských plochách	6
10 - 110 kV	6
220 kV	7
400 kV	8

Tabulka 2: Vzdařlenost vodičů mezi sebou [7]

Napětí (kV)	Nejmenší vzdářlenost (cm) od vodiče s napětím						
	do 1	1 až 10	22	35	110	220	400
do 1	20	-	-	-	-	-	-
1 až 10	32	22	-	-	-	-	-
22	40	30	30	-	-	-	-
35	50	40	40	40	-	-	-
110	-	-	-	-	90	-	-
220	-	-	-	-	190	190	-
400	-	-	-	-	340	340	340

1.3.2 Izolované vodiče - kabelové vedení

Kabelová vedení se provádí převážně pro vedení NN a VN, jen výjimečně pro vedení VVN. Kabelové rozvody se používají tam, kde není prostor pro vybudování venkovního vedení, používá se tedy nejčastěji v obytných aglomeracích, v areálech průmyslových rozvodů a v budovách. Kabely se rozlišují podle počtu žil, dělíme je na kabely jednožilové, trojžilové, čtyřžilové a vícežilové. U vedení VVN a VN se používají nejčastěji kabely jednožilové, kde pomocí kabelů vytvoříme tři oddělené fáze, dále se pak u vedení VN používají kabely trojžilové a čtyřžilové. [10]

1.3.3 Kabelové vedení VVN 110kV

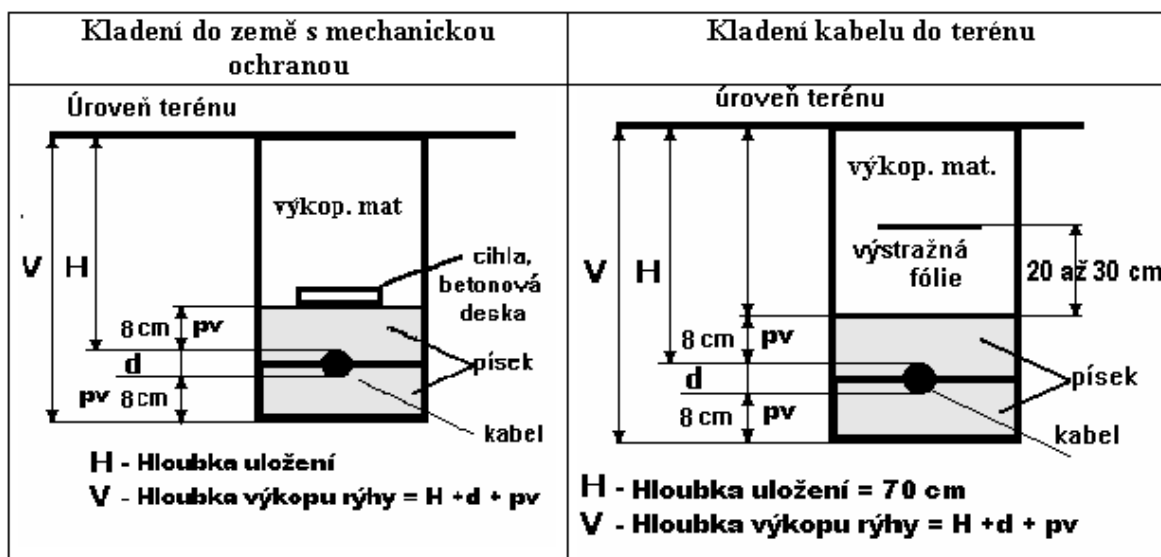
Tato vedení jsou realizována pomocí jednožilových kabelů, které se ukládají pod zem do pískového lože (20 - 30 cm). Jak můžeme vidět z příložené tabulky č. 3, hloubka uložení se pohybuje kolem 1,3 m. Jednotlivé žíly mohou být uspořádány vedle sebe nebo do trojúhelníku, na uspořádání pak závisí šířka výkopu. Výkop bývá nejčastěji široký cca 0,6 - 1,2 m. U kabelového vedení musí být zřizována tzv. spojovací místo, což je dáno tím, že maximální výrobní délka kabelu je maximálně 800 m. Spojovací místo je tedy místo, kde dochází ke spojování kabelů. Toto místo musí mít betonové lože v délce až 8 m, šířce 1,5 m a hloubce až 1,8 m. Ke spojovacímu místu musí být zajištěn trvalý přístup. Tak jako vedení venkovní, tak i vedení kabelové má svá ochranná pásma. Ochranné pásmo je souvislý prostor, který určují dvě svíslé roviny vedené po obou stranách podzemního vedení ve vodorovné vzdálenosti. Tato vzdálenost je měřena kolmo na podzemní vedení. V ochranném pásmu nesmí přejíždět mechanismy těžší než 6 tun a nemůže tu být vysázen trvalý porost. Při průchodu proudem kabelem dochází k ohřátí kabelu až na 90 °C, to může způsobit značné vysušování půdy. Dalším problémem, který zde hrozí, je, že díky výkopovým pracím a změně podloží může dojít k narušení nebo ovlivnění spodních vod a pramenišť. [11][12]

Tabulka 3: Hloubka uložení kabelového vedení [12]

napětí (kV)	hloubka uložení (cm)		
	Terén	chodník	vozovka
1	35 (70)	35	100
do 10	70	50	100
do 35	100	100	100
110	130	130	130

Tabulka 4: Rozměry ochranného pásma [12]

Napětí vedení	Ochranné pásmo (m)
do 110 kV, včetně řídicí, měřicí a zabezpečovací techniky	1
nad 110kV	3



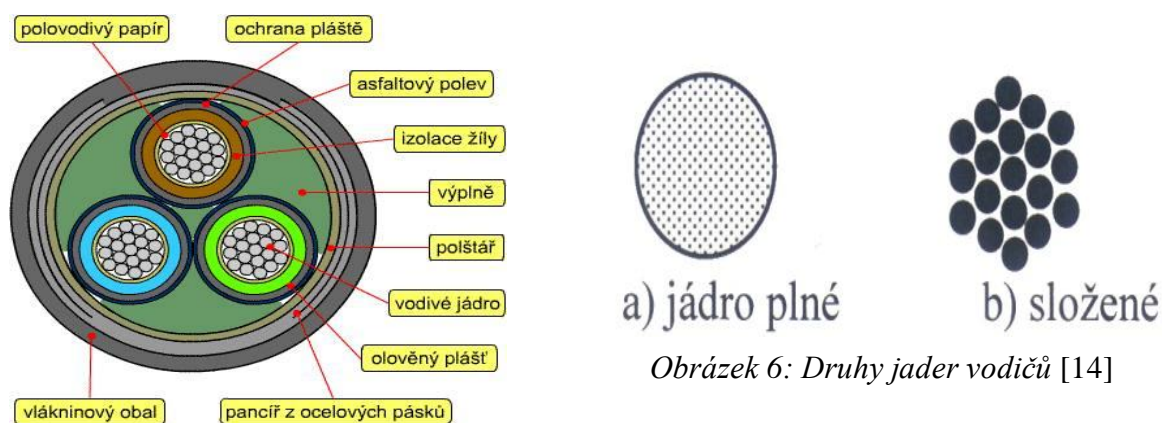
Obrázek 4: Ukládání kabelu do země [13]

1.3.4 Typy kabelů

Pro kabelové vedení se používají izolované vodiče. Tyto vodiče se skládají z jádra, izolace, pláště a popř. dalších ochranných obalů a konstrukčních prvků. Jádro tvoří nejčastěji měď nebo hliník. Kabely lze dělit podle mnoha hledisek, např. podle počtu žil nebo podle toho, zda se jedná o kabel instalační, propojovací, můstkový, topný, svařovací, výtahový, vlečný. Dále se dělí kabely podle provozního napětí na kabely nízkonapěťové (750 V, 1 kV), vysokonapěťové (6 kV, 10 kV, 22 kV, 35 kV), pro velmi vysoké napětí (110 kV, 220 kV) a pro zvlášť vysoké napětí (400 kV). [15]

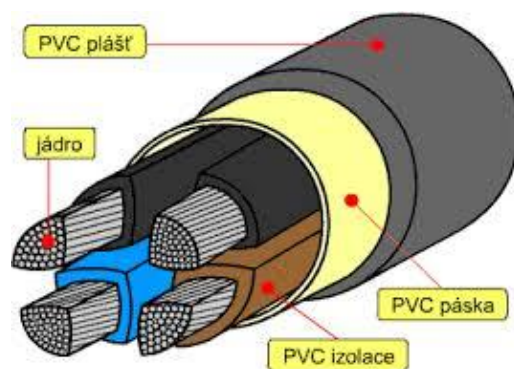
Tvar jádra může být proveden několika způsoby. Jádro se nejčastěji provádí jako kruhové, sektorové a trubkové. Sektorové jádro má oproti kruhovému jádru tu výhodu, že dochází k lepšímu vyplnění kabelu, proto má menší průměr než vodič s kruhovými jádry stejného průřezu a to má za následek nižší spotřebu materiálu na plášť, ale i na výplň mezi žilami. Rozlišují se také jádra složená a plná. Plné jádro je tvořeno kompaktním materiálem a používá se pro menší průřezy. Složené jádro je tvořené větším počtem slaněných drátů. Vodič s takto složeným jádrem lze lépe tvarovat, je pružnější a dochází i k omezení skin efektu.[14]

Izolace vodičů se tvoří z těchto materiálů: PVC, pryž, polyetylen HDPE, LDPE, zesíťovaný polyetylen - XPE. Pro kabely NN se nejčastěji používá izolace PVC, která má odolnost až 70 °C. Výhodou této izolace je, že materiál nešíří plamen, ovšem nevýhodou je, že při hoření se uvolňuje chlorovodík. Pro kabely NN se dále pak používá pryž (60 °C), Polyetylen HDPE (85 °C) a LDPE (70 °C). Pro kabely VN a VVN se používá zesíťovaný polyetylen XPE, který má teplotní odolnost až 90°C, má vyšší mechanickou a tepelnou odolnost, vyšší elektrickou pevnost a nižší dielektrické ztráty a oproti PVC je hořlavý. [14]



Obrázek 6: Druhy jader vodičů [14]

Obrázek 5: Kruhové uspořádání kabelu [30]



Obrázek 7: Sektorové uspořádání kabelu [30]

1.3.5 Značení kabelů

České značení

0	1	2	3	4	5	6	7
1	C	Y	K	Y	3	J	2,5

0 - číslice udává napět'ovou hladinu v kV na kterou je vodič určený

1 - číslice udává materiál jádra

A - hliník

C - měď

2 - číslice udává materiál izolace žíly

Y - PVC

G - pryž

E - polyetylén

XE - zesít'ovaný polyetylén

3 - číslice udává druh vodiče

K - silový kabel

V - vlečný

Z - svařovací

D - důlní

4 - číslice udává materiál společné izolace, stejné jako u čísla 2, další písmeno pak může popisovat další vrstvu jako např. pancíř, plášť, stínění atd.

5 - číslice udává počet žil

6 - číslice udává barevnou kombinaci žil

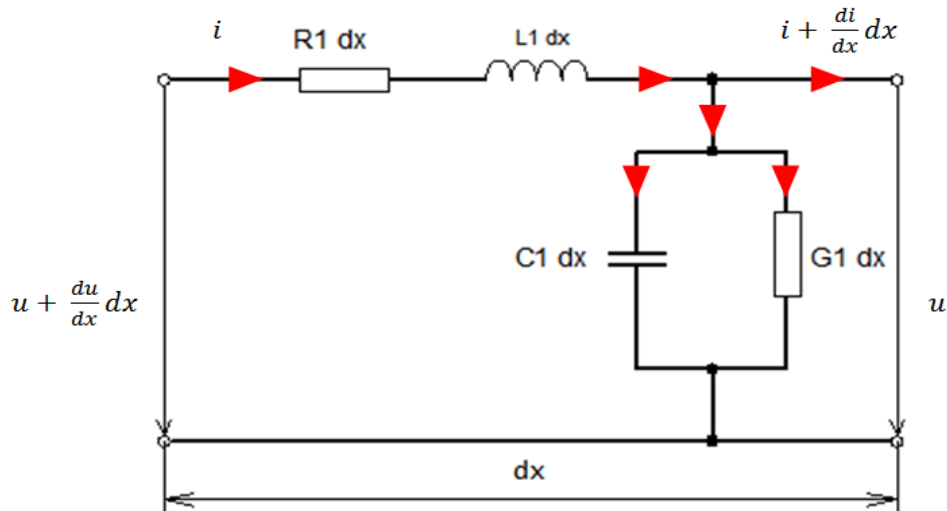
J - vodič se zeleno - žlutou žílou pro pevné uložení

G - vodič zeleno - žlutou žílou pro pohyblivé uložení

7 - průřez jedné žíly

Převzato z [14]

1.4 Pasivní parametry vedení



Obrázek 8: Náhradní schéma vedení

Na obrázku č. 8 je vidět náhradní schéma střídavého vedení. Náhradní schéma je realizováno pomocí pasivních prvků R , L , C a G , kde R je činný odpor vodiče, L je indukčnost vodiče, C je kapacita mezi jednotlivými vodiči a vodiči se zemí a G je svod. Toto schéma zachycuje jen nekonečně malý element dx celkové délky l , skutečné vedení je složeno tedy z nekonečně mnoha takových elementů. To znamená, že tyto parametry jsou rovnoměrně rozloženy po celé délce vedení. Parametry vystihují chování jednotlivých vedení. Ne na každém vedení se ale projeví všechny tyto parametry, to závisí především na tom, zda jde o vedení střídavé či stejnosměrné, dále pak u střídavých vedení záleží na napěťové hladině, na níž je vedení provozováno. Stejnosměrné vedení obsahuje jen činný odpor R , střídavé vedení NN a VN obsahují R a X a střídavá vedení VVN a ZVN obsahují všechny tyto parametry. Při řešení takto uspořádaného vedení lze využít diferenciální rovnice, to ovšem vede ke složitým výpočtům s hyperbolickými funkcemi. Mnohem snazší je využít výpočty pomocí soustředěných parametrů, k tomuto řešení se využívá náhrada vedení π , T nebo Γ článkem, což jsou vlastně dvojbrany. Toto nahrazení se provádí pro vedení kratší než 300 km. [17]

1.4.1 Činný odpor vedení:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad [\Omega] \quad (1.1)$$

kde ρ je měrný odpor vodiče [$\Omega \cdot \text{mm}^2$], tento odpor se uvažuje při 20 °C, l je délka vodiče [m] a S je průřez vodiče [mm^2].

$$\rho_{Al} = 0,0285 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\rho_{Cu} = 0,0178 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$$

Odpor vodiče nezávisí jen na rozměrech a měrném odporu, ale také na teplotě a skinefektu. Závislost odporu na teplotě, můžeme vyjádřit vzorcem (1.2)

$$R_{\vartheta} = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta\vartheta) \quad [\Omega] \quad (1.2)$$

kde α - teplotní součinitel [K^{-1}] a ϑ - nová teplota [K].

Další věcí, na které odpor vodiče závisí, je skinefekt. Jedná se o elektrický jev, při němž je proud vytlačován na povrch vodiče. To je dáno tím, že střídavý proud, který vodičem prochází, kolem sebe uzavírá siločáry magnetického toku. Tyto siločáry způsobí, že se do vodiče naindukují vířivé proudy. Tyto vířivé proudy ve středu vodiče mají opačný směr než elektrický proud, který je vyvolal, a odečítají se od něj, naopak proudy blíže k povrchu mají směry souhlasné a proudy se sčítají. To pak zapříčiní to, že vodič vodí jen při povrchu, tím pádem má menší průřez a odpor vodiče se zvětší. [16]

$$\kappa = 0,5d \cdot \sqrt{\frac{\mu f}{\rho}} 0,2 \quad [-] \quad (1.3)$$

$$R = \kappa \cdot r \quad [\Omega] \quad (1.4)$$

kde κ je součinitel zvětšení odporu r [-], d je průměr vodiče [mm], μ je relativní permeabilita [-], f je frekvence [Hz] a ρ je měrný odpor při průchodu ss proudem [$\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$].

Jak je vidět ze vztahu (1.4), skin efekt je tím větší, čím větší je frekvence, průřez, vodivost a relativní permeabilita vodiče. Proto u venkovních vedení, kde je frekvence 50 Hz, můžeme skin efekt zanedbat. Skin efekt ale nemůžeme zanedbat u vodičů s velkými průřezy, kterými protékají velké proudy. Dále ho pak nemůžeme zanedbat při rychlých přechodových jevech, protože postupná vlna obsahuje vyšší harmonické. [16][17]

1.4.2 Indukčnost, induktivní reaktance

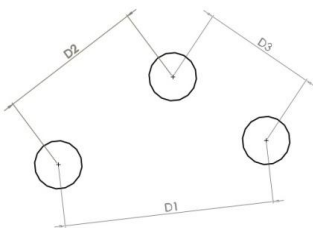
Ze vztahu (1.5) je vidět, že indukčnost vodiče je závislá na vzdálenosti mezi vodiči a na poloměru vodiče. Jednou z důležitých věcí pro stanovení indukčnosti je, zda se jedná o vedení souměrné, či nesouměrné. To znamená, že pro souměrné vedení je vzájemná vzdálenost mezi všemi vodiči stejná.

$$L_K = \left(0,46 \cdot \log \frac{d_s}{r_e} + 0,05 \right) \cdot 10^{-3} \quad [\text{H} \cdot \text{km}^{-1}] \quad (1.5)$$

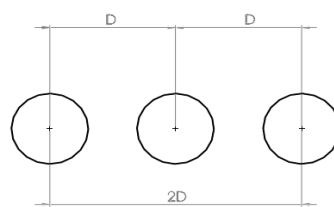
kde L_K je indukčnost vedení na 1 km, d_s je střední vzdálenost mezi vodiči [mm] a r_e je ekvivalentní poloměr vodiče [mm].

$$X_K = \omega \cdot L_K \quad [\Omega \cdot \text{km}^{-1}] \quad (1.6)$$

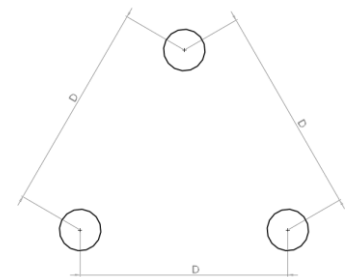
kde X_K je reaktance vedení na 1 km a ω je uhlová rychlost [rad/s]



Obrázek 10: Nesouměrné rozložení



Obrázek 11: Rovinné rozložení



Obrázek 9: Symetrické rozložení vodičů

- Pro souměrné vedení platí:

$$d_s = \sqrt[3]{d \cdot d \cdot d} = d \quad [\text{m}] \quad (1.7)$$

- Pro nesouměrné vedení platí:

$$d_s = \sqrt[3]{d_1 \cdot d_2 \cdot d_3} \quad [\text{m}] \quad (1.8)$$

- Pro vedení v jedné rovině platí:

$$d_s = \sqrt[3]{d \cdot d \cdot 2d} = d \cdot \sqrt[3]{2} \quad [\text{m}] \quad (1.9)$$

kde d je vzdálenost mezi vodiči [m] a d_s je střední vzdálenost mezi vodiči [m].

Dále pak pro přesnější určení indukčnosti musíme brát ohled na poloměr vodiče, tento poloměr vodiče se označuje jako ekvivalentní poloměr. Ekvivalentní poloměr je zpravidla menší než skutečný, například AlFe 4 s průřezem od 70 mm² má ekvivalentní poloměr 0,826 r . Jak je vidět ze vztahu (4), indukčnost vedení zmenšíme tím, když zvětšíme ekvivalentní poloměr. Zvětšením ekvivalentního poloměru docílíme použitím svazkových vodičů. To znamená, že jednu fázi rozdělíme do několika paralelních vodičů, které jsou od sebe udržovány kovovými rozpěrkami ve vzdálenosti 30 - 50 cm. Množství použitých vodičů závisí na napěťové hladině, na které je vedení provozováno. Například pro vedení 400 kV se nejčastěji provádí trojsvazek a pro vedení 220 kV dvojsvazek. Použitím svazkových vodičů je možno induktivní reaktanci snížit až o 26 a 32 %. Snížení induktivní reaktance ale není jediná výhoda, kterou svazkové vodiče přinášejí. Mezi další výhody patří větší proudové zatížení, menší ztráty korónou, menší vliv na telekomunikační zařízení a menší nebezpečí kmitání vodičů. Bohužel použití svazkových vodičů má i své nevýhody, jakými jsou například větší zatížení námrazou a větrem, větší kapacita vedení a v neposlední řadě větší počet vodičů, což znamená dražší stožáry a náročnější montáž. [17][18]

Určení ekvivalentního odporu pro svazkové vodiče:

- Dvojsvazek:

$$r_e = \sqrt{r \cdot a} \quad [\text{mm}] \quad (1.10)$$

- Trojsvazek:

$$r_e = \sqrt[3]{r \cdot a^2} \quad [\text{mm}] \quad (1.11)$$

- Čtyřsvazek:

$$r_e = \sqrt[4]{r \cdot a^3 \cdot \sqrt{2}} \quad [\text{mm}] \quad (1.12)$$

kde a je vzdálenost vodičů od sebe [m], r je skutečný poloměr vodiče [mm],

r_e je ekvivalentní odpor vodiče [mm].

Induktivní reaktance venkovního vedení se přibližně pohybuje od 0,3 do 0,4 $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$, po použití svazkových vodičů se reaktance sníží na hodnotu kolem 0,26 $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$. Kabelové vedení má oproti venkovnímu vedení reaktanci malou a to přibližně 0,1 $\Omega \cdot \text{km}^{-1}$. [17]

1.4.3 Kapacita vedení

Jelikož kondenzátor je složen ze dvou elektrod a dielektrika, můžeme k němu přirovnat elektrické vedení. Vedení totiž obsahuje také elektrody a dielektrikum. Za elektrody můžeme považovat vodiče a zem a za dielektrikum vzduch mezi nimi. Na vedení se vyskytuje kapacita mezi vodičem a zemí a mezi jednotlivými vodiči. Jak je vidět ze vzorce (1.13) zvětšováním r_e , tedy použitím svazkových vodičů dochází ke zvyšování kapacity. [17][18]

$$C_K = \frac{0,0242}{\log \frac{d_s}{r_e}} \cdot 10^{-6} \quad [\text{F} \cdot \text{km}^{-1}] \quad (1.13)$$

kde C_K je kapacita vedení na 1 km, r_e je ekvivalentní odpor vodiče [mm], d_s je střední vzdálenost mezi vodiči [m].

Kapacita vedení se určuje měřením pomocí nabíjecího proudu, což je proud který teče do vedení při stavu naprázdno.

$$I_c = \omega \cdot C_k \cdot l \cdot U_f \quad [\text{A}] \quad (1.14)$$

$$C_k = \frac{I_c}{\omega \cdot l \cdot U_f} \quad [\text{F} \cdot \text{km}^{-1}] \quad (1.15)$$

kde I_c je kapacitní proud [A], C_k je kapacita vedení na 1 km, l je délka vedení [m] a U_f je fázové napětí [V].

1.4.4 Svod

Svod je způsoben nedokonalými izolačními schopnostmi izolátorů. Velikost svodu závisí zejména na vlastnostech izolátoru a provozních a atmosférických podmínkách. Svod může být pak také dále způsoben ztrátami korónou. Jak již bylo řečeno, ztráty svodem vznikají nejčastěji na izolátorech, to je dáno tím, že zejména v průmyslových oblastech vzniká na izolátorech znečištění, které se za nepříznivých provozních a atmosférických podmínek stává vodivým. Toto znečištění snižuje izolační schopnost a na povrchu izolátoru vzniká plazivý neboli povrchový proud. Proto izolátory musí být konstruovány tak, aby jimi proud protékal velmi obtížně. Ztráty, které svod způsobí, jsou činného charakteru. [18][17]

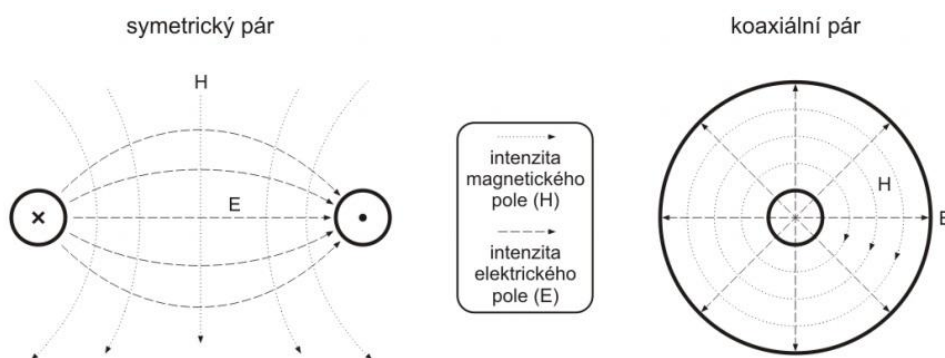
$$G_s = \frac{I_s}{U} \quad [\text{S}] \quad (1.16)$$

kde G_s je svod, I_s je svodový proud [A] a U je napětí [V].

2 Sdělovací vedení

Sdělovací vedení je nejčastěji provedeno metalickými kabely nebo kabely optickými. Metalické kabely jsou důležitým prvkem telekomunikační sítě. Slouží k přenosu elektromagnetického vlnění. Metalické vedení lze považovat za vedení homogenní, což znamená, že má ve všech svých částech stejné elektrické vlastnosti. Tyto vlastnosti lze namodelovat náhradním schématem, toto schéma vypadá obdobně jako u silového vedení. [23]

Sdělovací vedení je nejčastěji provedeno dvojicí souběžných metalických vodičů, tyto vodiče jsou nejčastěji z ocele, mědi, bronzu a hliníku. Vodiče mohou tvořit pár symetrický nebo koaxiální, což znamená, že symetrický pár je tvořen dvojicí paralelních nebo spirálově stočených vodičů a koaxiální pár je tvořen dvojicí souosých vodičů. [23]



Obrázek 12: Provedení metalických kabelů [23]

Sdělovací vedení je dále možné rozdělit podle konstrukčního provedení a umístění na vedení nadzemní, které je symetrické, a vedení kabelové, které je symetrické nebo koaxiální. Dále pak existují kabely podmořské, říční, závěsné, úložné, závlačné. U nadzemních vodičů je největší nevýhodou velký rušivý vliv cizích elektromagnetických polí, který u kabelových vedení takový není, jelikož kabely jsou umístěny cca. 80 cm pod povrchem země. [23]

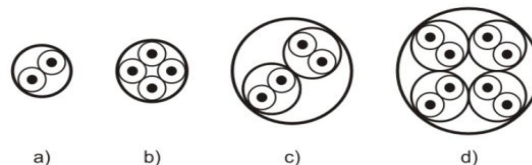
2.1 Symetrický kabel

Symetrické kabely se skládají z většího počtu vzájemně izolovaných vodičů. Izolace žil je plastová na bázi polyetylenu. Tyto vodiče se nazývají duše kabelu, ta je chráněna olověným, hliníkovým nebo plastovým pláštěm, který zabraňuje vnikání vlhkosti, a ocelovým pancířem, který slouží jako elektromagnetické stínění. [23]

a) symetrická pár

b) křížová čtyřka

c) DM čtyřka



Obrázek 13: Uspořádání symetrických kabelů [23]

- **Kabel TCEPKPFLE**

Jedná se o symetrický kabel, který slouží pro vnější telekomunikační sítě a ukládá se do země, kabelových kanálů nebo trubek. Redukční činitel se pohybuje v rozmezí 0,98 - 0,65 v závislosti na průměru duše. [22]



Konstrukce:

- 1 Cu jádro
- 2 Izolace (foam-skin PE), žíly jsou stočené do čtyřek a pětičtyřkových skupin, pětičtyřkové skupiny stočeny do duše kabelu a naplněné vodoblokující hmotou
- 3 Obal (separační páska)
- 4 Stínění (PE Al PE páska)
- 5 Plášť (PE černý, odolný proti UV záření)

Obrázek 14: Kabel TCEPKPFLE [22]

- **Kabel TCEPKPFLEZE**

Tento kabel má velký redukční účinek. Redukční činitel se pohybuje od 0,35 do 0,11 v závislosti na průměru duše. Kabel se umísťuje do země a používá se tam, kde je velké riziko ohrožení účinky střídavých elektromagnetických polí. Ochranný plášť je z PVC, a proto se kabely také umísťují do míst s nebezpečným šířením plamene.[20]

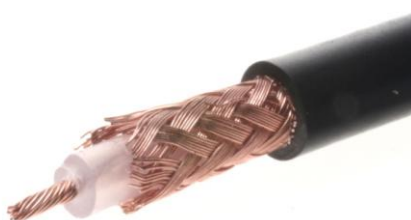


Obrázek 15: Kabel TCEPKPFLEZE [19]

2.2 Koaxiální kabel

Kabely koaxiální jsou tvořeny dvěma vodiči. Skládají se ze středového vodiče a vnějšího vodiče. Souosost zajišťují středící izolační disky. Dielektrikum mezi vodiči může být ze vzduchu, polyetylenu nebo jiných izolačních materiálů. Středový vodič bývá vytvořen nejčastěji z mědi v provedení jako plný drát, spletený z lanek nebo dutý.

Jako materiál pro vnější vodič se nejčastěji používá hliník nebo měď, která se aplikuje v podobě folie nebo opletených vláken. Koaxiální kabely slouží k přenosu elektromagnetického vlnění o vysokém kmitočtu. [21]

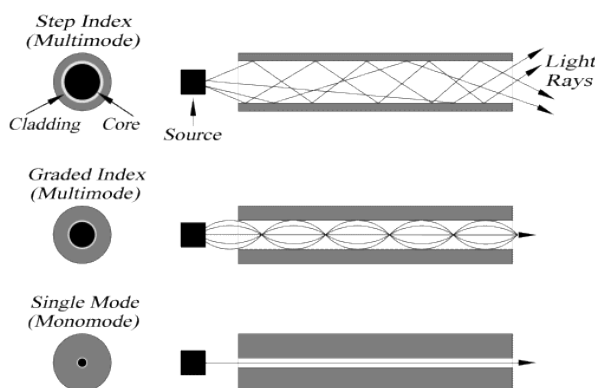


Obrázek 16: Koaxiální kabel [31]

2.3 Optický kabel:

Optický kabel přenáší signál ve formě světla a infračerveného záření. Nejčastěji je tvořen skleněným nebo plastovým vláknem. Jelikož je signál přenášen ve formě světla, je kabel odolný proti veškerým elektromagnetickým rušením. Princip přenosu je založen na úplném odrazu světla na rozhraní dvou prostředí s rozdílným indexem lomu.

Podle změny prostředí rozlišujeme vlákna jednovidová (Single Mode), mnohavidová (Step Index) a gradientní (Gradient Index). Optické kabely se používají k přenosu zejména na velké vzdálenosti, jelikož mají daleko menší útlum než kabely elektrické. Nevýhodou těchto kabelů je náchylnost k mechanickému namáhání a ohybům. [25][24]



Obrázek 17: Typy vláken [32]

3 Norma pro ochranu sdělovacích vedení před nebezpečnými vlivy trojfázových vedení VN, VVN a ZVN

Norma ČSN 33 2160 řeší výpočty vlivu venkovních a kabelových vedení VN, VVN a ZVN na sdělovací vedení a zařízení při provozních a poruchových stavech. Poruchovými stavy jsou myšleny jednofázové a trojfázové zkraty. Přesněji řečeno tato norma stanovuje meze nebezpečných vlivů trojfázového vedení na vedení sdělovací, určuje parametry pro výpočet a způsob výpočtu. Dále pak doporučuje vhodné ochranné opatření sdělovacích vedení a zařízení. Norma neřeší přesné výpočty těchto vlivů, zabývá se pouze jejich kontrolou. To znamená, že výpočty jsou jen orientační a vzorce vychází z empirických vztahů. [33]

Jak již bylo uvedeno, vlivy rozlišujeme na vlivy nebezpečné, ohrožující a rušivé. Nebezpečný vliv znamená, že do sdělovacího vedení se indukují taková napětí a proudy, které mohou být nebezpečné pro pracující na sdělovacím vedení, popř. mohou ohrozit zařízení připojené na vedení. Při ohrožujícím vlivu jsou ohroženy osoby a zařízení. Vlivy rušivé způsobují ohrožení jakosti signálu přenášeným sdělovacím vedením. Tato norma řeší pouze sdělovací vedení, které je umístěno mimo stožár. Norma se tedy nezabývá sdělovacím vedením, jež je umístěno na stejném stožáru jako silové vedení, popř. sdělovacím vedením, které je umístěno v silových vodičích, jako jsou například OPWG vodiče.[33]

Dále pak neřeší:

- atmosférická přepětí, která jsou přenášena přes silové vedení
- křížovatky a souběhy sdělovacích vedení s trojfázovými vedeními VN, VVN a ZVN z hlediska mechanického zajištění vodičů, stožárů apod.,
- nebezpečné vlivy vedení elektrické trakce na sdělovací vedení
- ochranu sdělovacích vedení před vlivy signálu hromadného dálkového ovládní, které jsou přenášeny po trojfázové vedení VN, VVN, ZVN

[33]

Přiblížení sdělovacího a silového vedení se nazývá souběh, to znamená, že vedení jsou v takové vzdálenosti, že ve sdělovacím vedení mohou vzniknout rušivé nebo nebezpečné vlivy. Rozlišujeme souběh rovnoběžný, šikmý a křížovatkový. Souběh složený z těchto úseků se nazývá obecný souběh. Při výpočtech se obecný souběh musí rozdělit na jednotlivé výpočetní úseky (rovnoběžné, šikmé a křížovatkové), kde každý úsek musí splňovat určité podmínky. Velikost výpočetního úseku závisí na činiteli stínění, redukčním činiteli, zdánlivém měrném odporu půdy a dalších veličinách. Pokud tyto veličiny nebudou po celém výpočetním úseku stejné, musí se stanovit kratší výpočetní úseky. Při projektování se samozřejmě musí brát zřetel na to, aby bylo co nejméně křížovatek a souběhů. Cesty sdělovacího vedení je třeba umístit co nejdále a rovnoběžné souběhy musí být co nejkratší. [33]

Jak již bylo uvedeno, největší vliv na sdělovací vedení má silové vedení, na kterém vznikl zkrat jednofázový, trojfázový nebo zemní spojení. Při provozním stavu způsobuje nebezpečný vliv na sdělovací vedení pouze venkovní vedení VVN a ZVN. Nebezpečný vliv na sdělovací vedení dále ovlivňuje to, zda se jedná o sdělovací vedení podzemní nebo nadzemní. Nadzemní sdělovací vedení se dále rozlišuje na vedení s uzemněným kovovým obalem a vedení bez kovového obalu. Nebezpečné vlivy také závisí na provedení silového vedení. Konkrétně se silové vedení rozlišuje na vedení:

- VN - Zařízení s izolovaným středním bodem, nebo se středním bodem uzemněným přes velkou indukčnost,
- VN - Zařízení se středním bodem spojeným se zemí přes činnou rezistenci,
- VVN a ZVN - Zařízení s účinně uzemněným středním bodem.

Dále se pak každé vedení rozlišuje na vedení kabelové a venkovní.

Nebezpečné vlivy se rozlišují na vlivy kapacitní, indukční a galvanické. Z toho kapacitní vliv se projevuje jen u nadzemního sdělovacího vedení s výjimkou závěsných a samonosných kabelů s uzemněným kovovým obalem, indukční vliv se projevuje na všech sdělovacích vedeních a galvanický vliv se může projevit na podzemních sdělovacích vedeních.[33]

3.1 Indukční vliv

Tento vliv vzniká průchodem střídavého proudu silovým vodičem. Kolem tohoto vodiče se vytvoří střídavé vírové magnetické pole. Pokud bude toto pole dost silné, bude docházet k tomu, že siločáry magnetického pole začnou protínat kovové obaly poblíž umístěného sdělovacího vedení. To znamená, že v místě sdělovacího kabelu musí být taková intenzita magnetického pole, aby se vybudil takový magnetický tok, který dokáže naindukovat nebezpečné napětí. [36]

Hlavní příčinou vytvoření takto silného magnetického pole kolem vodiče a následného velkého indukovaného napětí je tedy proud poruchový neboli zkratový. Velikost indukovaného napětí vychází z I. a II. Maxwellovy rovnice, konkrétně z Ampérova zákona a Faradayova indukčního zákona. [36]

- I. Maxwellova rovnice (Ampérův zákon)

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I + \frac{d\psi}{dt} \quad (3.1)$$

- Obecné vyjádření intenzity

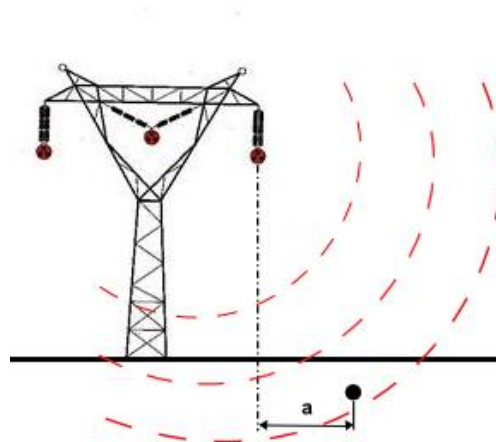
$$\mathbf{H} = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (3.2)$$

- II. Maxwellova rovnice (Faradayův indukční zákon)

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\phi}{dt} \quad (3.3)$$

- Výpočet indukovaného napětí (transformační forma)

$$U_i = -\frac{d\phi}{dt} \quad (3.4)$$



Obrázek 18: Induktivní vliv na sdělovací podzemní vodič, převzato z [7], upraveno

První věc, která se kontroluje, je oblast působení nebezpečného indukčního vlivu, tato oblast se vypočítá ze vzorce:

$$a = 300\sqrt{\varrho_2} \quad [\text{m}] \quad (3.5)$$

kde a je vzájemná vzdálenost vedení [m] a ϱ_2 je zdánlivý měrný odpor půdy v [Ωm]

Když tato podmínka je splněna, to znamená, když je skutečná vzdálenost vedení menší než a , může se přejít ke konkrétním výpočtům indukovaného napětí.

- **Pro jednofázový zkrat na venkovním vedení VN, VVN a ZVN se používá vzorec:**

$$U_i = 3,14 \cdot w \cdot I_K \cdot \sum_{j=1}^n r_v \cdot M \cdot l_j \cdot 10^{-4} \quad [\text{V}] \quad (3.6)$$

kde U_i je indukované napětí [V], w je činitel současnosti (v našem případě 0.7),

I_k je jednofázový zkratový proud tekoucí vedením [A], r_v je výsledný redukční činitel,

M je činitel vzájemné indukčnosti mezi dvěma jednovodičovými okruhy se zpětným vedením zemí [$\mu\text{H/km}$] a l_j - délka j - tého výpočetního úseku [km].

- **Určení redukčního činitele:**

Důležitou veličinou pro určení indukovaného napětí je redukční činitel r_v , redukční činitel se skládá z redukčního činitele silového vedení a sdělovacího vedení. Redukční činitel sdělovacího vedení je činitel, který udává poměr mezi indukovaným napětím, které by se do vedení indukovalo za přítomnosti kompenzačních vodičů a napětím, které se do vedení indukuje bez kompenzačních vodičů. Za kompenzační vodič se považují například zemnicí lana, kovové obaly kabelů, nadložně vodiče, koleje a kovové potrubí. Redukční činitel trojfázového vedení je dán poměrem vektorů proudů I_Z a I_K , což znamená poměr zkratového proudu, který se vrací zemí a celkového zkratového proudu. V obou případech tyto činitele mohou dosahovat maximálně čísla jedna. Výsledný redukční činitel, který se dosazuje do vzorce, je dán součinem těchto dvou činitelů.[33]

- **Určení zkratového proudu:**

Zkratový proud se určuje, tak že se předpokládá, že zkrat vznikne na nejnepříznivějším místě z hlediska ovlivnění sdělovacího vedení.[33]

- **Určení vzájemné indukčnosti:**

Činitel vzájemné indukčnosti se určuje:

- z grafu nebo tabulky, které jsou uvedeny v normě
- z reálné a imaginární složky vektoru činitele vzájemné indukčnosti
- ze vzorců, které jsou uvedeny v příloze

pro určení hodnoty M z grafu se vychází z hodnoty x tato hodnota se vypočítá:

$$x = 0,01987 \cdot a \cdot \sqrt{\frac{1}{\rho}} \quad [-] \quad (3.7)$$

kde a je vzájemná vzdálenost obou okruhů [m], ρ je zdánlivý měrný odpor půdy [Ωm].
[33]

3.1.1 Další indukční vlivy:

- **Indukční vliv při jednofázovém zkratu kabelového vedení VVN a ZVN**

$$U_i = 3,14 \cdot I_K \cdot \sum_{j=1}^n r_v \cdot M \cdot l_j \cdot 10^{-4} \quad [\text{V}] \quad (3.8)$$

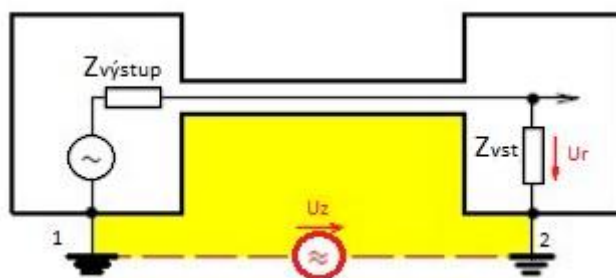
- **Indukční vliv při trojfázovém zkratu kabelového vedení VVN a ZVN**

$$U_i = 3,14 \cdot I_T \cdot r_s \cdot M_T \cdot l \cdot 10^{-4} \quad [\text{V}] \quad (3.9)$$

kde I_T je zkratový proud při symetrickém trojfázovém zkratu [A], r_s je celkový redukční činitel na straně sdělovacího vedení, M_T je činitel vzájemné indukčnosti mezi trojfázovým vedením a vodičem sdělovacího vedení [$\mu\text{H}/\text{km}$] a l je délka j - tého výpočetního úseku souběhu [km]. [33]

3.2 Galvanický vliv

Galvanický vliv neboli galvanická vazba je vazba mezi dvěma elektrickými systémy nebo bloky, u kterých se jejich proudové smyčky uzavírají společnými úseky spojovacích vedení, tedy přes společnou impedanci. Nejčastěji se jedná o impedanci společného napájecího zdroje, společný přívod řídicích obvodů nebo v našem případě o impedanci společného zemnicího systému. Zemní smyčka vzniká při separátním uzemnění ve dvou různých bodech. Při průchodu proudy zemí vzniká mezi těmito body nahodilé rušivé napětí U_Z , toto napětí dále přes uzavřenou zemní smyčku vyvolává na zařízení dvě rušivá napětí U_R . [34]



Obrázek 19: Galvanická vazba - společný zemnicí systém [34]

Výpočet galvanického vlivu se rozlišuje na dva případy. První případ vzájemného ovlivňování nastává při zaústění sdělovacího kabelu do elektrické stanice VVN nebo ZVN, druhý pak při jeho přiblížení k uzemnění elektrického objektu, čímž jsou myšleny stožáry venkovního vedení VVN, ZVN nebo elektrická stanice VVN a ZVN. [33]

- **Galvanický vliv při zaústění sdělovacího kabelu do elektrické stanice VVN a ZVN**

Tento vliv způsobuje jednofázový zkrat na trojfázovém vedení s přímo uzemněným nulovým bodem. Při tomto vlivu je namáhána obvodová izolace sdělovacího kabelu.

Napětí je dáno vztahem:

$$U_g = I_z \cdot R_z \cdot w \cdot r_g \quad [\text{V}] \quad (3.10)$$

kde U_g je napětí, které namáhá obvodovou izolaci [V], I_z je část zkratového proudu, který teče uzemněním elektrické stanice [A], R_z je zemní odpor uzemnění elektrické stanice [Ω], r_g je redukční činitel kabelového pláště při galvanickém vlivu a w je činitel současnosti (0,7).

- **Určení proudu I_Z :**

Proud I_Z se zjistí odečtením trojnásobné nulové složky proudu, který přichází z vlastních transformátorů a proudů, které odcházejí zemními lany od celkového jednopólového zkratového proudu. [33]

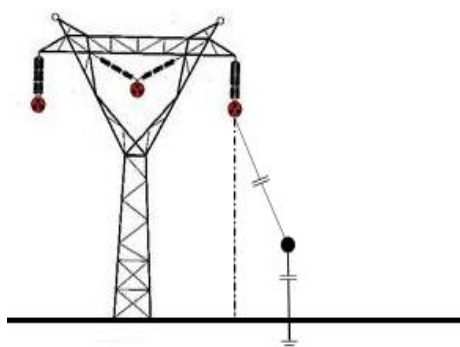
- **Nebezpečný galvanický vliv při přiblížení sdělovacího kabelu k uzemnění energetického objektu při jednofázovém zkratu na venkovním vedení VVN a ZVN**

$$U_g = \frac{2I_Z \cdot Z_k \cdot w \cdot r_g \cdot a}{\pi \cdot a_r} \quad [\text{V}] \quad (3.11)$$

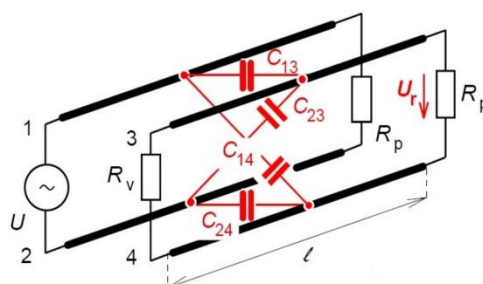
kde U_g je napětí, které namáhá obvodovou izolaci [V], I_Z je část zkratového proudu, který teče uzemněním elektrické stanice [A], Z_k je vstupní impedance energetického objektu [Ω], r_g je redukční činitel kabelového pláště při galvanickém vlivu, w je činitel současnosti (0,7), a je vzdálenost nejzazší části zemniče od stožáru nebo o středu zemní soustavy [m] a a_r je vzdálenost kabelu od stožáru nebo od středu zemní soustavy [m].

3.3 Kapacitní vliv

Kapacitní vliv je způsoben parazitními kapacitami mezi dvěma vodiči nebo obecně mezi dvěma vodivými částmi, které mají rozdílný potenciál. Tento vliv tedy nastává u souběhu silového vedení se sdělovacím. Kapacitní vazba může nastat u galvanicky oddělených obvodů a mezi vedením a zemí. Na obrázku č. 21 jsou vidět dva galvanicky oddělené obvody, kde vodiče jedna a dva znázorňují rušivý obvod a vodiče tři a čtyři obvod, který je rušený. [35]

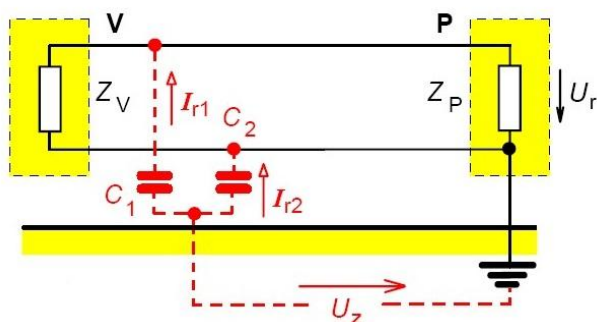


Obrázek 20: Kapacitní vazba na sdělovací vedení
převzato z [7], upraveno



Obrázek 21: Kapacitní vazba mezi dvěma galvanicky oddělenými obvody [35]

Na dalším obrázku č. 22 je vidět kapacitní vazba mezi obvodem a společnou zemí. Průchodem rušivých proudů I_{r1} a I_{r2} se napětí U_z přenáší na výstupní svorky obvodu jako rušivé napětí U_r . [35]



Obrázek 22: Kapacitní vazba se zemí [35]

- **Kapacitní vliv trojfázových vedení s izolovaným nulovým bodem**

Tento kapacitní vliv nastává při spojení jedné fáze se zemí. Toto napětí U_A proti zemi se spočítá ze vztahu:

$$U_A = 0,25 \cdot U \cdot \frac{b \cdot c}{a^2 + b^2 + c^2} \cdot q \cdot \frac{l}{l_v} \quad [\text{V}] \quad (3.12)$$

kde U_A je napětí při kapacitním vlivu [V], U je jmenovité napětí trojfázového vedení [V], a je vzájemná nebo ekvivalentní vzájemná vzdálenost trojfázového a sdělovacího vedení [m], b je střední výška fázových vodičů nad zemí [m], l je délka v souběhu [km], l_v je délka galvanicky nerozděleného úseku sdělovacího vedení [km] a q je výsledný činitel stínění.

Norma udává, že výpočty vlivu se nemusí provádět, pokud je vedení vzdálené více než 100 metrů nebo platí podmínka:

$$a \geq 0,42 \cdot \sqrt{U \cdot \frac{l}{l_v}} \quad [\text{V}] \quad (3.13)$$

- **Kapacitní vliv trojfázového vedení VVN a ZVN s účinně uzemněným nulovým bodem**

Tento vliv vzniká na sdělovacím vedení odizolovaném od země vlivem trojfázového vedení s účinně uzemněným nulovým bodem při provozním stavu. Napětí je dáno vztahem:

$$U_A = \frac{U_f}{k + k_c} \cdot \left[-k_{a1} + \frac{1}{2} \cdot (k_{a2} + k_{a3}) + j \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (k_{a2} - k_{a3}) \right] [\text{V}] \quad (3.14)$$

kde konstanty k jsou dány rozměry, umístěním a vzdálenostmi mezi vodiči.

Při kapacitním vlivu se kontroluje také proud, který by mohl eventuálně protékat lidským tělem při dotyku s vodičem, který se nachází v elektrickém poli silového vedení. Tento proud se udává v mA, a pokud přesahuje meze uvedené v normě, je nutné provést taková ochranná opatření, aby bylo dosaženo zmenšení vlivu. [33]

4 MATLAB

Název MATLAB vychází z anglických slov **matrix laboratory** (maticová laboratoř). Program je vytvářen společností MathWorks. Tento software tvoří interaktivní programové prostředí, kde se používá skriptovací programovací jazyk čtvrté generace. Vlastní programovací jazyk vychází z jazyka Fortran. Program je využitelný v širokém spektru aplikací. Mezi základní funkce, které umožňuje, patří počítání s maticemi, tvorba 2D a 3D grafů, vývoj algoritmů, vytváření aplikací včetně uživatelského rozhraní a modelování a simulace. Jak už název napovídá, v programu se především pracuje s maticemi, jelikož veškeré objekty (čísla, proměnné, obrázky) jsou považovány za maticové prvky. MATLAB je především využíván pro vědecké a akademické účely.[26]

4.1 Základní části MATLABu

- **Výpočetní jádro**

Výpočetní jádro slouží k provádění numerických výpočtů s maticemi reálných či imaginárních čísel. Dále pak MATLAB umožňuje pracovat i s tzv. poli buněk. Pole buněk je struktura podobná maticím, kde jednotlivé prvky jsou rozlišeny jménem a mohou být jiného typu, oproti maticím, kde jsou prvky dány souřadnicemi a jsou všechny typu stejného.

- **Grafický subsystém**

Slouží k zobrazení výsledků, dále pak k práci s grafy 2D či 3D.

- **Pracovní nástroje**

Tyto nástroje slouží k úplnému programování aplikací a ladění zdrojových kódů. MATLAB také umožňuje tvorbu grafických prvků, jako jsou tlačítka, menu, zatržítka a spousta dalších.

- **Toolboxy**

Toolboxy jsou přidané knihovny funkcí, které rozšiřují funkce MATLABu . Tyto knihovny jsou orientovány na konkrétní vědní a technické obory (ekonomika, elektrotechnika ...)

- **Simulink**

Simulink tvoří samostatnou část systému a je velmi efektivní nadstavbou programu. Je to program, který provádí simulace dynamických systémů a k jejím řešením využívá MATLAB. V simulinku se pracuje s grafickými bloky, které nahrazují jednotlivé funkce a příkazy. Tyto bloky mezi sebou lze spojovat, napojovat na zdroje dat atd. [26]

4.2 M - file

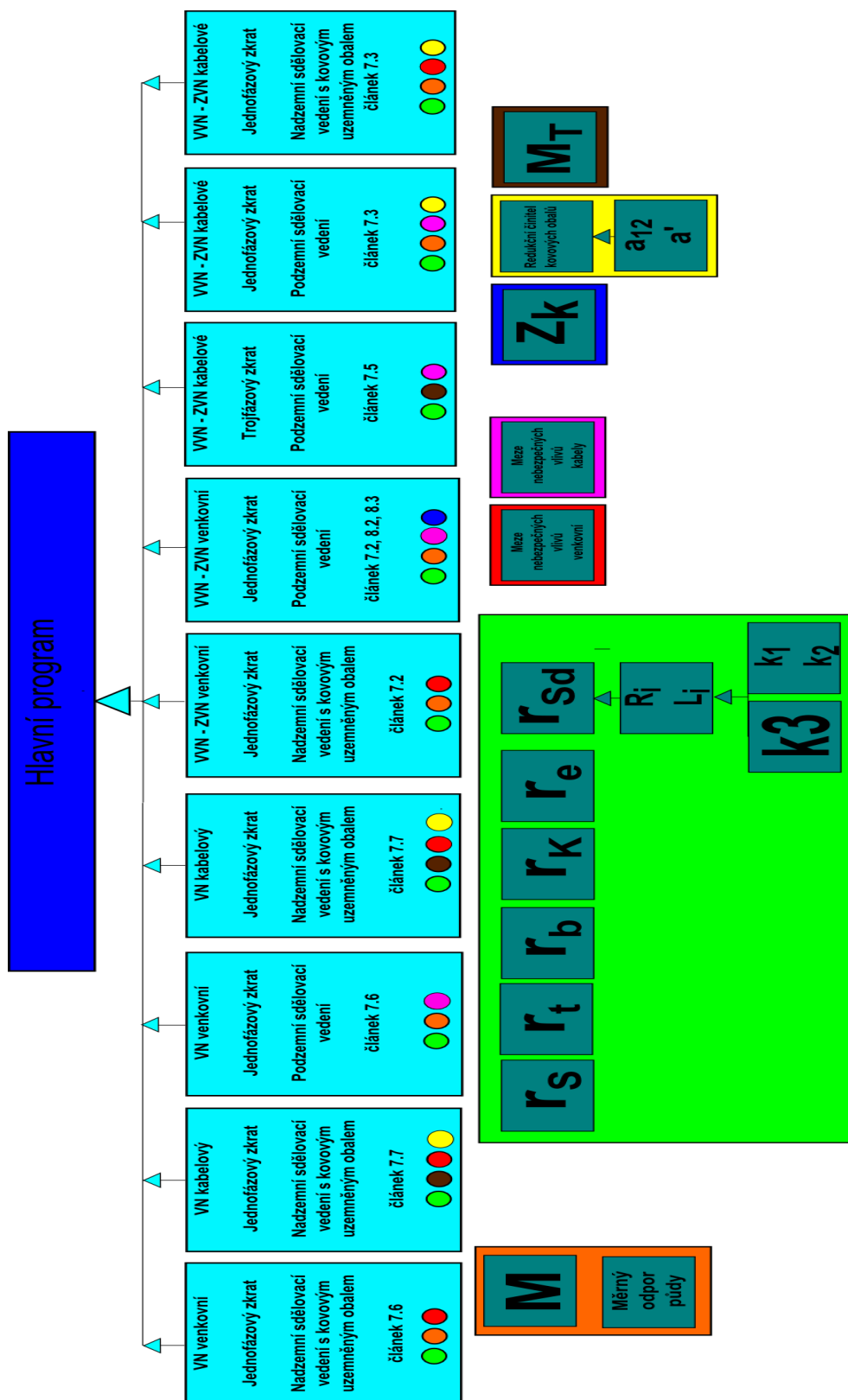
Tyto soubory tvoří definice funkcí a skriptů tzv. zdrojový text. Hotové funkce či skripty se ukládají na pevný disk s koncovkou m, proto tzv. m - files. M - soubory tvoříme především proto, abychom měli text zachován i v případě vypnutí systému.. V hlavičce funkce se uvádějí výstupní hodnoty, název a vstupní parametry. Počet vstupních a výstupních parametrů je libovolný.[27]

4.3 Prostředí GUIDE

Jedná se o grafické interaktivní vývojové prostředí, které obsahuje všechny grafické objekty typu uicontrol, jakou jsou tlačítka, zatržítka, menu, okna atd.. Toto prostředí po vytvoření vzhledu automaticky generuje zdrojový kód pro ovládání jednotlivých prvků. Tento kód je uložen do souboru *.m, dále je pak vzhled GUI ještě uložen do souboru s příponou *.fig. V tomto prostředí lze velice snadno měnit umístění, velikost, barvu a spoustu dalších parametrů jednotlivých prvků. [27]

5 Program pro výpočet vlivu trojfázového vedení na sdělovací vedení

Vytvořil jsem program s názvem DANGIN Calculation (**d**angerous **i**nfluence), který slouží pro výpočet naindukovaného napětí do sdělovacího vedení. Toto napětí se indukuje do kovových obalů sdělovacích kabelů. Dále tento program zároveň vyhodnocuje, zda je možné vedení v takovéto vzdálenosti provozovat. Tento program se skládá z 26 funkcí, které se navzájem volají. Celkový program se dělí na 17 menších funkcí, které slouží většinou pro určení činitelů, které jsou zjištěny pomocí tabulky, grafů nebo pomocí výpočtů. Program dále obsahuje devět středních funkcí, které řeší konkrétní silové a sdělovací vedení. Tyto funkce pro svůj chod využívají právě zmíněné menší funkce. V těchto funkcích dochází k vyhodnocení a výpočtu naindukovaného napětí. Poslední funkce, kterou jsem nazval hlavní, slouží k vytvoření grafického rozhraní, tato funkce volá jednotlivé střední funkce, které jsou přiřazeny k jednotlivým tlačítkům. Blokové uspořádání programu je vidět na obrázku č. 23. K vytvoření tohoto programu mi posloužil software od americké společnosti MathWorks, který se jmenuje MATLAB.



Obrázek 23: Blokové schéma programu

5.1 funkce

Mnou napsaná hlavní funkce slouží k vytvoření grafického rozhraní. Vytvořil jsem ji pomocí prostředí GUIDE. Uspořádání jednotlivých bloků je provedeno tak, aby připomínalo část tabulky v normě [33], ze které jsem čerpal. Tato funkce je tedy poskládaná z grafických prvků a to konkrétně z Static text a Push button. Prvek Static text jsem využil jak k vytvoření nadpisů, tak k zobrazení výsledků, které se do okna po dokončení výpočtu odešlou. Prvek Push button funguje jako tlačítko, pomocí kterého se vybere konkrétní vliv, který chceme spočítat. Vzhled programu a rozmístění jednotlivých prvků je vidět na obrázku č. 24.

Vliv 3f vedení na sdělovací vedení						
Druh trojfázového zařízení	Druh vedení	Stav silového vedení	Nadzemní sdělovací vedení s kovovým uzemněným obalem		Podzemní sdělovací vedení	Vyhodnocení
			vliv	článek	vliv	článek
Zařízení se středním bodem spojeným se zemí přes činnou rezistenci	VII - venkovní	provozní stav jednofázový trojfázový zkrat	indukční	7.6	indukční	7.6
	VII - kabelový	provozní stav jednofázový trojfázový zkrat	indukční	7.7	indukční	7.7
Zařízení s účinně uzemněným středním bodem	VVII a ZVII venkovní	provozní stav jednofázový trojfázový zkrat	indukční	7.2	indukční a galvanický	7.2, 8.2, a 8.3
	VVII a ZVII kabelový	provozní stav jednofázový trojfázový zkrat	indukční	7.2	indukční	7.3
					indukční	7.5
						Hodnota indukovaného napětí

Obrázek 24: Vzhled programu

Na obrázku č. 25 je vidět část hlavní funkce, tato část provádí to, že po stisku tlačítka 14 funkce zavolá střední funkci s výstupními parametry U_{i1} a $x1$. Jelikož U_{i1} je číselná hodnota, musí se převést na textový řetězec, aby se mohla nahrát do prvku Static text, v našem případě od textu110. Parametr $x1$ se již převádět nemusí, jelikož už se jako textový řetězec zapisuje ve funkci `meze_nebezpečných_vlivů`. Takovéto uspořádání je provedeno u každého tlačítka

```
function pushbutton14_Callback(hObject, eventdata, handles)

    [U_i1,x1]=vvn_venkovni_1f_zkrat_nad_kov_obal31;

    Ui = num2str(U_i1);

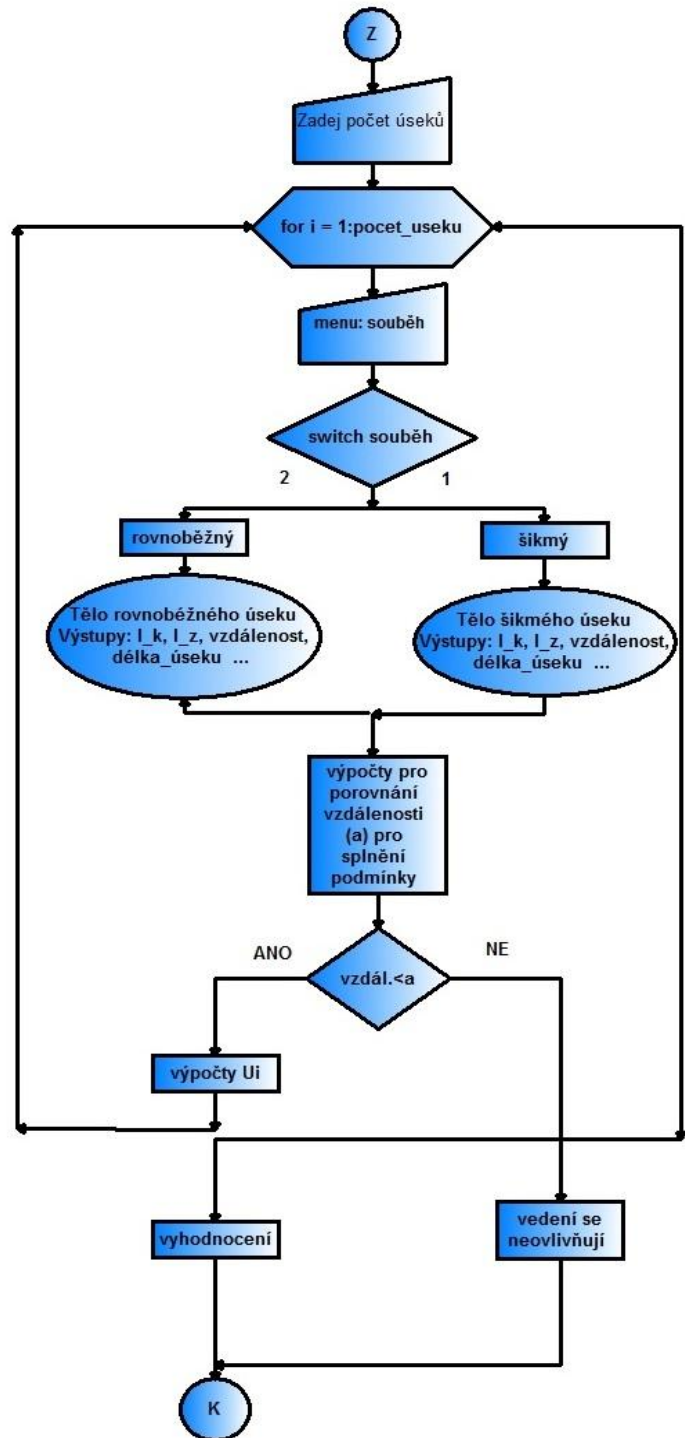
    set(handles.text110, 'string',Ui)
    set(handles.text112, 'string',x1)
```

Obrázek 25: Část hlavní funkce

5.2 Střední funkce

Střední funkce slouží k výpočtu a vyhodnocení nebezpečného vlivu. Většinou mají i ostatní funkce podobnou kostru. Příklad algoritmu jsem zachytil pomocí

vývojového diagramu, který je na obrázku č. 26. Po kliknutí na tlačítko v hlavní funkci, skočí program do funkce střední. První proměnnou, kterou bude funkce po uživateli požadovat je počet úseků. Tento počet úseků je myšlen tak, aby se od sebe rozlišily úseky s rozdílnými parametry. Úseky se rozdělují podle půdy, kompenzačních vodičů nebo podle souběhu (viz kapitola 3). Proto je třeba jednotlivé úseky rozlišovat a uživatel si předem musí uvědomit, na kolik úseků se bude souběh rozdělovat. Tento počet úseků je vstupním parametrem pro cyklus, který opakuje výpočty, dokud se nespočítají indukovaná napětí pro všechny úseky. Po vstupu do cyklu se zobrazí okno menu, na kterém uživatel vybere typ souběhu. Pomocí řídicích příkazů se vybere požadovaný souběh, v němž jsou zadány proměnné pro výpočet indukovaného napětí, jako jsou například zkratové proudy, vzdálenost od silového vedení a délka úseku. Zjištěná vzdálenost se porovná s vypočtenou vzdáleností a , která určuje, zda se vedení budou



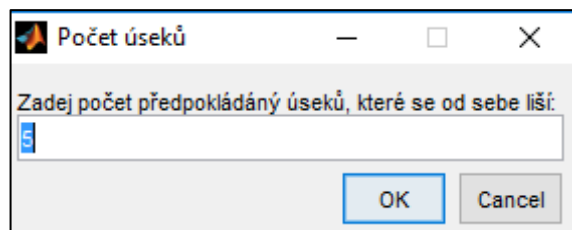
Obrázek 26: Obecný vývojový diagram

například zkratové proudy, vzdálenost od silového vedení a délka úseku. Zjištěná vzdálenost se porovná s vypočtenou vzdáleností a , která určuje, zda se vedení budou

ovlivňovat či ne. K vypočtení této vzdálenosti je potřeba znát měrný odpor půdy. Výběr půdy je proveden pomocí funkce menu a následných řídicích příkazů. Pokud se při porovnání vzdáleností zjistí, že podmínka není splněna, funkce vypíše, že se vedení neovlivňuje a přejde na konec. V opačném případě dojde ke zjišťování redukčních činitelů, vzájemné indukčnosti a následnému výpočtu indukovaného napětí. Po skončení cyklu, dojde k sečtení jednotlivých napětí. Celkové naindukované napětí se odešle do funkce `meze_nebezpečných_vlivů`, kde se vyhodnotí, zda se vedení bude moci provozovat, popř. jaké opatření se musí provést, aby se provozovat mohlo. Hodnota naindukovaného napětí i hlášení o provozu, bude následně vyobrazeno v bílých oknech v hlavní funkci.

5.2.1 Zadávání proměnných

Pro zadávání proměnných se využívají dialogová okna. Mezi vstupní parametry těchto oken patří textový řetězec, název, počet řádků a předem vložená hodnota. Do těchto oken je třeba



Obrázek 27: Dialogové okno

čísla zadávat jako textové řetězce. Jelikož ale pro výpočty potřebujeme číselnou hodnotu, je po odebrání textu z klávesnice, text opět převeden na právě číselnou hodnotu. Celý zápis pro vytvoření dialogového okna je uveden na obrázku č. 28 .

```
pocet_useku = sprintf('Zadej počet předpokládáný úseků, které se od sebe liší: ');%za

    zprava11 = {pocet_useku};
    nazev11 = 'Počet úseků';
    pocet_radek11 = 1;
    predvolba11 = {'5'};

    dial_okno11 = char(inputdlg(zprava11, nazev11, pocet_radek11, predvolba11));

if strcmp(dial_okno11, ''); % porovnaní retezce dial_okno s prazdnym retezcem
    return;
end;

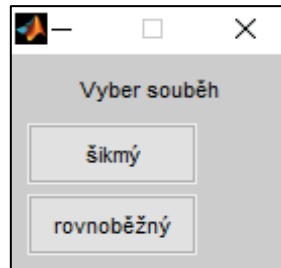
    pocet_useku= str2num(dial_okno11(1,:));
```

Obrázek 28: Zápis dialogového okna v MATLABu

Výběr hodnot z tabulek je proveden pomocí nabídky menu a řídicích příkazů. Grafické zobrazení lze vidět na obrázku č. 29 a č. 30.

```
soubeh = menu('Vyber souběh', 'šikmý', 'rovnoběžný');
```

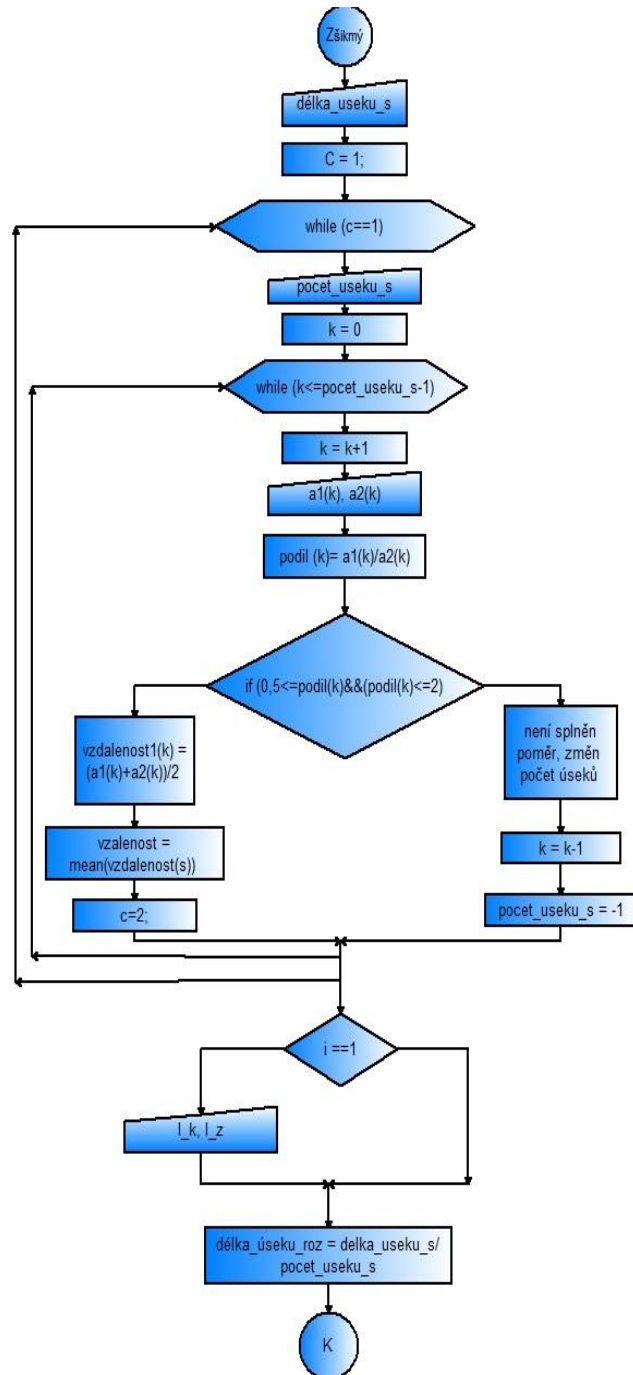
Obrázek 29: Zápis funkce menu do MATLABu



Obrázek 30: Grafické zobrazení funkce menu

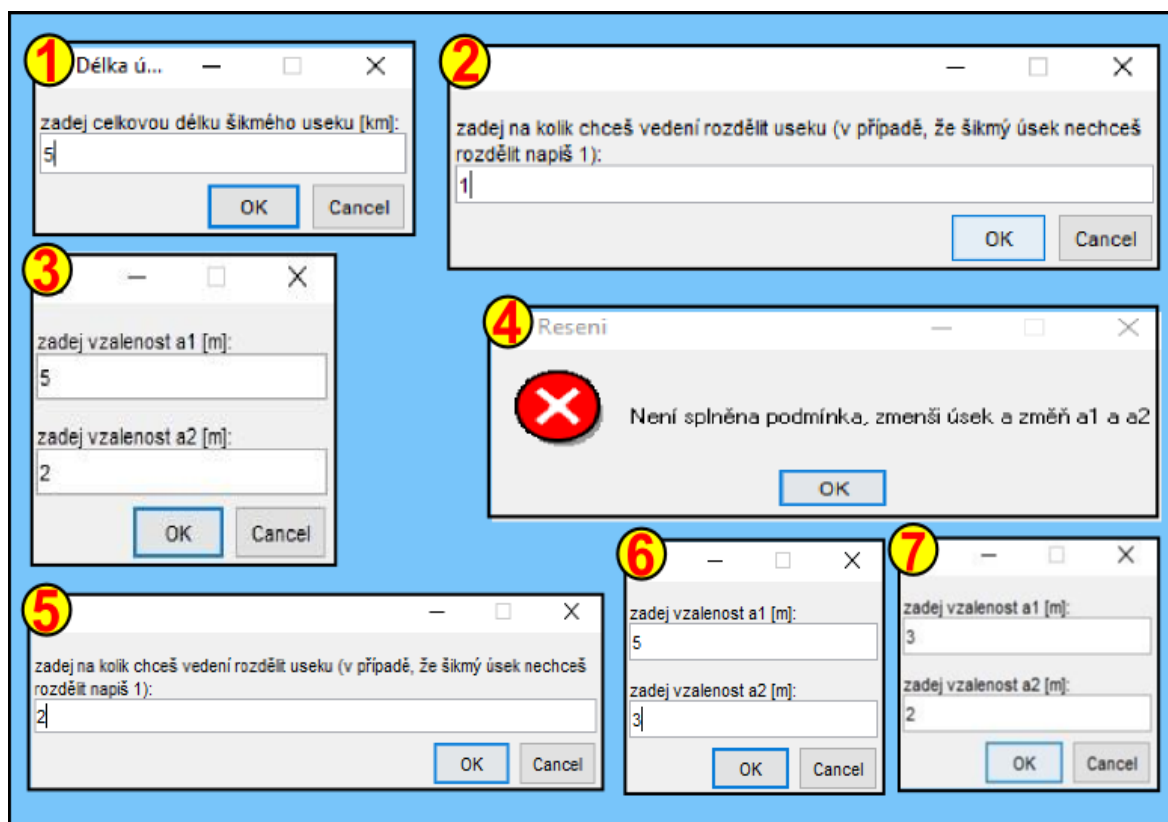
5.2.2 Šikmý souběh

Nyní blíže popíšu šikmý souběh. Tento souběh je složitější tím, že vzdálenost sdělovacího vedení od silového se počítá z průměru vzdáleností na začátku a konci souběhu. Ovšem, pokud tyto dvě vzdálenosti bude uživatel chtít zprůměrovat, musí splňovat určitou podmínku a to takovou, že tyto vzdálenosti, musí být v určitém poměru. Tento poměr musí patřit do intervalu $\langle 0.5, 2 \rangle$. Jak je vidět z vývojového diagramu, na začátku uživatel zadá délku šikmého úseku, pokud se bude tento šikmý úsek ještě dělit, bude uživatel nucen tuto vzdálenost rozdělit na n rovnoměrných částí. K rozdělení bude uživatel vyzván, pokud nebude splněn výše uvedený poměr. Proto další proměnnou, kterou program po uživateli požaduje je, počet šikmých úseků, pokud se ale šikmý úsek dělit nebude, do dialogového okna se zadá číslo 1.. V dalším kroku bude funkce po uživateli požadovat proměnné nezbytné pro spočítání důležité podmínky a následně střední vzdálenosti od silového vedení, a to proměnné a_1 a a_2 , to jsou vzdálenosti na začátku a na konci souběhu, které bude uživatel zadávat tolikrát, kolik si stanoví šikmých úseků. Výsledkem proměnných a_1 a a_2 jsou vektory, které mají tolik prvků, kolik je zadaných šikmých úseků. S prvky těchto vektorů se následně spočítá podíl a jednotlivé



Obrázek 31: Tělo šikmého souběhu

složky se budou porovnávat podle uvedené podmínky. Pokud tato podmínka není splněna, alespoň u jedné složky vektoru postupuje funkce do pravé větve, která zajistí, že uživatel bude muset navýšit počet šikmých úseků a zadávání vzdáleností proběhne znovu. Přičemž při nesplnění poměru se uživateli ukáže upozornění, které je vidět na obrázku č. 32. Při splnění uvedené podmínky, uživatel postupuje do levé větve, kde se každý z úseků zprůměruje a tyto průměry se pak následně znovu zprůměrují. Jestliže je vzdálenost spočítaná, objeví se uživateli tabulka pro zadání proudů, tato tabulka se zobrazí pouze tehdy, když se jedná o počítání prvního úseku, respektive pokud už uživatel zadával proudy například v rovnoběžném úseku, program už po něm znovu proudy požadovat nebude. V posledním kroku dochází už jen ke spočítání jednotlivých délek nově rozdělených šikmých úseků.



Obrázek 32: Postup při nesprávném zadání poměru vzdáleností

5.3 Malé a pomocné funkce

Tyto funkce slouží převážně k určení různých činitelů z tabulek, grafů a popř. dopočítání pomocí výpočtů. Největší zastoupení mají redukční činitele sdělovacího vedení. Tyto činitele se volí podle tabulky, ovšem vyskytují se zde i mnohdy složitější výpočty.

Jak již bylo řečeno, hodnoty z tabulek se vybírají pomocí menu. Například redukční činitel sdělovacího vedení pro různé typy kabelů si uživatel nejčastěji volí v závislosti na velikosti průměru vodiče, popřípadě u některých kabelů může být výběr ještě pomocí podélného napětí. Na obrázku č. 33 je výběr redukčního činitele sdělovacího vedení v závislosti na průměru kabelu nad pláštěm. Rozdělení je provedeno podle tabulek, které patří vždy různým kabelům. Těchto tabulek se v normě [33] nachází osm, jestliže uživatel zadá průměr, který se nenachází v tabulkách, je uživatel vyzván, aby zadal novou hodnotu. Další funkce a jejich parametry jsou stručně popsány v příloze A.

Tabulka 5: Redukční činitel pro kabely DCQ a TCKQ [33]

Průměr kabelu na pláštěm	do 20	21 - 30	31 - 40	41 - 50	51 - 60	61 - 70
Redukční činitel	0,95	0,85	0,82	0,72	0,62	0,54

```

switch typ_kabelu
case 1
  if (prumer_kabelu_nad_plastem<=20)
    rs1=0.95;
    w = 2;
  elseif (prumer_kabelu_nad_plastem>20)&& (prumer_kabelu_nad_plastem<=30);
    rs1=0.85;
    w = 2;
  elseif (prumer_kabelu_nad_plastem>30)&& (prumer_kabelu_nad_plastem<=40);
    rs1=0.82;
    w = 2;
  elseif (prumer_kabelu_nad_plastem>40)&& (prumer_kabelu_nad_plastem<=50);
    rs1=0.727;
    w = 2;
  elseif (prumer_kabelu_nad_plastem>50)&& (prumer_kabelu_nad_plastem<=60);
    rs1=0.62;
    w = 2;
  elseif (prumer_kabelu_nad_plastem>60)&& (prumer_kabelu_nad_plastem<=70);
    rs1=0.54;
    w = 2;
  elseif (prumer_kabelu_nad_plastem>70)|| (prumer_kabelu_nad_plastem<0);
    x= sprintf('Hodnota průměru musí být menší než 70 a větší než 0')
    msgbox(x, 'Hlášení', 'error')
    w=1;
  end

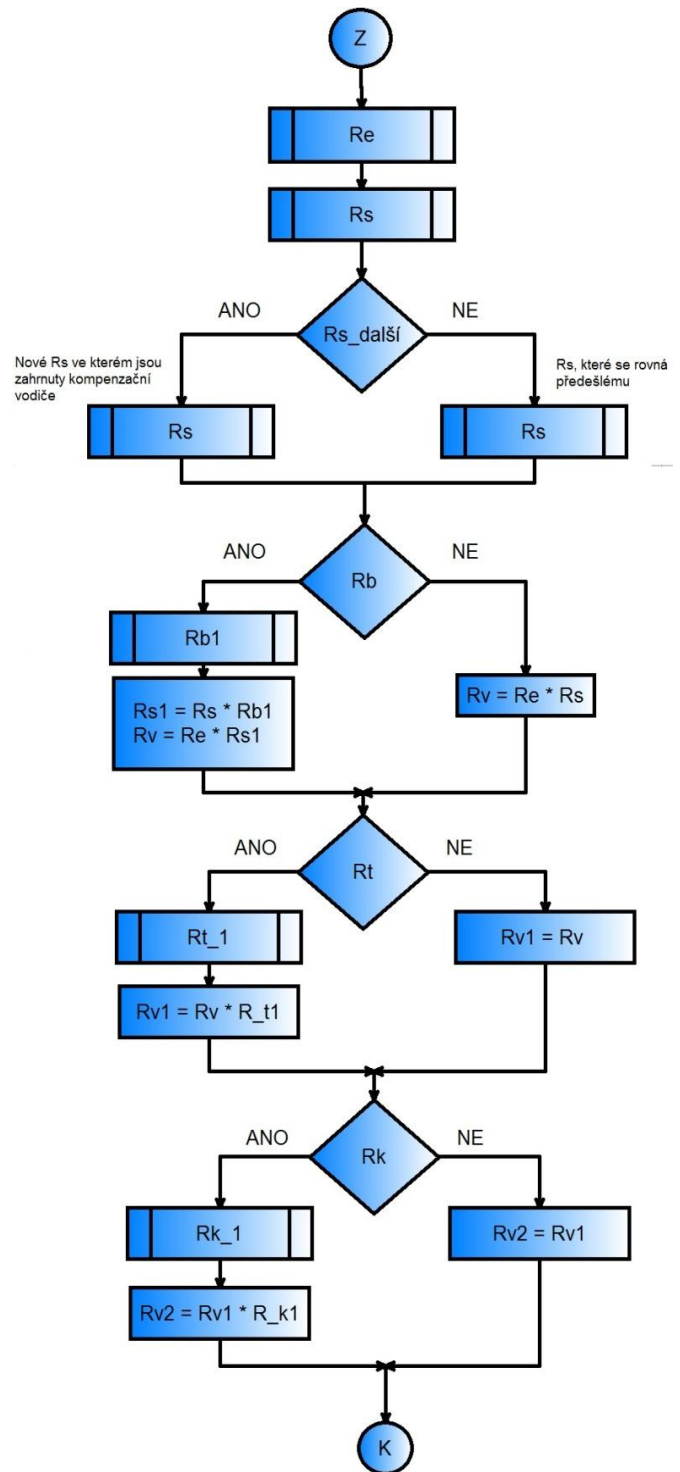
```

Obrázek 33: Výběr redukčního činitele

5.3.1 Výpočet celkového redukčního činitele

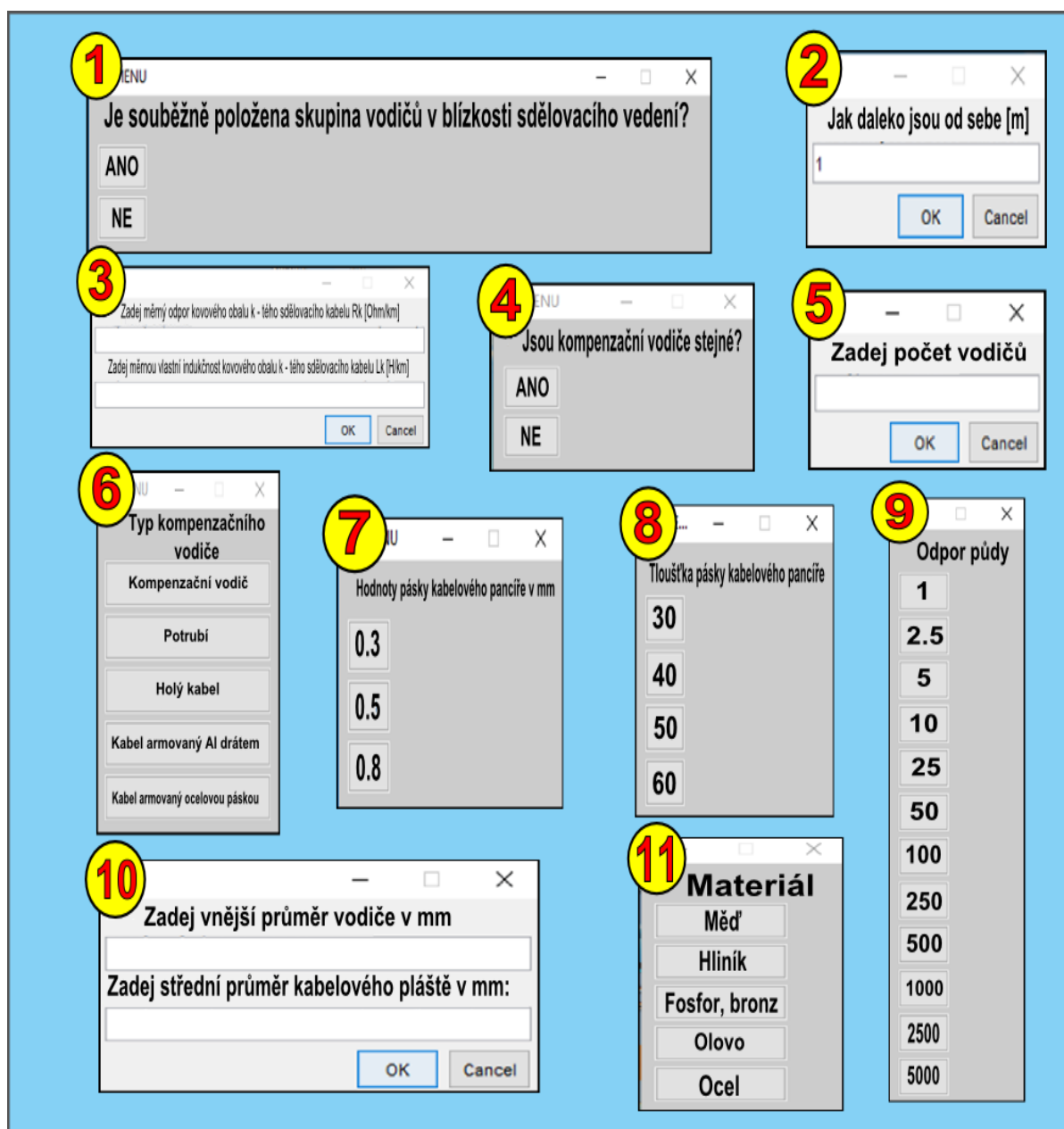
Jak je vidět na obrázku č. 34 je vývojový diagram, který zobrazuje provázanost mezi jednotlivými redukčními činiteli. Výsledný redukční činitel se podle normy určí ze vzorce: $R_v = R_e \cdot R_s$ kde R_e je redukční činitel silového vedení a R_s je redukční činitel sdělovacího vedení. Redukční činitel sdělovacího vedení se může skládat z více redukčních činitelů, pomocí kterých může dosáhnout větších redukčních účinků. Tento činitel se tedy může skládat z latentního redukčního činitele, redukčního činitele kovové trubky, redukčního činitele kolejí a v neposlední řadě z redukčního činitele kompenzačních vodičů. Výsledný vztah je dán vzorcem: $R_s = R'_s \cdot R_b \cdot R_k \cdot R_t$ Tento vztah tedy odpovídá výpočtům ve vývojovém diagramu.

Když se blíže podívám na vývojový diagram, je vidět, že ho tvoří čtyři podmínky. Tyto podmínky uživateli umožňují rozhodnout se, kolik činitelů se na daném úseku použije. Na začátku diagramu proběhne zavolání funkcí, které zjistí činitele R_e a R_s . V dalším kroku už uživatel volí, zda na daném úseku chce s těmito konkrétními redukčními činiteli počítat nebo ne. Pokud se rozhodne konkrétní redukční činitel do výpočtů zahrnout, v nabídce menu klikne na políčko ANO.

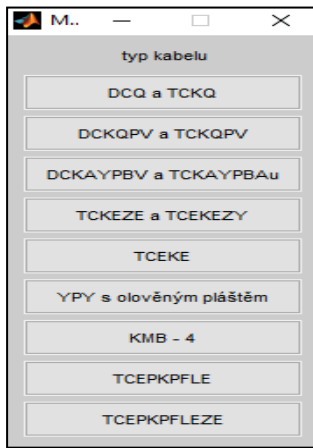


Obrázek 34: Výpočet redukčního činitele

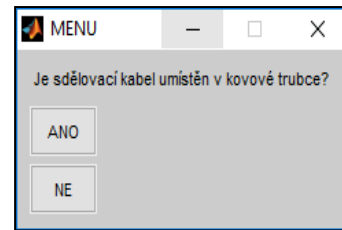
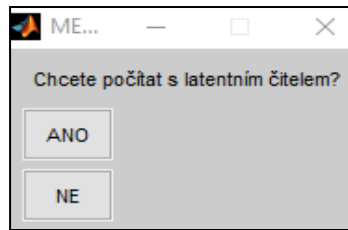
Program skočí do levé větve podmínky (viz vývojový diagram), kde se nejprve zavolá funkce, do které zadáme požadované parametry, a následně se spočítá požadovaný redukční činitel. Tento činitel se vždy vynásobí s předešlou proměnnou. Takto to jde až do poslední podmínky, ve které se konečný redukční činitel, se kterým se počítá v hlavním vzorci, uloží do proměnné R_{V2} .



Obrázek 35: Postup při výpočtu redukčního činitele s kompenzačními vodiči



Obrázek 37: Volba Rb



Obrázek 36: Volba Rt

Obrázek 38: Výběr sdělovacího vodiče

5.3.2 Určení činitele vzájemné indukčnosti M

Jak již bylo řečeno v teoretické části, činitel vzájemné indukčnosti byl zjišťován nejčastěji z grafu. Pouze pro několik případů se určoval z tabulky. Z grafu jsem vybral jen konkrétní hodnoty, které spadají do stanovených intervalů. Funkce má výstupní parametr M a vstupní parametr x . Parametr x se počítá ve střední funkci, odešle se do této funkce a zpět do střední funkce už se odešle jen M , které se pak dosazuje do konečného vzorce pro indukované napětí. Jak je vidět na obrázku č. 39, graf z počátku strmě narůstá, proto je důležité na strmém úseku volit kratší intervaly. Další funkce jsou stručně popsány v příloze A.

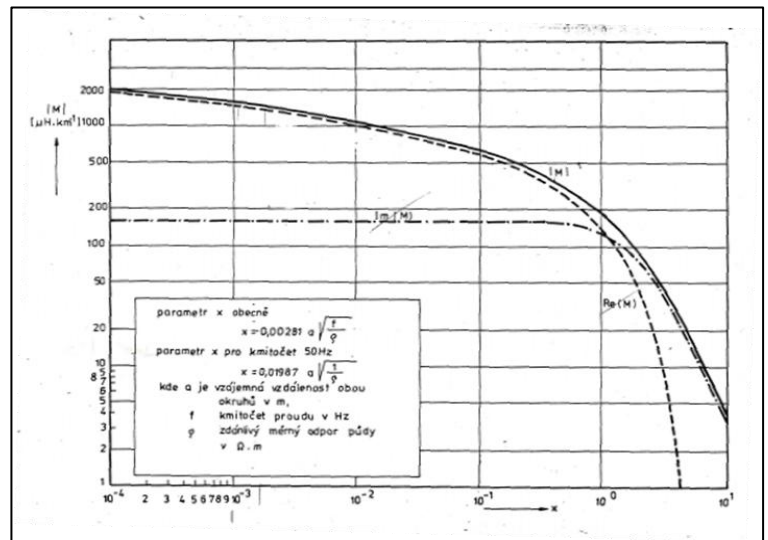
```
function M = vzajemna_indukcnost (x)
    if (x>10)
        M = 1;

    elseif (x<=10)&&(x>=9)
        M=5;
        disp('M je 5')

    elseif (x<=9)&&(x>=8)
        M=7;
        disp('M je 7')

    elseif (x<=8)&&(x>=7)
        M=20;
        disp('M je 20')
```

Obrázek 40: Část funkce pro výběr M



Obrázek 39: Graf pro stanovení M [33]

```
d= 0.01987* vzdalenost * (1/r)^(1/2);
m = vzajemna_indukcnost(d);
```

Obrázek 41: Volání funkce vzájemná_indukcnost ve střední funkci

5.4 Výpočet indukovaného napětí a následné vyhodnocení

Velikost indukovaného napětí je stanovena pomocí vzorců, které jsou uvedené v normě [33]. V normě se opakují tři vzorce, které slouží k výpočtu indukovaného napětí na jednotlivých vedeních, tyto vzorce se od sebe nepatrně liší. Mimo vzorců při indukčním vlivu jsem do programu zařadil i vzorce pro určení galvanického vlivu. Pro výpočet napětí při tomto vlivu jsou v normě uvedeny vzorce dva pro dva různé případy. Avšak galvanický vliv se počítá jen u jednoho typu vedení, proto ho zde popisovat nebudu. Zaměřím se na výpočet indukčního vlivu, pomocí vzorce, který se ve výpočtech používá nejčastěji. A to je vzorec:

$$U_i = 3,14 \cdot w \cdot I_K \cdot \sum_{j=1}^n r_v \cdot M \cdot l_j \cdot 10^{-4} \quad [\text{V}] \quad (5.1)$$

Na obrázku č. 42 je vidět součet rozdílných parametrů pro jednotlivé úseky. Výsledkem je vektor, který má takový počet prvků, kolik uživatel zadal úseků. Na obrázku č. 42 je také vidět výpočet napětí pro šikmý úsek. Tento výpočet představuje to, že pokud dojde ještě k dělení šikmého souběhu, sečtou se ještě výsledky na každém jednotlivém šikmém úseku. Tato napětí se poté všechny sečtou a uloží se do stejného vektoru jako v případě pro rovnoběžný souběh.

```
if (soubeh == 1)
    for j=1:pocet_useku_s
        U(j)=Rv2*m*delka_useku_roz*10^(-4);
    end
    U1(i)=sum(U);
else
    U1(i)=Rv2*m*delka_useku*10^(-4);
end
```

Obrázek 42: Výpočet sumy

Na druhém obrázku č. 43 je vidět závěrečný výpočet indukovaného napětí, jenž už se provádí pouze jednou. Po sečtení vektoru dojde k vynásobení U_1 tím, co se ve vzorci nachází před sumou. Tento konečný výsledek se uvede do absolutní hodnoty, to je tak provedeno, protože toto napětí se dále porovnává s mezními napětími ve funkci `meze_nebezpečnych_vlivu`. Z této funkce se zpět odešle parametr x do hlavní funkce. Parametr x je textový řetězec, který říká, zda se vedení může provozovat nebo ne. Tento parametr se zobrazuje v bílém okně v hlavní funkci.

```
end
%%stanovení výsledku
    U_i1 =sum(U1);

    U_i2=3.14*0.7*I_k;

    U_i = U_i1*U_i2;
    U_i = abs(U_i);
    disp(U_i);

    ui = sprintf('Cislo se vypocetlo. Je to %d',U_i);
    msgbox(ui, 'Reseni', 'help');

    [x] = meze_nebezpečnych_vlivu (U_i);
```

Obrázek 43: Konečný výpočet indukovaného napětí

5.5 Příklad z praxe

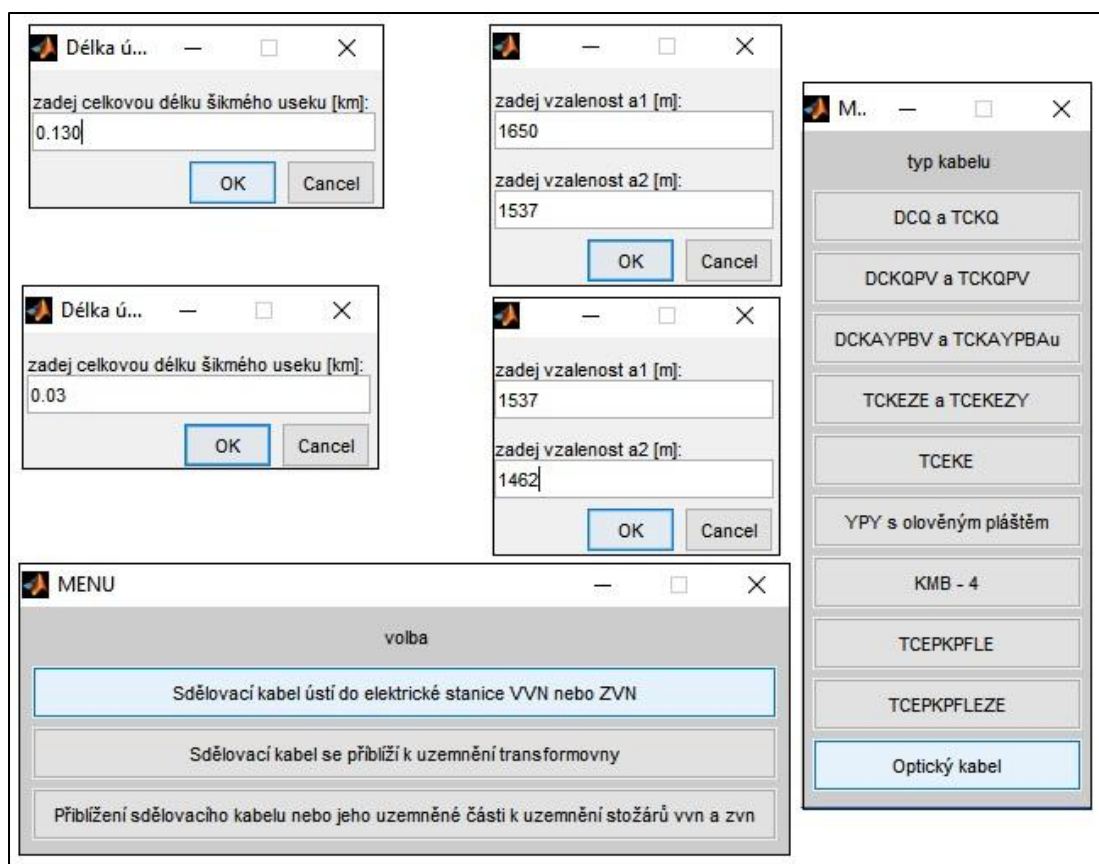
Při stavbě nové rozvodny byl řešen vliv venkovního vedení 110 kV na sdělovací optický kabel s kovovými prvky. V dotčené oblasti se nalézají převážně tyto zeminy a horniny: jíl, písčité jíl a jílovité. Hladina spodní vody byla zjištěna v malé hloubce pod povrchem, tj. do 10 m, tedy lze podle poznámky k tabulce 7 uvažovat nižší hodnoty zdánlivého měrného odporu půdy.

Podle článku 5.7 [33] je rozsah požadovaných výpočtů nebezpečných vlivů pro jednotlivé druhy trojfázových vedení a sdělovacích vedení uveden v tabulce 3, která podléhá změně 2 příslušné normy [33].

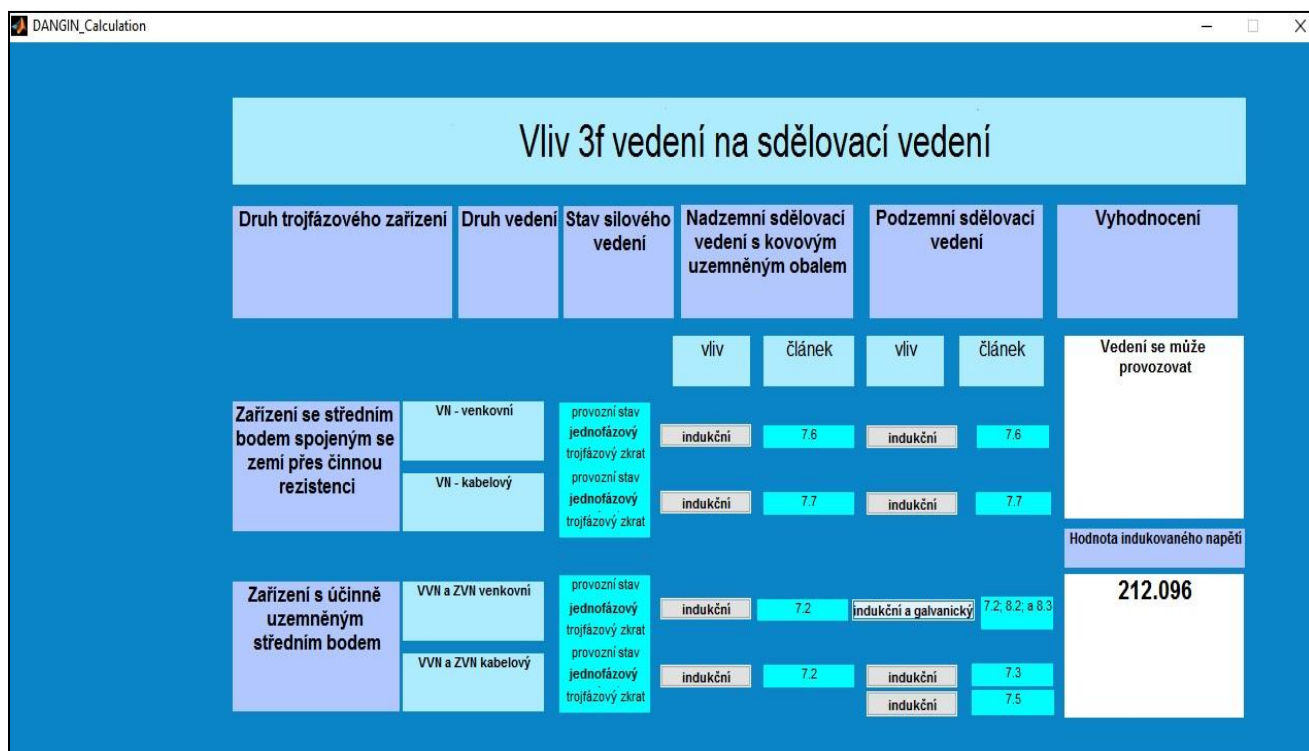
Vliv venkovní trojfázové sítě 110 kV provedené vodiči 2 x AlFe 243 na podzemní sdělovací vedení je podle tabulky 3 [33] indukční a galvanický a výpočet se provádí v případě jednofázového zkratu.

Pro činitel současnosti ω podle 7.2.2 [33] se při výpočtu připouští použít hodnotu 0,7. Jednofázový zkratový proud je určen 6,1 kA. Nastavení zkratových ochran, které je v rozmezí 0 ÷ 0,3 s. Jedná se o šikmý souběh složený z dvou úseků o vzdálenostech 130 a 30 m. Vzdálenost od sdělovacího kabelu prvního úseku je 1650 m a 1537 m, vzdálenost druhého úseku je 1537 m a 1462 m. V prostoru je vybudována společná uzemňovací soustava (mřížová síť) provedena páskem 2 x FeZn30/4. Ekvivalentní poloměr zemnicí soustavy $a = 36,9$ m byl vypočten z celkové plochy uzemňovací mřížové sítě.

Neexistují nebezpečné vlivy venkovního vedení 110 kV na sdělovací kabel a nejsou třeba žádná ochranná opatření



Obrázek 44: Vybraná okna při zadávání hodnot



Obrázek 45: Vyhodnocení vlivu

6 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo prostudovat normu ČSN 33 2160, která pojednává o ochraně sdělovacích vedení a zařízení před nebezpečnými vlivy trojfázových vedení VN, VVN a ZVN, a následně vytvořit program, který tyto vlivy dokáže spočítat a vyhodnotit. K vytvoření tohoto programu jsem využil vývojové prostředí MATLAB.

V teoretické části práce jsem se zabýval postupně problematiku venkovního a kabelového vedení, kde jsem popsal, jaká vedení se u nás vyskytují, kde se používají a jaké parametry se na vedení objevují. Dále jsem stručně popsal sdělovací vedení a zmínil jsem se o vývojovém prostředí MATLAB. Podrobněji jsem zformuloval problematiku jednotlivých vlivů na sdělovací vedení podle normy ČSN 33 2160.

Z normy vyplývá, že vliv, který se na vedeních nejvíce vyskytuje, je vliv indukční. Je vidět, že nebezpečné vlivy vznikají jen při poruchových stavech, zejména při jednofázovém zkratu, to je dáno tím, že při zkratu prochází vedením proud, který může dosahovat až desítek kA. Tento proud zajistí kolem vodiče silné elektromagnetické pole, které má potřebné parametry na to, indukovat napětí do kovových obalů sdělovacích vedení. V normě jsou uvedeny pouze orientační výpočty, které vychází z empirických vzorců.

V poslední části se zabývám mnou vytvořeným programem s názvem DANGIN Calculation. Do programu jsem zahrnul vlivy indukční a galvanický. Vytvořil jsem program, který je schopen vypočítat indukované napětí do sdělovacího vedení a vyhodnotit, zda je indukované napětí v povolených mezích nebo naopak. Z výpočtů vyplývá, že kromě velikosti proudu, ovlivňuje velikost napětí zejména redukční činitel a vzdálenost sdělovacího vedení od silového. Redukční činitel dokáže razantně snížit indukované napětí, to je dáno tím, že pokud jsou v blízkosti sdělovacího vedení umístěny nějaké vodivé uzemněné části nebo vodiče, tak napětí se také indukuje do těchto částí, a tak je sníženo indukované napětí do sdělovacího kabelu. Jak se v normě uvádí, chovají se jako kompenzační vodiče. Oblast působení nebezpečného vlivu závisí na měrném odporu půdy, který záleží na materiálu podloží.

Programu je formován tak, aby uživatel měl co nejméně práce se zadáváním hodnot. Pokud uživatel zadá nějakou hodnotu, se kterou nelze počítat, je programem upozorněn, aby hodnotu opravil, a je vyzván k novému zadání. Program je schopen spočítat celou trasu sdělovacího vedení, která se skládá ze šikmých a rovnoběžných úseků. Počet těchto úseků si musí uživatel předem stanovit sám z plánované trasy vedení. Poté, co uživatel stanoví počet úseků, zadává parametry jednotlivých úseků, které vedou k výpočtu indukovaného napětí. Výsledkem je informace, zdali se vedení ovlivňují nebo ne.

Seznam literatury a informačních zdrojů:

- [1] Elektrické napětí: Elektrická síť v České republice a ve světě. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrické_napětí
- [2] ŠMÍD, Jakub. Česká přenosová a distribuční soustava: Elektrifikace a princip funkce. *O energetice: energostat* [online]. [cit.2017-04-19]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/ceska-prenosova-a-distribucni-soustava-1-dil-elektrifikace-a-princip-funkce/>
- [3] Miniencyklopedie Elektrina: Z elektrárny do zásuvky. *Čez* [online]. 2003 [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/4-4.htm>
- [4] Elektrotechnický magazín: ACCR lana řeší energetické přetížení sítě. *Elektrotechnický magazín ETM: Elektrotechnika online* [online]. [cit. 2017-04-19]. Dostupné z: <http://www.etm.cz/index.php/etm/677-accr-lana-resi-energeticke-pretizeni-siti>
- [5] *Vodiče, izolátory, stožáry* [online]. [cit.2017-05-02]. Dostupné z: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:j7bSUuN8mXQJ:files.mil-anovo-misto.webnode.cz/200000440-04f5406e94/04%2520Vodi%25C4%258De%2520izol%25C3%25A1tory%2520sto%25C5%25BE%25C3%25A1ry.pdf+%&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz>
- [6] Izolátor: Druhy izolátorů. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Izolátor>
- [7] KOSTKA, Tomáš. *Mechanika venkovních vedení* [online]. Havířov [cit. 2017-04-20]. Dostupné z: http://www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/ee/mech_v_v.pdf. Střední odborné učiliště technické Havířov.
- [8] Stožáry v energetice. *T+T Technika a trh: Elektrotechnika, Energetika* [online]. 2011 [cit.2017-04-20]. Dostupné z: <https://www.technikaatrh.cz/elektrotechnika/stozary-v-energetice>
- [9] PROCHÁZKA, Radek. Stožáry vvn (III): Konstrukční řešení stožárů. In: *Honzikovy vláčky* [online]. 2010 [cit.2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.honzikovylvlacky.cz/2010/06/10/stozary-vvn-iii-konstrukcni-reseni-stozaru/>
- [10] ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY. *Čez: Encyklopedie energetiky* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/05/soustavy_3.html

- [11] Porovnání nadzemního a kabelového vedení: Kabelové vedení VVN 110 kV. *Čezdistribuce: pro média: vedení 110 kV Nový Bor - Varnsdorf* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-media/vedeni-110-kv-novy-bor-varnsdorf/porovnaní-resení-nadzemního-a-kabelového-vedení.html>
- [12] BARTÁK, Kamil. BEZPEČNÉ VZDÁLENOSTI OD ELEKTRICKÉHO VEDENÍ: Vzdálenosti od elektrického vedení v zemi. In: *Asb-portal: Stavebnictví* [online]. 2011 [cit.2017-05-02]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/bezpecne-vzdalenosti-od-elektrického-vedeni>
- [13] Vzájemné vzdálenosti vedení. *Profi-elektrika: zpravodajství* [online]. [cit.2017-05-02]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/vvvatd040521/view>
- [14] *ELEKTROENERGETIKA 1: Elektrické sítě a vodiče*. Dostupné také z: <https://publi.cz/books/260/01.html>
- [15] VLČEK, Jiří. *ZÁKLADY SILNOPROUDÉ TECHNIKY* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:dbNeK-qSxakJ:elektro.tzb-info.cz/download.py%3Ffile%3Ddocu/texty/0001/000103_demosilnoproud.pdf+%&d=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz
- [16] Skin efekt. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit.2017-05-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Skin_efekt
- [17] TYRBACH, Jaromír. *Vedení vvn a vyšší: parametry vedení* [online]. Ústí n. L. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/319017-Vedeni-vvn-a-vyssi-parametry-vedeni.html>. SPŠ SaE Ústí n. L.
- [18] KOSTKA, Tomáš. *ELEKTROTECHNIKA I: PŘENOS ELEKTRICKÉ ENERGIE* [online]. Havířov - Šumbark, 2012 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:38ZOOh58-b1AJ:www.outech-havirov.cz/skola/files/knihovna_eltech/ee/prenos_rozvod_ee.pdf+%&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz
- [19] Kabely, vodiče: TCEPKPFLEZE 10x4x0.6. *Elektro-viola* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.viola.cz/produkty/tcepkpfleze-10x4x0-6>
- [20] Metalické kabely: Kabel TCEPKPFLEZE 35xNx0.4. *Elektrokorecek: Telekomunikační materiál* [online]. [cit.2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.elektrokorecek.cz/kabel-tcepkpfleze-35xnx0.4-252d/>
- [21] Koaxiální kabel. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit.2017-05-02]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Koaxi%C3%A1ln%C3%AD_kabel

- [22] Kabely: TCEPKPFLE 1x4x0,4 telekomunikační. *B&B elektro: elektromateriál* [online]. [cit.2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.bbelektro.cz/kabel-tcepkpfle-1x4x04-telekomunikacni/d-187660-c-1035/>
- [23] PRAVDA, Ivan. Přenosová média: Vlastnosti vedení, metalické páry, přeslechy. In: *Fel.jahho* [online]. [cit.2017-05-22]. Dostupné z: http://fel.jahho.cz/5.semestr/pts/X32PTSlidy/p%FDedn%A0%E7ka_09%20P%FDenosov%A0%20m%82dia%20%20vlastnosti%20veden%A1,%20metali ck%82%20p%A0ry,%20p%FDeslechy.pdf
- [24] Optické vlákno. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit.2017-05-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Optick%C3%A9_vl%C3%A1kno
- [25] Enyklopedie fyziky: Optická vlákna. *Fyzika.jreichel* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/557-opticka-vlakna>
- [26] DOŇAR, Bohuslav, ZAPATÍLEK Karel: MATLAB pro začátečníky 1. díl, BEN - technická literatura, 2003, ISBN 80-7300-175-6
- [27] DOŇAR, Bohuslav, ZAPATÍLEK Karel: MATLAB - tvorba uživatelských aplikací 2. díl, BEN - technická literatura, 2004, ISBN 80-7300-133-0
- [28] Epoxydové podpěrné izolátory VN. *Dribo* [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.dribo.cz/vyrobn-program/a55-epoxydove-podperne-izolatory-vn/>
- [29] ČERMÁK, Jiří. Vodiče venkovních elektrických vedení. *O energetice: energostat* [online]. [cit.2017-04-19]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/vodice-venkovnich-elektrickych-vedeni/>
- [30] SPOJOVÁNÍ SILOVÝCH KABELŮ: Základní informace o kabelech. *K313.feld.cvut* [online]. [cit.2017-05-22]. Dostupné z: <http://k313.feld.cvut.cz/enpacked/laboratory/kabel/kabely.html>
- [31] Kabely a vodiče: koaxiální kabel 50ohm. *Rasel* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://www.rasel.cz/x1313-w101/koaxialni-kabel-50ohm-rg58>
- [32] PETŘÍK, Milan. Optické kabely a solitony. *Lidovky* [online]. 2009 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://petrik.bigblogger.lidovky.cz/c/110581/Opticke-kabely-a-solitony.html>

- [33] ČSN 33 2160. *Elektrotechnické předpisy: předpisy pro ochranu sdělovacího vedení a zařízení před nebezpečnými vlivy trojfázových vedení VN, VVN a ZVN*. 3. dopl. vyd. Český normalizační institut, 1993.
- [34] Galvanická vazba. *Radio.feec.vutbr* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/node13.html>
- [35] Kapacitní vazba. *Radio.feec.vutbr* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=node14>
- [36] Induktivní vazba. *Radio.feec.vutbr* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.radio.feec.vutbr.cz/emc/index.php?src=node15>

Přílohy A:

- **Použité funkce v program DANGIN Calculation**

1. Činitel vzájemné indukčnosti

Popis: Tato funkce zajišťuje výběr činitele z tabulky, která je uvedena v normě[33]. Hodnota činitele z tabulky se volí v závislosti na poměru střední vzdálenosti mezi fázovými vodiči a vzájemnou vzdáleností obou vedení, tedy d/a . Mezi vstupní parametry patří d_1, d_2, d_3 , ze kterých se následně spočítá střední vzdálenost. Další vstupní parametr, který uživatel zadá, jak již bylo řečeno, je vzájemná vzdálenost obou vedení. Funkce je opatřená proti tomu, aby uživatel zadal takový poměr, který se v tabulce nevyskytuje. V tom případě zafunguje cyklus while a uživatel bude muset zadávání zopakovat.

Vstupní parametry: d_1, d_2, d_3 - vzdálenost mezi vodiči, a - vzájemná vzdálenost

Výstupní parametry: M_T - činitel vzájemné indukčnosti

2. Redukční činitel kovové trubky

Popis: Tato funkce slouží k výběru redukčního činitele z grafu, který se nachází v normě[33]. Výběr redukčního činitele je závislý na vnějším průměru trubky.

Vstupní parametry: d_t - vnější poloměr trubky

Výstupní parametry: r_t - redukční činitel kovové trubky

3. Latentní redukční činitel

Popis: Tato funkce slouží k výpočtu latentního činitele r_b podle uvedeného v normě [33] vzorce

Vstupní parametry: R_a - střední hodnota měrného ss odporu uzemněných vodičů, l - délka vedení mezi dvěma uzemněními, R_1, R_2 - zemní odpory uzemnění, n - počet uzemněných vodičů

Výstupní parametry: r_b - latentní činitel

4. Měrný odpor kovového obalu

Popis: Tato funkce má za úkol z tabulky v normě [33] vybrat správný vzorec a spočítat požadované proměnné. Výběr z tabulky probíhá pomocí funkce menu, ve kterém uživatel zvolí typ kompenzačního zařízení. Aby bylo možné vybrat konkrétní vzorec, zvolí uživatel ještě materiál, ze kterého je kompenzační zařízení vyrobeno. V tabulce je plno prázdných nedefinovaných okýnek. Pokud se stane, že uživatel vybere takový typ a materiál, pro který není vzorec definovaný, funkce bude po uživateli požadovat zadání nového materiálu. Tato funkce je velice rozmanitá. Vstupní parametry závisí na výběru kompenzačního zařízení. Některé vstupní parametry se volají z jiné funkce, ve které probíhá výběr hodnot také z tabulky.

Vstupní parametry:

kompenzační vodič: d_1 - vnější průměr vodiče, d_{1S} - střední průměr kabelového pláště, činitel k_3 - z jiné funkce

potrubí: t - tloušťka pancíře, d_1 - vnější průměr vodiče, d_{1S} - střední průměr kabelového pláště, činitel k_3 - z jiné funkce

holý kabel: d_2 - průměr kabelu pod pláštěm, d_{1S} - střední průměr, t - tloušťka pancíře

kabel armovaný Al drátem: D - střední průměr kabelu s pancířem, činitel k_3 - z jiné funkce

kabel armovaný ocelovou páskou: činitel k_1 , k_2 , k_3 - z jiné funkce, d_2 - průměr kabelu pod pláštěm, t - tloušťka pancíře

Výstupní parametry: R_i - činný odpor, L_i - indukčnost kompenzačních zařízení

5. Určení činitelů k_1 a k_2

Popis: Tato funkce zajišťuje výběr činitelů z tabulek v normě [33]. Výběr řádku se provádí pomocí šířky pásky kabelového pancíře a sloupec se vybírá pomocí tloušťky pásky kabelového pancíře. Zadávání hodnot je provedeno pomocí funkce menu.

Vstupní parametry: t - tloušťka pásky kabelového pancíře, ω - šířka pásky kabelového pancíře

Výstupní parametry: činitele k_1 a k_2

6. Určení činitele k_3

Popis: Výběr hodnoty z tabulky se provádí pomocí měrného odporu. Měrný odpor je zadáván pomocí funkce menu.

Vstupní parametry: ϱ - měrný odpor půdy

Výstupní parametry: činitel k_3

7. Redukční činitel s dalšími kompenzačními vodiči

Popis: Tato funkce slouží k výpočtu redukčního činitele sdělovacího vedení, pokud jsou do 1 m umístěny kompenzační vodiče. Uživatel na začátku zadá vzdálenost kompenzačních vodičů od sdělovacího vedení, pokud je splněna podmínka a vodiče jsou umístěny do 1 m, je uživatel vybídnut k zadání proměnných. Nejdříve se vypočítá bezrozměrné číslo, které charakterizuje sdělovací vedení. K vypočtení tohoto čísla uživatel tedy zadá, hodnoty R_k a L_k a dále se zavolá parametr M z funkce pro určení činitele vzájemné indukčnosti. Dále se začne počítat bezrozměrné číslo, které charakterizuje kompenzační vodiče. Pro tento výpočet je zavolána funkce pro měrný odpor kovového obalu s parametry R_i a L_i , dále uživatel musí zadat, zda se jedná o vodiče stejné nebo různé a kolik se jich poblíž nachází. Pokud vodiče nejsou stejné, bude uživatel zadávat parametry pro každý vodič zvlášť, dokud nebude dosažen počet n . Pro konečný výpočet funkce musí zavolat redukční činitel sdělovacího vedení, který se dosadí do konečného vzorce.

Vstupní parametry: R_k - měrný odpor kovového obalu, L_k - vlastní indukčnost sdělovacího vedení, M - činitel vzájemné indukčnosti, n - počet kompenzačních vodičů, $rssl$ - redukční činitel sdělovacího vedení

Vstupní parametry: rs_dalsi - redukční činitel s kompenzačními vodiči

8. Redukční činitel sdělovacího vedení

Popis: Tato funkce slouží výběru redukčního činitele z tabulek, které se nacházejí v příloze v normě [33]. Redukční činitel se konkrétně vybírá z osmi tabulek. Tento redukční činitel je volen v závislosti na průměru kabelu pod pláštěm a podélným napětím. Ovšem podélné napětí není nutné zadávat u všech kabelů, stejně tak jako průměr kabelu. Průměr kabelu uživatel zadává do dialogového okna, pokud uživatel zadá hodnotu, která se v tabulce nenachází, bude nucen zadat novou hodnotu. Podélné napětí je voleno ve funkci menu, kde jsou pevně definované hodnoty, proto se nemůže stát, že by se uživatel netrefil, jelikož pro každý kabel je vytvořeno vlastní menu s konkrétními hodnotami, které se nachází v tabulce.

Vstupní parametry: *prumer_kabelu_nad_plastem* - průměr kabelu nad pláštěm, *podelne_napeti* - podélné napětí

Výstupní parametry: *rs1* - redukční činitel sdělovacího vedení

9. Měrný odpor půdy

Popis: Tato funkce slouží k výběru hodnoty měrného odporu půdy z tabulky. Tento výběr je proveden pomocí funkce menu, ve kterém si uživatel zvolí požadovaný typ půdy

Vstupní parametry: *dp* - druh půdy

Výstupní parametry: *ro* - měrný odpor půdy

10. Redukční činitel kolejí

Popis: Tato funkce má za úkol vybrat redukční činitel kolejí v závislosti na tom, jestli se jedná o jednokolejnou, dvoukolejnou, elektrizovanou nebo neelektrizovanou železnici. Výběr závisí na měrném odporu, který se volí pomocí funkce menu.

Vstupní parametry: *ro* - měrný odpor půdy

Výstupní parametry: *r_k* - redukční činitel kolejnic

11. Redukční činitel kovových obalů trojfázových kabelů

Popis: Tato funkce slouží k určení redukčního činitele kabelového vedení. Způsob počítání tohoto činitele závisí na uspořádání kabelu. V normě se uvádějí tři vztahy pro tři případy. Uspořádání může být: jeden trojžilový kabel, tři jednožilové kabely položeny v rovině nebo kabely uspořádány do rovnostranného trojúhelníka a počet n shodných kabelů vedených v rovině. V této funkci se dále počítá měrná impedance smyčky, která je potřebná pro konečný výpočet. Tato impedance smyčky se vypočítá pomocí činitele vzájemné indukčnosti, tento parametr se musí zavolat a jeho výběr je závislý na střední hodnotě vnějších poloměrů kovových obalů nebo střední hodnotě osových vzdáleností. Oba tyto parametry se počítají v externí funkci a jejich výběr závisí na typu uspořádání.

Vstupní parametry: R_p - podélný odpor obalu kabelu, R_1, R_2 - zemní odpory koncových uzemňovacích soustav kabelu, l - délka kabelu mezi koncovými uzemňovacími soustavami kabelu, M - činitel vzájemné indukčnosti, dp - druh půdy

Výstupní parametry: r - redukční činitel kabelového vedení

12. Výpočet a_{stred} a $a12$

Popis: Tato funkce slouží k výpočtu střední hodnoty vnějších poloměrů kovových obalů kabelů a střední hodnoty osových vzdáleností kabelů.

Uživatel na počátku zadá, kolik je použito kabelů, a pomocí cyklu for se vytvoří vektor, do kterého se na jednotlivé pozice nahrají tyto hodnoty. Z vektoru se pomocí funkce prod a následného odmocnění vypočítá střední hodnota. Tyto hodnoty jsou odeslány do funkce pro redukční činitel kabelů.

Vstupní parametry: n - počet vodičů, a - osová vzdálenost kabelů, r - vnější poloměr kovového obalu

Výstupní parametry: $a12$ - střední hodnota osových vzdáleností, a_{stred} - střední hodnota vnějších poloměrů kovových obal

13. Funkce pro vstupní impedanci uzemnění stožáru

Popis: Tato funkce slouží pro výběr vstupní impedance uzemnění stožáru při počítání galvanického vlivu. Tato hodnota je pro případ, že hodnoty nejsou naměřeny, vybírána z tabulky. Uživatel pomocí nabídky menu vybere požadovaný druh lana a povrchovou rezistivitu a podle těchto hodnot se vybere požadovaná vstupní impedance.

Vstupní parametry: *vyberLana* - typ zemnicího lana, *rezistivita* - měrný odpor

Výstupní parametry: Z_K - impedance uzemnění stožáru

14. Meze nebezpečných vlivů pro venkovní vedení

Popis: Tato funkce slouží k vyhodnocení ovlivňování. Vypočítané indukované napětí se odešle do této funkce, kde dojde k porovnání s předepsanými hodnotami. Při každém porovnání dojde k zapsání hlášení o vzájemném ovlivňování do textového řetězce. Toto hlášení se odešle do střední funkce a následně do hlavní, kde se zobrazí v bílém okně. V této funkci na začátku uživatel volí, o jaký typ stožáru se jedná, jak je vedení jištěno a jak dlouho trval zkrat.

Vstupní parametry: *typS* - Typ stožáru, *JS* - jistící soupravy, *tk* - doba zkratu,

U_i - indukované napětí

Výstupní parametry: x - hlášení o provozování

15. Meze nebezpečných vlivů pro kabelového vedení

Popis: Tato funkce slouží k vyhodnocení ovlivňování. Vypočítané indukované napětí se odešle do této funkce, kde dojde k porovnání s předepsanými hodnotami. Při každém porovnání dojde k zapsání hlášení o vzájemném ovlivňování do textového řetězce. Toto hlášení se odešle do střední funkce a následně do hlavní, kde se zobrazí v bílém okýnku. V této funkci na začátku uživatel zadá zkušební napětí obvodové izolace, tato hodnota nesmí být překročena. Pokud je indukované napětí nižší, zadá uživatel dobu trvání zkratu a dojde k porovnávání s hodnotami ze stejné tabulky jako pro venkovní vedení.

Vstupní parametry: U_z - zkušební napětí elektrické pevnosti obvodové izolace,

U_i - indukované napětí

Výstupní parametry: x - hlášení o provozování

16. Funkce pro stanovení indukčního vlivu při jednofázovém zkratu na venkovním vedení VN

Popis: funkce slouží k určení velikosti indukovaného napětí do nadzemního sdělovacího vedení s kovovým uzemněným obalem při jednofázovém zkratu na vedení VN. V této funkci na začátku uživatel musí zadat celkovou vypínací dobu vedení při zkratu, celkovou délku souběhu a trojnásobek nulové složky proudu. Pokud je splněná podmínka těchto parametrů podle normy [33], lze od výpočtů upustit. Pokud podmínka splněna není, indukované napětí se bude počítat podle vývojového diagramu na obrázku č. 26. v kapitole 3. Vyhodnocení se určí pomocí funkce meze nebezpečných vlivů pro venkovní vedení

17. Funkce pro stanovení indukčního vlivu při jednofázovém zkratu na venkovním vedení VN

Popis: funkce slouží k určení velikosti indukovaného napětí do podzemního sdělovacího vedení při jednofázovém zkratu na vedení VN. Napětí se počítá stejným způsobem jako u předešlé funkce. Vyhodnocení se provádí pomocí funkce meze nebezpečných vlivů pro podzemní sdělovací vedení.

18. Funkce pro stanovení indukčního vlivu při jednofázovém zkratu na venkovním vedení VNN a ZVN

Popis: funkce zjišťuje velikost indukovaného napětí do nadzemního sdělovacího vedení při jednofázovém zkratu na vedení VVN a ZVN. Algoritmus této funkce je stejný jako již předešlé funkce s tím rozdílem, že se neprovádí vyhodnocení počáteční podmínky. Vyhodnocení se provádí pomocí funkce meze nebezpečných vlivů pro venkovní vedení.

19. Funkce pro stanovení indukčního a galvanického vlivu při jednofázovém zkratu na venkovním vedení VNN a ZVN

Popis: funkce, slouží pro výpočet velikosti napětí, způsobené indukčním a galvanickým vlivem, které se objeví na podzemním sdělovacím vedení při jednofázovém zkratu. Indukční vliv se určí podle vývojového diagramu na obrázku č. 26. Galvanický vliv se určí podle vzorců podle vzorců 3.10 a 3.11, které jsou uvedené v kapitole 3, .. Vyhodnocení se provádí pomocí funkce meze nebezpečných vlivů pro podzemní sdělovací vedení.

20. Funkce pro stanovení indukčního vlivu při jednofázovém zkratu na kabelovém vedení VNN a ZVN

Popis: funkce, slouží k výpočtu indukovaného napětí do nadzemního sdělovacího vedení, které je způsobené jednofázovým zkratem na kabelovém vedení.

Tato funkce se oproti obecné funkci uvedené v kapitole 5.3 liší tím, že se zde musí určit redukční činitel kovových obalů trojfázových kabelů. Tento činitel se určí podle vzorce uvedeného v normě [33] v závislosti na uspořádání kabelů. Vyhodnocení proběhne pomocí funkce meze nebezpečných vlivů pro venkovní vedení.

21. Funkce pro stanovení indukčního vlivu při jednofázovém zkratu na kabelovém vedení VNN a ZVN

Popis: funkce, slouží k výpočtu indukovaného napětí do podzemního sdělovacího vedení, které je způsobené jednofázovým zkratem na kabelovém vedení. Funkce je stejná jako výše uvedená funkce. S tím rozdílem, že pro vyhodnocování využívá funkce meze nebezpečných vlivů pro podzemní sdělovací vedení.

22. Funkce pro vlivu při trojfázovém zkratu na kabelovém vedení VNN a ZVN stanovení indukčního

Popis: Střední funkce, která slouží k výpočtu indukovaného napětí do podzemního sdělovacího vedení, které je způsobené trojfázovým zkratem na kabelovém vedení.

Velikost napětí se zde počítá podle vzorce, který se udává v kapitole č. 3.2, konkrétně to je vzorec č. 3.9. V této funkci se také využívá jiný činitel vzájemné indukčnosti a to M_T , který se zjišťuje podle tabulky uvedené v normě [33]. Ze vzorce 3.9 je také vidět, že pro stanovení napětí se využívá jen redukční činitel na sdělovacím vedení. Vyhodnocení zajistí funkce meze nebezpečných vlivů pro podzemní sdělovací vedení.

23. Funkce pro stanovení indukčního vlivu při jednofázovém zkratu na kabelovém vedení VN

Popis: funkce, počítá velikost indukovaného napětí do nadzemního sdělovacího vedení při jednofázovém zkratu na kabelovém vedení. Funkce má stejný algoritmus jako funkce 22. Výpočtům lze předejít, pokud mají kabely velmi dobré kovové obaly, jsou dobře uzemněny a připojeny k oběma koncům uzemňovací soustavy, nejsou přerušeny izolační spojkou a u kabelů s omezující impedancí v uzlu nejsou překročeny mezní hodnoty zkratových proudů. Dále je možné od výpočtů upustit, pokud jsou splněny podmínky, které určují parametry: celková vypínací doba při zkratu, trojnásobek nulové složky proudu a celková délka souběhu. Vyhodnocení zajistí funkce meze nebezpečných vlivů pro venkovní vedení.

24. Funkce pro stanovení indukčního vlivu při jednofázovém zkratu na kabelovém vedení VN

Popis: funkce, počítá velikost indukovaného napětí do podzemního sdělovacího vedení při jednofázovém zkratu na kabelovém vedení. Funkce má stejný algoritmus jako funkce 23. Vyhodnocení zajistí funkce meze nebezpečných vlivů pro podzemní sdělovací vedení.

Přílohy B:

- **Stožáry**

Stožáry jsou nedílnou součástí venkovního vedení, jejich provedení a rozměr závisí na přenášeném výkonu a napěťové hladině, na které je vedení provozováno. Stožáry mají za úkol zajistit, aby se části pod napětím nepřibližovaly k terénu. Vedení má tedy své ochranné pásmo, což je souvislý prostor, ve kterém je vedení umístěno, a bezpečný prostor v okolí vedení. Jelikož vlivem klimatických podmínek (námraza, vyšší teplota) a zatížením samotného vodiče (vyšší zatížení, vyšší teplota vodiče) dochází ke zvětšení průhybu vodiče, kladou se na ochranné pásmo vysoké požadavky. Ochranné pásmo je prostor, který je určen svislými rovinami na obě strany vedení ve vodorovné vzdálenosti měřené kolmo na vedení, která činí od krajního vodiče vedení na obě jeho strany. [8]

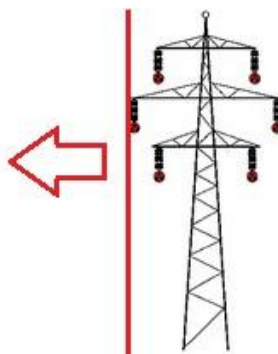
vedení:

22 a 35kV 7 (10) m

110kV 12 (15) m

220kV 15 (20) m

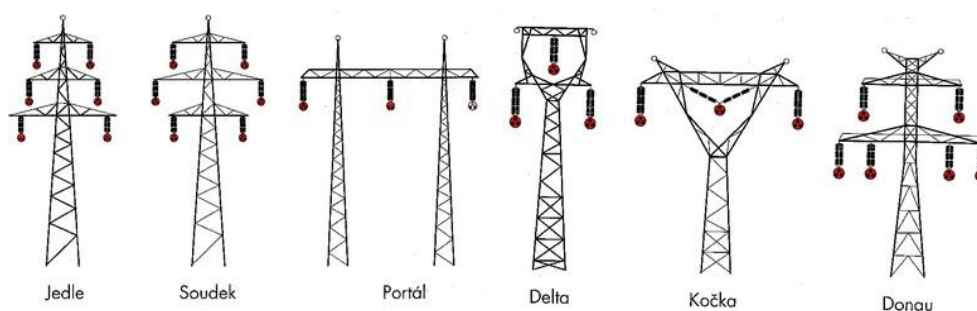
400kV 20 (25) m



Obrázek 46: Vyznačení ochranného pásma.
převzato z [7], upraveno

Ze zákona je dáno, že uvnitř těchto koridorů se nesmí nacházet porost vyšší než 3 metry nad zemí. Další závazná norma určuje vzdálenost dřevin od živých částí vedení. Tato vzdálenost je u vedení 220 kV 4 metry a u vedení 400 kV je to 5 metrů. [8]

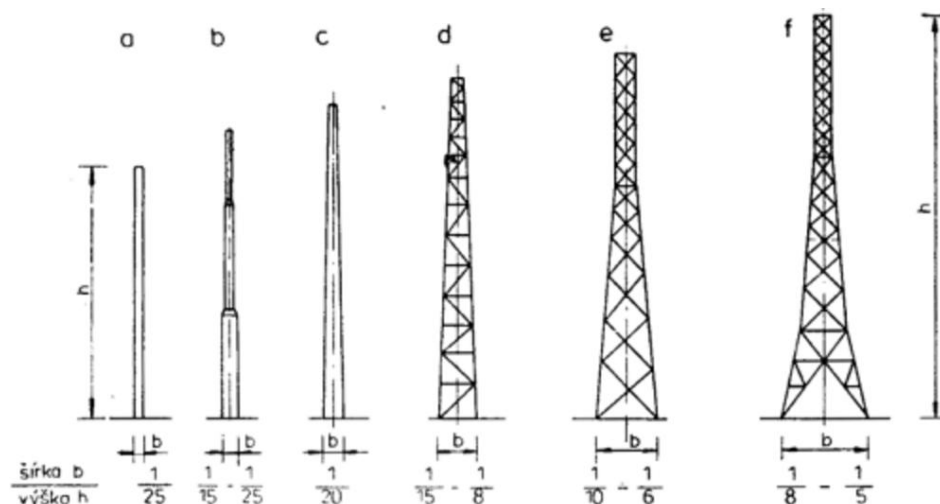
Stožáry jsou vyráběny z ocelové konstrukce, ze dřeva a betonu. Pro vyšší napěťové hladiny, jako je 110kV, 220kV a 400kV v přenosové soustavě, se používají výhradně příhradové ocelové stožáry. Stožár se skládá z paty, dříku a hlavy. Pata je část stožáru, která je spojená se zemí pomocí základů, tedy spodní část, dřík je noha stožáru a spojuje patu a hlavu stožáru. Příhradové stožáry mají mnoho konstrukčních provedení, tato provedení se liší počtem dříků, tvarem hlavy nebo uspořádáním fází, některé stožáry jsou schopny vést i dvě paralelní linky. [5][7]



Obrázek 47: Typy stožárů [7]

Dále stožáry rozlišujeme podle jejich funkce, nejčastější jsou to stožáry nosné, což jsou stožáry přímé trasy, kde lano AIFe je zavěšeno na svislém izolátoru. Stožár je namáhán pouze svislou silou způsobenou hmotností lana, jelikož namáhání stožáru z boku se vyruší. Dalším používaným stožárem je stožár kotevní, ty se rozmísťují ve vzdálenosti 3 - 5 km od sebe. Tyto stožáry tvoří pevné body na vedení. Vodiče jsou ke stožáru připevněny kotevními izolátorovými závěsy namáhanými plným tahem vodičů, vodič přechází přes izolátory přeponkou bez mechanického namáhání. Tyto stožáry jsou masivnější a mají vyztuženou konstrukci. Mezi další používané stožáry patří ještě stožáry rohové, koncové, odbočné, rozvodné nebo křižovatkové. Rohové stožáry se používají v lomech trasy a mohou být provedeny jako nosné nebo kotevní. Koncové stožáry se dávají na konec trasy a musí snést tah všech vodičů. Použití příslušného druhu stožáru závisí na místních podmínkách, kterými vedení bude procházet a na projektované trase. [5][7][8]

Pro konstrukci stožárů nižších napěťových hladin v distribuční soustavě se používají výhradně stožáry jednodřívkové ze železobetonu, dřeva a ocelové konstrukce. U menších vedení s nižšími stožáry se používají železobetonové dřívky, na jejichž vrchol se připevňují ocelové konzole, která může mít uspořádání vodičů rovinné, trojúhelníkové, anebo uspořádání do pařátu. Dříve se tyto stožáry prováděly ze dřeva, které se umísťovalo na betonové patky. Dřevo muselo být naimpregnované proti hnilobě, což se provádělo pomocí dehtového oleje a roztoku thiosíranu. Dnes jsou tyto sloupy nahrazovány právě sloupy ze železobetonu. [5][7][9]



Obrázek 48: Proměnlivé průřezy stožárů [9]

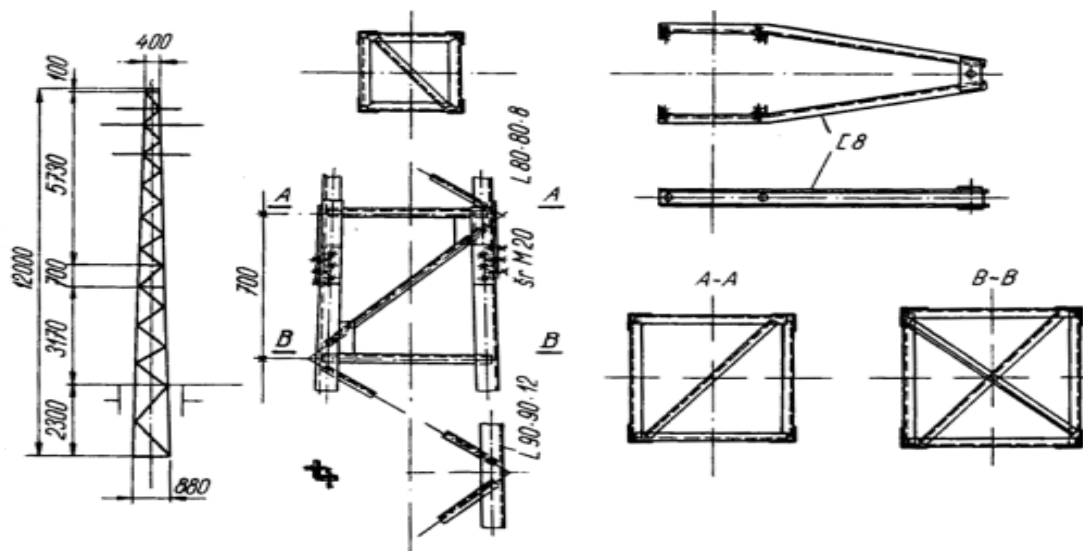
Na obr. č. 48 můžeme vidět jednotlivé typy jednodřívkových stožárů. Typy stožáru označené písmeny **a, b, c**, mají kruhový průřez a jsou nejčastěji provedeny ze železobetonu. Jak můžeme vidět z obrázku, typ sloupu pod písmenem **a** má průřez po výšce konstantní, sloup pod písmenem **b** má průřez odstupňovaný a typ sloupu pod písmenem **c** ho má lineárně proměnný. Tyto sloupy se používají v distribuční síti, u elektrifikované železnice a u trolejbusového vedení.[9]

Dále jsou na obrázku stožáry označené písmeny **d, e, f**. Tyto stožáry jsou zkonstruovány jako příhradové čtyřboké z ostrohanného materiálu. Jak je vidět z obr. č. 48, dřívky se směrem k základu rozšiřují. Stožár označený písmenem **d** má konstantní sklon, takto provedené stožáry mají společný základ pro všechny čtyři nárožníky. U vyšších stožárů se nárožníky ve spodní části prudčeji lomí nebo dochází k tomu, že se stožár více rozkročí, jak je vidět na obr. f. Větší rozkročení způsobí, že ohybový moment se v základu zachycuje většími rameny s menšími silami, takže základy jsou méně namáhány a jsou tvořeny pro každý nárožník zvlášť.[9]

Jak již bylo uvedeno, převládají dřívky, které se směrem k základům rozšiřují. Toto rozšíření závisí na tom, o jaký typ stožáru se jedná. Pro nosný stožár se rozšíření provádí cca. 40 - 50 mm na 1 m, pro stožár kotevní je to 50 - 60 mm na 1 m. Šířka hlavy je přibližně 400 mm pro stožáry 35 kV a pro stožáry 400 kV je to až 1600 mm.

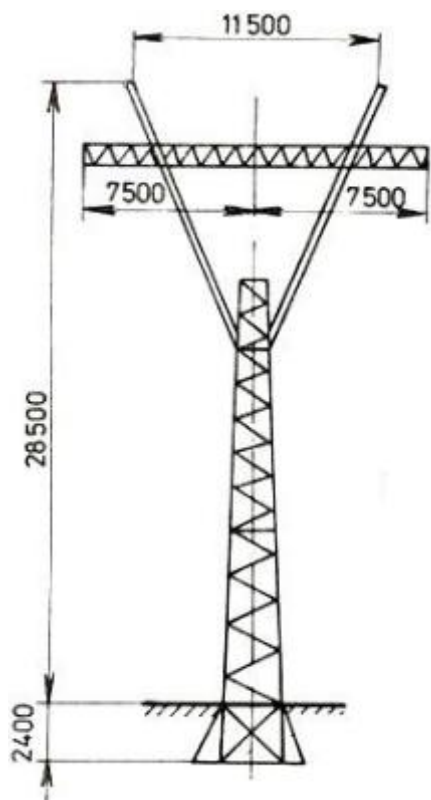
Příklady normalizovaných stožárů:

Normalizace je odvozena od standartních výšek stožárů a příslušenství a je definována napětím v elektrickém vedení, výškou a vodorovným zatížením ve vrcholu.

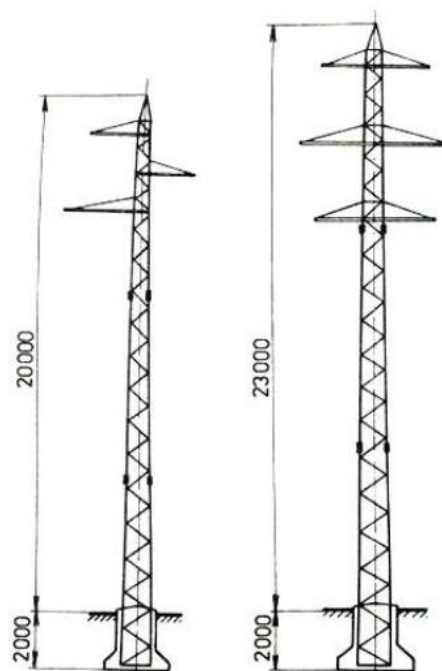


Obrázek 49: Normalizovaný stožár pro vedení VN [9]

Na obr.č. 49 je normalizovaný stožár pro vysoké napětí. Jak můžeme vidět, jeho průřez je obdélníkový a lineárně proměnný.

Další typy:

Obrázek 51: Stožár VVN pro 220 kV [5]



Obrázek 50: Stožár VVN pro 110 kV [5]