

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kabelizace distribučních sítí a její dopady

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

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

Jméno a příjmení: **Bc. Martin SCHNEIDER**
Osobní číslo: **E14N0124P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Název tématu: **Kabelizace distribučních sítí a její dopady**
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Charakterizujte venkovní a kabelové distribuční sítě (např. způsoby provozu, poruchovost).
2. Analyzujte historický vývoj instalace venkovních a kabelových vedení, stanovte trend a uveďte důvody pro častější využívání kabelových vedení.
3. Vyjmenujte možná rizika častější kabelizace sítí VN s ohledem na velikost kapacitních proudů a navrhněte způsoby jejich omezení.
4. Vypočítejte mezní kapacitní proud konkrétní oblasti na základě dat distributora.
5. Stanovte budoucí postup instalace kabelových vedení na všech napěťových hladinách.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

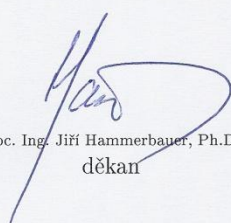
Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

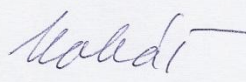
Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 14. října 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 19. května 2017


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




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

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřená na způsoby provozu venkovní a kabelové sítě, její poruchovost. Analyzuje historický vývoj instalace venkovních a kabelových vedení a stanovuje budoucí možnosti rozšiřování kabelových vedení. Rozebírá dopady rostoucího podílu kabelových vedení s ohledem na bezpečnost a omezení kapacitních proudů. Na konkrétní distribuční oblasti Strakonice jsou provedeny teoretické výpočty a jsou porovnány s odečtenými a normovanými hodnotami kapacitních proudů a navrženy budoucí postupy instalace kabelových vedení.

Klíčová slova

Distribuční soustava, vysoké napětí, venkovní vedení, kabelová vedení, kapacitní proud, kompenzace zemních kapacitních proudů, dotykové napětí.

Abstract

The submitted diploma thesis is focused on the ways of operation of overhead and cable lines, its failure rate. It analyzes the historical development of the installation of overhead and cable lines and sets forth the future possibilities of extending cable lines. It analyzes the impacts of an increasing share of cable lines in terms of safety and capacity constraints. Theoretical calculations are carried out on the specific distribution areas of Strakonice and are compared with the readings and normalized values of the capacitance currents and proposed future cable installation procedures.

Key words

Distribution system, medium voltage, overhead lines, cable lines, capacitive current, compensation of earth capacitive currents, touch potential.

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 18.5.2017

Martin Schneider

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za vstřícnost a metodické vedení práce. Rád bych také poděkoval Ing. Danielu Koubovi Ph.D. za cenné odborné rady a profesionální přístup.

Na závěr děkuji své rodině za podporu při celém studiu.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	11
1 KLASIFIKACE DISTRIBUČNÍ SÍTÍ	12
1.1 Síť 110 kV.....	12
1.1.1 Venkovní vedení 110 kV.....	12
1.1.2 Kabelové vedení 110 kV.....	13
1.2 Sítě VN.....	15
1.2.1 Venkovní vedení VN.....	16
1.2.2 Kabelové vedení VN.....	17
1.3 Sítě NN.....	18
1.3.1 Venkovní vedení NN.....	18
1.3.2 Kabelové vedení NN.....	19
2 KABELIZACE DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ	20
2.1 HISTORICKÝ VÝVOJ KABELŮ.....	20
2.2 HISTORIE KABELIZACE V ČESKU.....	20
2.3 ANALÝZA DAT PRO OBLAST PROVOZOVATELE E.ON.....	21
2.3.1 Kabelizace distribučních sítí.....	24
2.4 DŮVODY A PŘÍNOSY ČASTĚJŠÍ KABELIZACE.....	28
2.4.1 Technický pokrok a vývoj kabelové techniky.....	28
2.4.2 Snaha o zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti.....	28
2.4.3 Změny legislativy.....	32
2.4.4 Rozvoj distribuční soustavy.....	32
2.5 RIZIKA ČASTĚJŠÍ KABELIZACE.....	32
2.5.1 Problematika kapacitních proudů.....	33
2.5.2 Dotykové a krokové napětí.....	35
2.6 ZPŮSOBY OMEZENÍ KAPACITNÍCH PROUDŮ.....	37
2.6.1 Kompenzace rozsáhlé sítě.....	38
3 VÝVOJ KAPACITNÍHO PROUDU V OBLASTI STRAKONICE	40
3.1 TEORIE A VÝPOČET KAPACITNÍHO PROUDU.....	44
3.1.1 Výpočet pro venkovní vedení.....	47
3.1.2 Výpočet pro kabelové vedení.....	55
3.2 PREDIKCE KAPACITNÍCH PROUDŮ.....	59
3.2.1 Budoucí postupy v rozvoji distribučních sítí.....	62
ZÁVĚR	63
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	64
PŘÍLOHY	1

Seznam symbolů a zkratk

Veličina	Název	Jednotka
U_f	Fázové napětí	V
t_{ih}	Doba tvání i-tého přerušeni	s
N_{ih}	Počet postižených odběratelů i-tého přerušeni	
N_{sh}	Celkový počet odběratelů	
I_E	Zemní proud	A
I_{res}	Zbytkový kapacitní proud	A
I_c	Kapacitního proud	A
r	Redukční činitel	
R_{Edov}	Maximální dovolený zemní odpor	Ω
U_{Tp}	Dovolené dotykové napětí	V
k	Koeficient tvaru zemniče	
U	Potenciál vodiče	V
Q	Lineární hustota náboje	$C \cdot m^{-1}$
δ	Potenciálový koeficient	$km \cdot \mu F^{-1}$
k	Parciální kapacita	$\mu F \cdot km^{-1}$
ϵ_0	Permitivita vakua	$F \cdot m^{-1}$
h	Výška těžiště řetězovky	m
H	Výška závěsného bodu	m
p	Průhyb reálného vodiče	m
r	Matematický průměr	mm
C_0	Střední hodnota kapacity	$nF \cdot km^{-1}$
$\Delta C_{0\%}$	Kapacitní nesymetrie	%
C_{ab}	Mezifázová kapacita	$nF \cdot km^{-1}$
C_{a0}	Fázová kapacita proti zemi	$nF \cdot km^{-1}$
I_{Ca}	Kapacitní proud při zemním spojení	$mA \cdot km^{-1}$
I_{Cva}	Poruchový proud ve fázi (a)	$mA \cdot km^{-1}$
ω	Úhlová frekvence	s^{-1}

Zkratky

PS.....	Přenosová soustava
PPS	Provozovatel přenosové soustavy
DS.....	Distribuční soustava
PDS.....	Provozovatel distribuční soustavy
TS	Transformační stanice
TR.....	Transformátor
ES	Elektrizační soustava
NN	Nízké napětí
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
OP.....	Ochranné pásmo
PE	Polyetylen
XLPE	Zesíťený polyetylen
PVC	Polyvinilchlorid
PILC	Paper Insulated Lead Cover
OZE	Obnovitelné zdroje energie

Úvod

Předkládaná diplomová práce se zabývá problematikou distribučních sítí s ohledem na kabelizaci. Charakterizuje venkovní a kabelové distribuční sítě, způsoby provozu a poruchovost. Práce se zabývá historickým vývojem hlavně kabelového vedení v oblasti působení společnosti E.ON Distribuce, a.s., zpracovává data poskytnutá pracovníky společnosti E.ON Distribuce, a.s. v Českých Budějovicích do přehledných grafů a tabulek. Analyzuje výstavbu kabelových vedení od sedmdesátých let minulého století s ohledem na používané izolační materiály kabelů pro rozvody vysokého napětí (VN).

Porovnává přírůstky délek kabelového a venkovního vedení VN v průběhu deseti let v distribučních oblastech E.ON a ČEZ a přírůstky délek vedení pro více napěťových hladin v oblasti E.ON.

Práce rozebírá důvody a přínosy častější kabelizace distribučních sítí z pohledu technického vývoje, dodržení bezpečnosti a spolehlivosti, změny legislativy a rozvoje distribuční soustavy.

Zaměřuje se na rizika častější kabelizace, dané hlavně problematikou kapacitních proudů spjatou s rozvojem distribučních sítí. Rozvoj kabelových vedení představuje růst kapacitních proudů, kterým je nutné se zabývat, jelikož už v současné době překračují některé oblasti normou stanovené hodnoty. Dále se zabývá bezpečností z pohledu dotykových a krokových napětí.

Konkrétní oblastí pro výpočet mezních kapacitních proudů byla přidělena oblast Strakonice. Tato oblast byla vybrána kvůli vysokému naměřenému kapacitnímu proudu. V této části práce je analyzován vývoj kapacitního proudu odečteného z automatik ladění tlumivek, dále porovnán s normovanými a katalogovými hodnotami pro konkrétní kabelové vedení v této oblasti. Pro venkovní vedení jsou kapacitní proudy vypočítány s ohledem na používané typy konzolí a dále porovnány s normovanými hodnotami.

V poslední části práce je vypočtena predikce kapacitních proudů v závislosti na míře kabelizace a délce nového vedení a nastíněny budoucí postupy rozvoje distribučních sítí.

1 Klasifikace distribuční sítí

Elektrizační soustava se dělí v České republice na páteřní přenosovou soustavu a distribuční soustavu. Tato práce je primárně zaměřena na distribuční soustavu, proto napěťové hladiny používané v přenosové soustavě (400 a 220 kV) nebudou detailně rozebírány. Distribuční soustava používá nejčastěji napěťové hladiny 110 kV, 35 kV, 22 kV a 0,4 kV, které budou následně popsány.

1.1 Sít' 110 kV

Základem distribuční soustavy je páteřní síť 110 kV. Tato napěťová hladina je nejvyšší v distribuční soustavě. Sít' 110 kV je primárně určena pro přenos velkého výkonu z uzlových transformoven 400 (220)/110 kV a 110/22 kV. Z konstrukčního hlediska bývá síť 110 kV řešena primárně jako okružní, případně paprsková. V případě napájení průmyslových závodů a velkých měst je síť řešena jako okružní. Uzlové transformovny jsou voleny tak, že z pohledu ztrát se způsob provozu sítě 110 kV blíží paralelnímu chodu. Výjimečně se provozuje paralelní můstkové zapojení např. mezi rozvodnou Dasné a Kočín [2]. Tím lze docílit vyšší spolehlivosti. V současnosti jsou sítě 110 kV ve většině případů rozděleny do několika samostatně pracujících oblastí. Tyto samostatné oblasti mají vazbu na PS jedním případně dvěma transformátory PS/110 kV. Z pohledu způsobu provozu sítí 110 kV se používá přímo uzemněná síť, tedy uzel sítě přímo spojen se zemí.

Velikost napájecích míst uzlových oblastí lze dělit na čistě spotřební, kde hlavní podíl na napájení má transformační vazba PS/110 kV, a převážně spotřební, kde část spotřeby pokrývají lokální zdroje v dané oblasti. V dnešní době se běžně osazují transformátory 400/110 kV s výkonem 350 MVA (max. 3 kusy na oblast) [3].

1.1.1 Venkovní vedení 110 kV

Venkovní vedení je provozováno na podpěrných bodech (stožárech) s odstupem obvykle 100 až 300 m. Výška podpěrných bodů se využívá v rozsahu cca 27 až 35 m [1]. Výška i rozstup podpěrných bodů jsou závislé na profilu krajiny a počtu lomových bodů. Ochranné pásmo pro napěťovou hladinu 110 kV venkovního vedení je 12 metrů od krajního vodiče a v případě stožáru typu Soudek s dvojitým potahem nabývá celkových hodnot 31,3 - 32,4 m podle typu stožáru (nosný/kotevní). V ochranném pásmu venkovního vedení je dovoleno projíždět těžkou technikou a mohou zde růst porosty do maximální výšky 3 m. Aplikace do krajiny je snazší i s ohledem na křížení dopravních komunikací, vodních toků a inženýrských sítí. Z konstrukčního hlediska jsou voleny vodiče AIFe 6 o

průřezu 243/39, 184/30 a 149/24 mm². Lze se však setkat i jinými typy vodičů. Výhodou venkovního vedení je vyšší životnost, jednoduchost údržby a vyhledání a následné odstranění poruch. Nevýhodou je náchylnost na povětrnostní vlivy - bouřky, silný vítr a námraza.

1.1.2 Kabelové vedení 110 kV

Kabelová vedení se realizují tam, kde z bezpečnostních a prostorových důvodů nelze použít venkovní vedení. Investiční náklady kabelových vedení jsou násobně vyšší. Kabelová vedení VVN jsou provozována jednožilovými kabely umístěnými v kolektorech nebo ve volném terénu v hloubce 1,3 – 1,5 m pod zemí [1]. Konfigurace uložení kabelů je buďto vedle sebe, nebo v trojúhelníkovém uspořádání. Výhody uspořádání kabelů vedle sebe jsou nižší oteplení sousedních žil a vyšší schopnost zatížení při vykompenzovaných ztrátách ve stínění. Konfigurace do trojúhelníku má výhody v podobě nižších ztrát ve stínění, nižší intenzitě magnetického pole nad kabelem a menší prostorové náročnosti. Z výše uvedeného vyplývá, že v kabelových tunelech se preferuje konfigurace vedle sebe a v případě uložení do země se převážně využívá konfigurace do trojúhelníku. Lávky kabelových tunelů jsou dimenzovány na 3 svazky, přičemž využity bývají obvykle 2. V případě uložení do země je z pohledu bezpečnosti vhodné ukládat kabelová vedení VVN do pískového lože s cementovou stabilizací o minimální tloušťce 30 cm. Šíře výkopu pak bývá alespoň 80 cm pro trojúhelníkové uspořádání kabelů. Výrobní délka kabelů VVN bývá do 1000 m a s tím je spojena výstavba spojovacího. Vzhledem k vyššímu riziku poruchovosti je snaha o minimalizování počtu spojek.

Energetický zákon č.458/2000 Sb. § 46 odstavec 5 udává ochranné pásmo 1 m od krajního vodiče pro kabelové vedení do 110 kV. Dále zakazuje přejíždět OP technikou o celkové hmotnosti nad 6 tun a také veškerý růst porostů [7].

Provozní teplota dosahující až 90°C může vysušováním způsobovat erozi půdy a zároveň vybudované pískové lože může působit jako drenáž a ovlivnit lokální hydrogeologické poměry.

Porovnání výhod a nevýhod jednotlivých technologií znázorňuje tabulka 1.1 [1].

Tab. 1.1 Porovnání výhod a nevýhod [1]

	kabelové vedení 110 kV	venkovní vedení 110 kV
životnost vedení	25 let	40 let
investiční náklady	velmi vysoké cca 10 x vyšší	standardní
náklady na provoz a údržbu	vyšší	nízké
odstraňování poruch	komplikované a zdlouhavé s využitím těžké mechanizace	jednoduché bez nutnosti těžké techniky
délka odstranění poruch	dlouhé – otázka týdnů	krátké – otázka dnů
dostupnost komponentů	dlouhé dodací lhůty	běžný sortiment
klimatické vlivy na provoz	zanedbatelné	vysoká míra
pohyb těžké mechanizace v době výstavby	v celé trase	pouze v místech stožárů (cca 200-300 m od sebe)
požadavek na obslužnou komunikaci podél koridoru/trasy	ano	ne
provoz techniky a lesních mechanismů v koridoru a OP	velmi omezený	bez omezení
koridor trasy	nepřímá linie (ohyby)	přímá linie
riziko porušení kořenových systémů	velmi vysoké	malé/zanedbatelné
riziko narušení hydrogeologických poměrů	vysoké	nízké
krajinný ráz	malé narušení	znatelné narušení
možnosti hospodaření v OP	nulové	omezené
ochrana ptactva	nevyžaduje se	bude zajištěna pomocí technických opatření
riziko eroze půdy	vysoké	nízké
zkušenosti s provozem	nízké	vysoké
možnost dočasně provozovat NPT, BY-PASs	ne	ano

Z tabulky vyplývá, že kabelové vedení oproti venkovnímu je téměř nezávislé na klimatických vlivech, je šetrné k ptákům a jiným živočichům a nenarušuje ráz krajiny. Naproti tomu má vyšší investiční náklady, komplikovanější odstranění poruch, nepřímý koridor trasy spojený s obslužnou komunikací a riziko narušení hydrogeologických poměrů a erozi půdy.

1.2 Sítě VN

V ČR lze klasifikovat vysokonapěťové soustavy (VN) z hlediska provozu na:

- Soustavy distribuční (nejčastěji 22, 35 a výjimečně 10 kV)
- Soustavy elektrárenské, průmyslové a důlní (6 a 10 kV)

Sítě VN slouží k napájení obcí, měst a průmyslových odběratelů. Na rozdíl od VVN jsou vedení kratší, avšak podstatně hustší [6]. Provozují se standardně jako paprsková síť v určitých případech pak průběžným rozvodem. Sítě VN jsou napájeny z transformačních rozvodů 110/22 kV. Výkony napájecích transformátorů jsou závislé na dané spotřebě oblasti zahrnující i výkonovou rezervu budoucího rozvoje sítě. Pohybují se většinou od 10 do 63 MVA, nejčastěji 40 MVA.

Způsob uzemnění nulového bodu transformátoru VVN/VN udává základní parametry a možnosti provozu DS. V sítích VN je nejčastěji používáno zemnění uzlu přes zhášecí tlumivku. Výjimkou jsou sítě malého rozsahu jako sítě průmyslových závodů nebo sítě vlastních spotřeb elektráren a tepláren, které jsou provozovány s izolovaným uzlem. Rozsáhlejší městské kabelové sítě mohou být provozovány s uzlem uzemněným přes činný odpor. Z pohledu nepřetržitosti dodávky elektrické energie je výhodnější provoz sítě se zhášecí tlumivkou, která umožňuje provoz se zemním spojením po dobu nezbytně nutnou pro vymanipulování poruchy. Způsob provozu uzlu má vliv na zemní poruchy.

Následující tabulka (*Tab. 1.2*) shrnuje sledované příčiny poruch a jejich procentuální zastoupení na jednotlivých objektech.

Tab. 1.2 Nejčastější příčiny dlouhodobých poruch [6]

Přibližné počty poruch [%]				
Příčiny poruchy	Objekt			
	venkovní vedení	kabelové vedení	el. stanice	celkem
atmosférická přepětí	38	1	7	46
vnější zásahy	16	11	1	28
závady materiálu	5	5	1	11
chyby obsluhy a údržby	4	0.5	2.5	7
ostatní	3	4	1	8
celkem	66	21.5	12.5	100

Mezi vnější zásahy se řadí např. zásahy cizích osob, stromů a zvěře. Ostatní příčiny pak mohou být provozní přepětí či vadná montáž. Z tabulky vyplývá, že venkovní vedení

je náchylnější na veškeré příčiny poruch především z hlediska vnějších a atmosférických vlivů v poměru 3:1.

V tabulce (Tab. 1.3) je možné navíc vidět zajímavé porovnání sítí VN a 110 kV v závislosti na četnosti jednotlivých druhů poruch [6].

Tab. 1.3 Četnost poruch pro venkovní vedení VN a 110 kV [6]

Přibližná četnost výskytu poruch v [%]				
Sít'	Zkrat/ Zemní spojení*			
	3 f	2 f	2 f zemní	1 f
VN	5	10	20	65*
110 kV	0,6	4,8	3,8	91

1.2.1 Venkovní vedení VN

Venkovní vedení VN tvoří základní napájecí síť PDS pro dílčí distribuční a odběratelské TS VN/NN. Hlavními prvky venkovního vedení VN tvoří:

- Podpěrné body, konzoly, armatury, izolační prvky a vodiče
- Rozpojovací prvky, ochranná zařízení a uzemnění

V dnešní době je také upoutána pozornost na ochranu ptactva. U nově zrekonstruovaných linek se využívají konzole typu „pařát“ s dosedací plochou tzn. vodorovná tyč umístěná pod konzolou. Na stávajících vedeních s rovinnými konzolami se instalují zábrany a bidla, zvláště v kritických úsecích. Nadzemní vedení VN nejčastěji používá holé vodiče, dále izolované vodiče a slané závěsné kabely. Ze získaných dat od distributora jsem zpracoval tabulku 1.4, která porovnává délky jednotlivých druhů vedení VN v rámci území E.ON.

Tab. 1.4 Součet délek jednotlivých druhů vedení v oblasti E.ON

Druh vedení	Součet délky [km]	Podíl
Nadzemní vedení - holé	18192,58	79,7%
Nadzemní vedení - izolované	558,55	2,4%
Nadzemní vedení - záv. kabel	35,59	0,2%
Kabelové vedení	4040,33	17,7%
Celkový součet	22827,06	100%

Holé vodiče jsou standardně využívaným typem proudového vodiče v sítích VN. Primárně se využívají lana AlFe 6, která kombinují ocelovou duši a hliníkové slané dráty. Nejběžnější používané průřezy pro holé vodiče jsou 35, 42, 70, 95 a 110 mm².

Jednoduché izolované vodiče [2] se využívají na rizikovějších lokalitách, za účelem zvýšení spolehlivosti elektrické dodávky. Jedná se o slaněná komprimovaná lana ze slitiny hliníku vybavena jednoduchou izolací. Vzhledem k základní izolaci se tato vedení považují jako vedení bez ochrany - bráno z pohledu ochrany před nebezpečným dotykem živých částí. V porovnání s holými vodiči mají sníženou vzdálenost fázových vodičů i ochranné pásmo na 2 m. Používají se v lesních průsecích a v místech s požadavkem na nižší ochranné pásmo. Celkově pomáhají snížit četnost poruch a zvyšují tak požadovanou provozní spolehlivost. Používané zkratky pro jednoduché izolované vodiče jsou JIV, PAS, SAX a ADX. Hlavní výhody izolovaných vodičů oproti holému vedení jsou:

- vyšší přenosové schopnosti
- vyšší spolehlivost až o 80 %
- snazší práce pod napětím a jednoduchá rychlá montáž
- menší ochranné pásmo
- úspory materiálu (malé konzole bez izolátorů)

Hlavní nevýhodou izolovaných vodičů i závěsných kabelů je fakt, že dispečer nepozná jakoukoliv poruchu či manipulaci s kabelem, dokud nedojde k zemnímu spojení, například, když je stržené vedení z podpěrných bodů. Nejběžnější používané průřezy pro izolované vodiče jsou 35, 50, 70 a 120 mm².

Slaněné závěsné kabely se běžně využívají tří žilové s plnohodnotnou izolací a stíněním. Zavěšují se na ocelová lana nebo jsou samonosná. Řešení závěsnými kabely je finančně nejnáročnější, a proto je využíváno jen výjimečně, pokud nelze využít zemní kabel [2]. Nejběžnější používané průřezy pro závěsné kabely jsou 16, 50, 70 a 120 mm².

1.2.2 Kabelové vedení VN

Kabelové vedení VN je nejčastěji provozováno ve velkých městech. V největší míře se provozují jako okružní síť. Jeden z hlavních požadavků na kabely je odolnost vůči vniknutí vlhkosti do izolace. V dnešní době jsou kabely s izolací papír/olej nahrazovány za kabely ze zesíťného polyetylenu XLPE. Důvodem je ekologický provoz s nižšími náklady. Ty lze dělit z pohledu opláštění na jedno a dvouplášťové. Kabelové vedení VN se pokládá do výkopů v zemi, do kabelových šachet, mostů, kanálů, kolektorů a lávek nebo případně na nosné lano. Způsob uložení kabelu je významný parametr i souvislosti s jeho dimenzováním. Uložení do země lze rozdělit na kabelové rýhy nebo bezvýkopovou

metodu pluhováním. Uložení kabelu je minimálně 1 m hluboko od povrchu terénu trasy. Pluhování [14] je moderní metoda pokládky kabelů, pro kterou byl vyvinut nový tří žilový kabel s robustním pláštěm AXAL TT-PRO. Ekonomická výhodnost je dána celkovou délkou vedení, obtížností terénu a počtem přerušení. Používané průřezy jsou 70, 120, 150, 185 a nejběžnější je 240 mm².

1.3 Sítě NN

Sítě nízkého napětí slouží k napájení koncových odběratelů. V distribuční soustavě je napětí 400 V využíváno jako nejnižší napěťová hladina. Sítě NN mají omezené schopnosti přenést výkon na větší vzdálenosti, neboť jsou limitovány úbytkem napětí na vedení. Při návrhu sítí NN je také brán ohled na stupeň důležitosti zajištění dodávky elektrické energie a velikost požadovaných výkonů. Uvedená kritéria a požadavky rozhodují nejen o dimenzování dílčích částí sítě, ale také o možnostech konfigurace sítě a způsobu připojení odběratelů. Základní typy sítí lze rozdělit dle topologie na paprskové, okružní a mřížové [2]. V sítích NN je používáno přímé zemnění uzlu transformátoru stejně, jako tomu je u VVN. Velikost výkonů distribučních transformátorů v sítí NN se může pohybovat ve velkém rozmezí od 25 až do 2500 kVA.

1.3.1 Venkovní vedení NN

V minulosti to byl nejpoužívanější způsob přenosu elektrické energie. Venkovní vedení využívají holé vodiče AlFe. Jedná se o nejlevnější variantu s řadou nevýhod v podobě např. vyšších úbytků napětí, horší spolehlivosti a estetičnosti. Stále jsou využívána jako páteřní vedení v původní zástavbě malých obcí nebo pro napájení samot. Za normálních okolností jsou nahrazována kabelovým vedením. V situacích, kdy kabelová vedení jsou technicky náročná, se využívá venkovní vedení z izolovaných vodičů a závěsných kabelů. Pro kmenová vedení se používají průřezy AlFe lan 70/11 případně 42/7 mm² pro krátká vedení. Na přípojky je využíváno průřezu 25/4 mm² [4].

Venkovní vedení NN z izolovaných vodičů je další možností provedení páteřních tras. Historie izolovaných vedení typu AES používaných v ČR je datována od devadesátých let minulého století. Z konstrukčního hlediska jsou izolované vodiče typu AES slané ze 4 jednotlivě izolovaných vodičů stočených do jednoho svazku. Použitá izolace bývá z lineárního polyetyleny. Průřez vodičů se pohybuje od 16 do 120 mm² nejčastěji však 70, 95 a 120 mm². V případě využití vedení i pro napájení veřejného

osvětlení se používají s přidáním pátého či šestého vodiče s průřezem vodiče 1 x 25 nebo 2 x 16 mm² [5].

Venkovní vedení ze závěsných kabelů se využívá jen v malých průřezech do 35 mm², jako odbočky páteřního vedení k jednotlivým odběratelům. Zpravidla jsou izolované vodiče ve společném plášti s nosným ocelovým lanem například AYKYz. Izolace jednotlivých žil a společný plášť bývá z PVC [2, 5].

1.3.2 Kabelové vedení NN

Kabelová vedení NN poskytují rozvod elektrické energie od TR VN/NN až do přípojkové skříně koncového odběratele. Nejčastěji se realizují z kabelů s hliníkovým jádrem, případně měděným s PVC izolací. Jedná se o nejběžnější způsob rozvodů NN ve městech a v ucelených vesnických zástavbách. Výhody kabelových vedení oproti venkovní jsou velmi podobné jako u výše uvedených izolovaných vodičů a navíc lze zmínit lepší estetičnost a menší prostorové nároky. Hlavní nevýhodou jsou pořizovací náklady. Způsob provozování vedení je nejčastěji okružně nebo paprskově. Koncoví spotřebitelé mohou být připojeni buď T-odbočkami, nebo smyčkováním kabelu. Nejmenší dovolený průřez přípojky je 16 mm² a v případě odbočení T-spojku je 25 mm² [4].

Tab. 1.5 Porovnání předností T-odbočky a smyčky [4]

T-odbočka	Smyčka
Menší impedance a úbytek napětí	Snazší vyhledání poruch
Lepší přenosová schopnost	Montážně jednoduché
Menší spotřeba kabelu	Snadné zajištění náhradního provozu

2 Kabelizace distribučních sítí

2.1 Historický vývoj kabelů

Kabel, v podobě v jaké ho dnes známe, však nebyl ještě v 19. století znám a jeho vznik nebyl nenadálý a jednoduchý. Předcházelo mu velké množství neúspěšných pokusů, kupříkladu holé vodiče v dřevěných žlabech či asfaltová izolace, která po vyschnutí nedisponovala požadovanou flexibilitou. Avšak i tyto snahy přispěly k objevení vhodné struktury izolace vodiče, kde významnou roli sehrálo nově přidané olovo. Inspirací zřícených Pompejí v Itálii a především pak předmětů obalených olovem, bezchybně zachovalých, tak rozhodlo pro použití olova jako ochrany kabelů. Na izolační asfalt s pryskyřicí a olejem se tlakově nanasla tento kov a vznikl první kabel určený pro DS, který byl vyroben roku 1879 [9]. Ačkoliv byl tento objev dílem náhody, jeho hojné použití bylo jedním z faktorů rozvoje odvětví, ve kterých se kabelizace využívala. O dobré odolnosti vypovídá také fakt, že následně poté se začal tento typ kabelu využívat pro potřeby elektroenergetiky a sdělovací techniky na velké vzdálenosti či dokonce vedením v hlubokých mořských vodách. Tabulka (Tab. 2.1) znázorňuje historický vývoj využití kabelu v Evropě.

V roce 1917 byl patentován kabel s olejovým kanálem ve středu svazku, který byl vhodný pro sítě VVN. Součástí kabelu byly expanzní nádoby, které vyrovnávaly tlak oleje a zamezovaly vzniku bublin při změně zatížení kabelu [10].

Tab. 2.1 Použití kabelu v Evropě

Rok	Napětí	Použití
1924	134 kV	Miláno
1936	225 kV	Paříž
1952	380 kV	Švédsko
1957	600 kV	vyvinut
1964	750 kV	vyvinut

2.2 Historie kabelizace v Česku

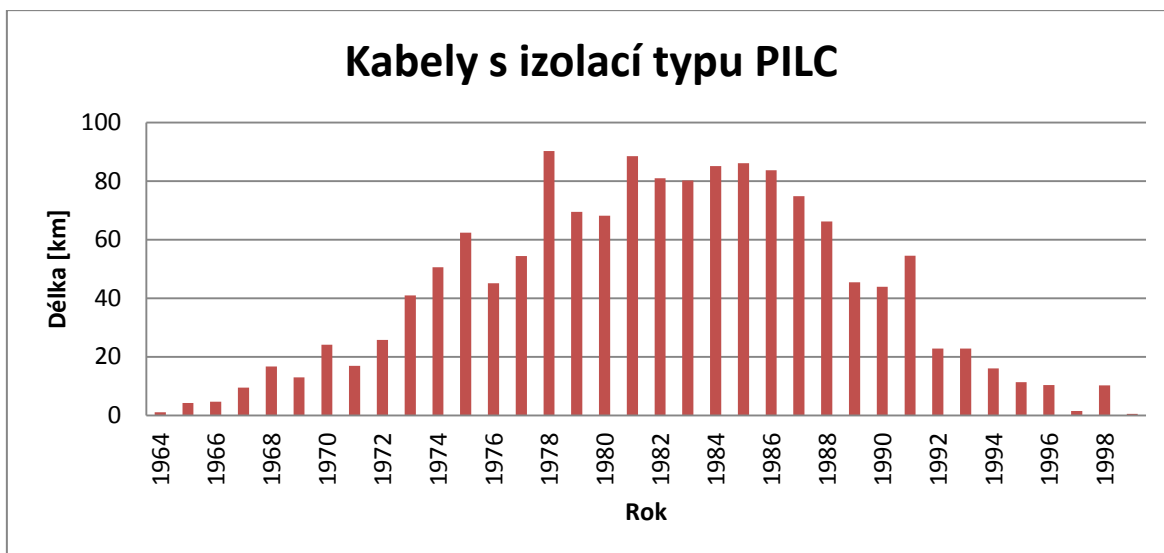
K rozvoji kabelového vedení pro rozvod elektrické energie významně přispěla výstavba elektrického osvětlení a tramvajové dopravy. Tehdejší provozní napětí osvětlovacích žárovek bylo 120 V, avšak tato velikost napětí nebyla dostatečně velká pro delší přenosy. Technické a ekonomické možnosti omezily přenosovou schopnost kabelového vedení na vzdálenost dosahující horní hranice 1,5 km. Tato skutečnost bránila tehdejšímu rozvoji kabelových vedení. Následným používáním třífázového střídavého

proudu a jeho snadnější transformací napětí byl umožněn dálkový přenos. V roce 1900 byla spuštěna elektrárna v Holešovicích na střídavý proud o velikosti napětí 3 kV. Pomocí kabelů bylo střídavé napětí o velikosti 3 kV rozváděno do měřičů, které usměrnily napětí pomocí rotačních usměrňovačů na 120 V stejnosměrných. Postupem času byly větší nároky na izolaci kabelů z důvodu postupného přechodu na vyšší napěťové hladiny. Už v roce 1924 bylo používáno napětí 66 kV. To si vyžádalo zavedení vrstvených papírových izolací, které se vysušovaly, vakuovaly a napouštěly olejem s kalafunou [8] [10].

Jeden z nejvýznamnějších podniků tehdejší doby bylo Kablo Kladno, který začal vyrábět v roce 1935 olejové kabely do 35 kV, a roce 1952 vyrobil kabely pro vodní elektrárnu Slapy na síť 110 kV. Technologický pokrok umožnil výrobu prvního plastového kabelu v roce 1950 pro polní telefony a 1970 první celoplastový kabel z PE izolací pro síť 22 kV [13].

2.3 Analýza dat pro oblast provozovatele E.ON

Kabelová síť VN byla historicky ovlivněna technickým vývojem, při kterém docházelo k nástupu nových konstrukčních provedení kabelů. Dodnes tak můžeme v této kabelové síti nalézt poměrně mnoho typů kabelů odlišné konstrukce, které jsou stále v provozu. Jak je výše uvedeno, nejdříve se používaly kabely s papírovou izolací napuštěnou olejem, patřící do kategorie PILC (Paper Insulated Lead Cover). Ty jsou v současné době využívány především ve tříplášťovém typu kabelu ANKTOYPV, ANKTOYPVs, AMKTOYPV a další. Od distributora jsem dostal k dispozici databázi vedení VN pro celou oblast E.ON. Databáze obsahovala tyto charakteristiky - délku z grafiky, rok výstavby – rekonstrukce, druh vedení (venkovní / kabelové), vlastnictví, materiál vodiče, průřez vodiče a název oblasti regionální správy. Z uvedených parametrů jsem vyfiltroval materiál vodiče / izolace a zároveň rok výstavby nebo rekonstrukce z čeho bylo možné vytvořit následující předkládané grafy.



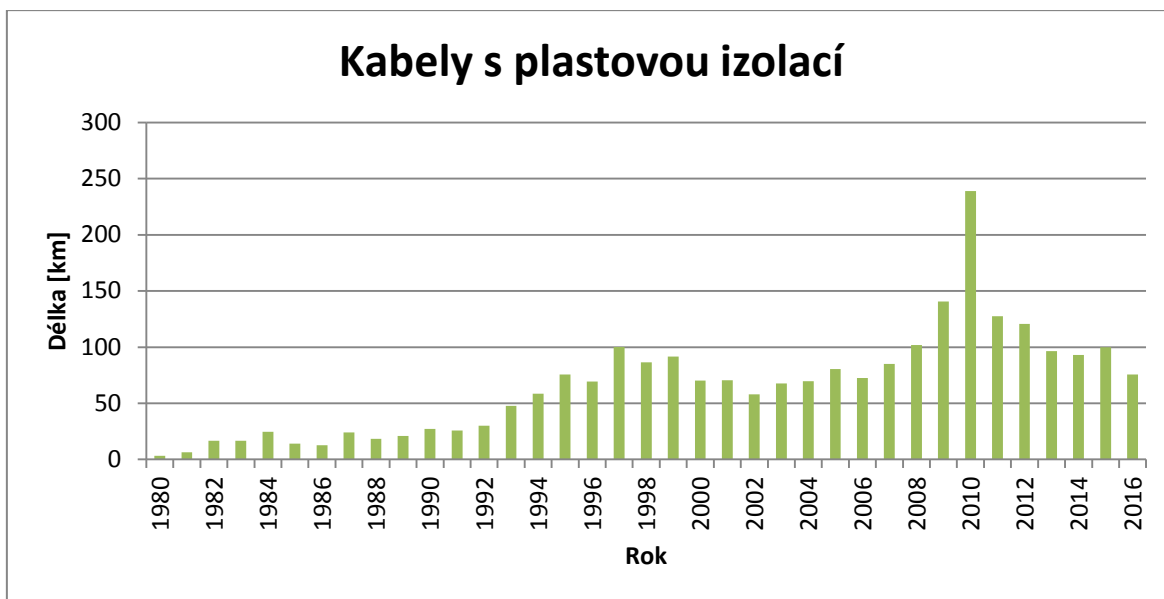
Graf 2.1 Výstavba nových kabelových vedení s izolací PILC v jednotlivých letech v E.ONu

Při mé bližší analýze získaných dat VN kabelů pozoruji vliv výstavby a rekonstrukce kabelů v závislosti na druhu izolace. Časová řada v grafu 2.1 znázorňuje délky nově vzniklých kabelů pro jednotlivé roky. Od šedesátých let minulého století je patrný stoupající trend až do osmdesátých let, kde stagnuje na svém vrcholu. Na vzrůstající trend mělo vliv několik faktorů:

- přechod soustavy z 6 kV na 22 kV
- lepší technologie konstrukce kabelů a dalších navazujících prvků
- investiční náklady
- rozvoj měst – průmyslový rozvoj, výstavba sídlišť

V osmdesátých letech byl rozvoj nejvýznamnější. V tomto období se hodně investovalo do nových kabelových sítí např. z důvodu výstavby sídlišť panelových domů, kterým bylo nutno zajistit napájení.

Další etapou je historický rozvoj výstavby kabelů s celoplastovou izolací. V osmdesátých letech se uskutečnily první pokládky kabelů s PE izolací. Výstavba byla brzděná kvůli nedostatku zkušeností a vyšší poruchovosti kabelů. K plášťovým poruchám docházelo vlivem působení vody na izolaci. Vysoká vlhkost zapříčinila tvorbu vodních stromečků v izolaci. Tento fenomén vedl k výrobě XLPE za sucha oproti dřívějšímu postupu pomocí páry a zvýšila se pozornost na příčné a podélné šíření vody.



Graf 2.2 Výstavba nových kabelových vedení s plastovou izolací v jednotlivých letech v E.ONu

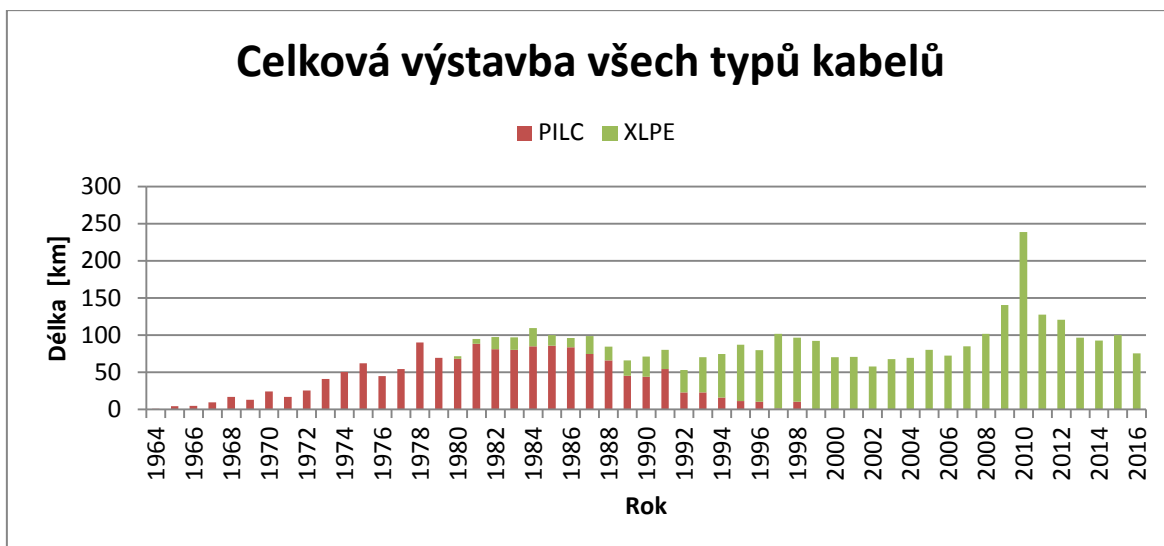
Historický vývoj výstavby kabelů s plastovou izolací ukazuje graf 2.2. Zpočátku se používal jednoduchý kabel AXEKCY s izolací XLPE a pláštěm z PVC. Postupem času byl nahrazován kabelem AXEKVCEY, který má ochranu proti podélnému šíření vody. XLPE zajišťuje u kombinovaného pláště mechanickou odolnost a vnější vrstva z PVC zvyšuje odolnost proti šíření plamene.

Ve výsledném grafu je zahrnuta výstavba všech druhů kabelů v období padesáti let. V grafu 2.3 jsou patrné tři významné období výstavby kabelů VN.

První období souvisí s grafem 2.1 a tím také s rozvojem průmyslu a výstavbou sídlišť se zvedala i poptávka po elektrické energii. Zvýšenou pokládku kabelů VN v osmdesátých letech lze odůvodnit také dokončením výstavby jaderné elektrárny Dukovany v roce 1987.

Druhé významné období nárůstu nových kabelů VN bylo v devadesátých letech a lze ho odůvodnit výstavbou jaderné elektrárny Temelín. Elektrické energie bylo dostatek a nic nebránilo v rozvoji kabelového vedení VN.

Poslední třetí období kolem roku 2010 bylo značně ovlivněno podporou v oblasti obnovitelných zdrojů energie (OZE). Primárně se jednalo o připojování fotovoltaických elektráren (FVE) do distribuční soustavy.



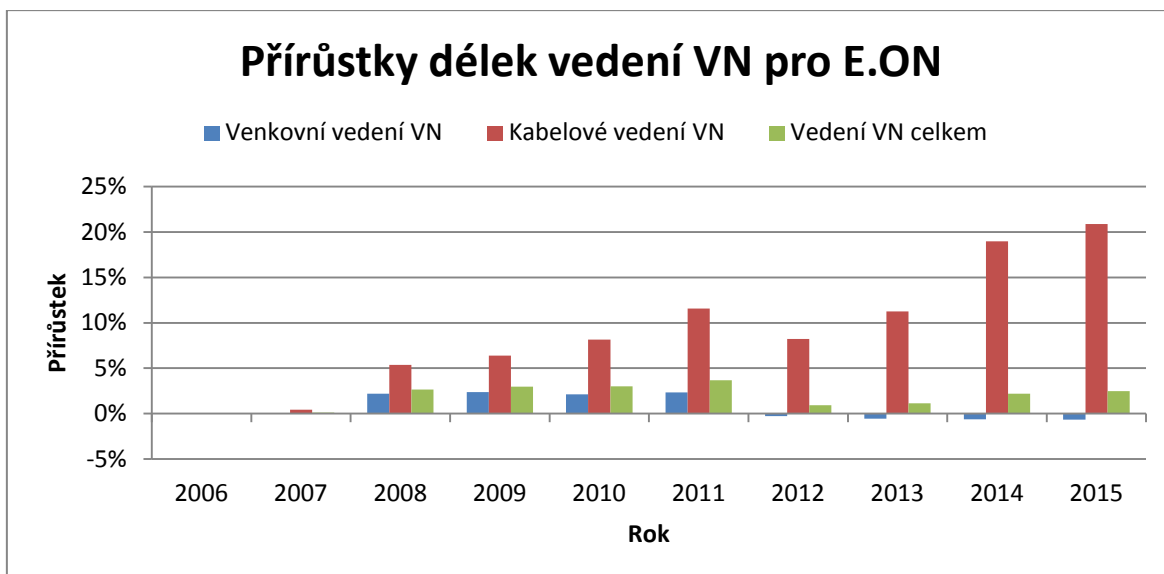
Graf 2.3 Celková výstavba všech typů kabelů VN za jednotlivé roky v E.ONu

2.3.1 Kabelizace distribučních sítí

Kabelizace je fenoménem moderní doby a tento trend lze pozorovat na všech napěťových hladinách v distribuční soustavě. Jedním z cílů této práce je právě stanovení trendu kabelizace v distribuční síti. K tomu jsem využil provozní statistiky získané od distributora, které obsahují informace o délkách tras a k nim přiřazené rozvinuté délky vedení. Veškeré délky jsou zpracovány pro jednotlivé oblasti E.ONu a pro jednotlivé napěťové hladiny používané v distribuční síti. Z provozních statistik, jsem zanalyzoval přírůstky všech vedení v období roku 2005 až 2015 na všech napěťových hladinách. Rok 2005 jsem stanovil jako referenční, jelikož jsem neměl straší data k dispozici. Dle referenčního roku 2005 jsem porovnával další roky.

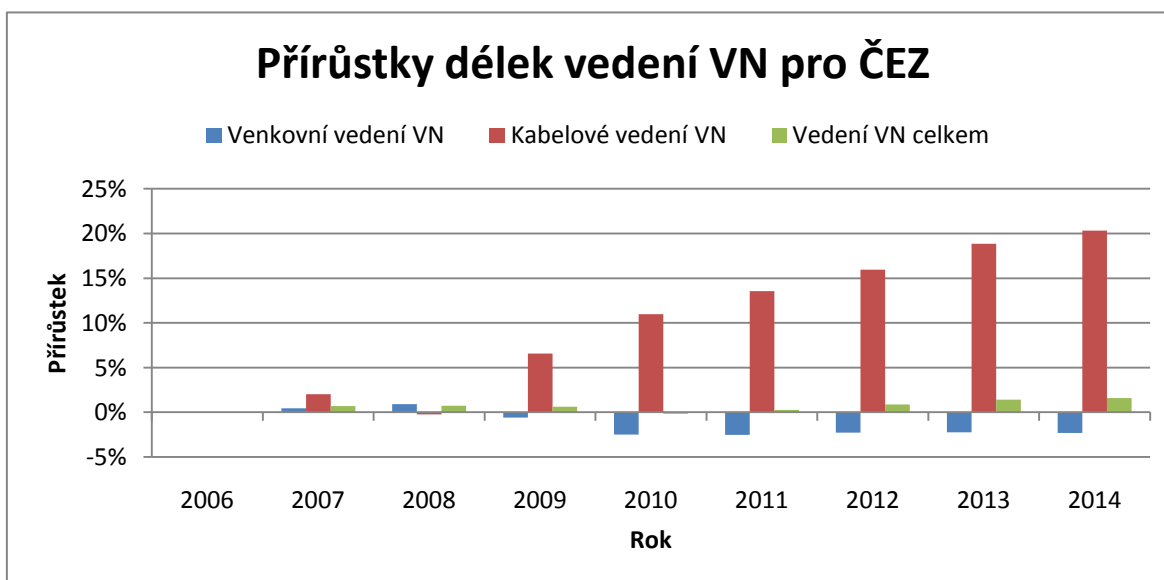
Důležité je, že v jednotlivých grafech jsou procentní přírůstky vztaženy k referenčnímu roku. Nejedná se tedy o meziroční přírůstky. Důvodem je větší zvýraznění dílčích přírůstků. Meziroční přírůstky lze vyčíst z obálek výsledných hodnot.

Vzhledem k tomu, že diplomová práce je zaměřena hlavně na síť VN, udělal jsem na této napěťové hladině porovnání přírůstků délek vedení pro oblasti v rámci působení E.ON a ČEZ. Aby porovnání bylo co nejobektivnější, provedl jsem analýzu dle publikace [17]. Protože použité data z oblasti ČEZ byly od roku 2006, musel jsem pro toto konkrétní porovnání zvolit referenční rok 2006.



Graf 2.4 Procentní přírůstky vedení VN pro E.ON vztažené k roku 2006

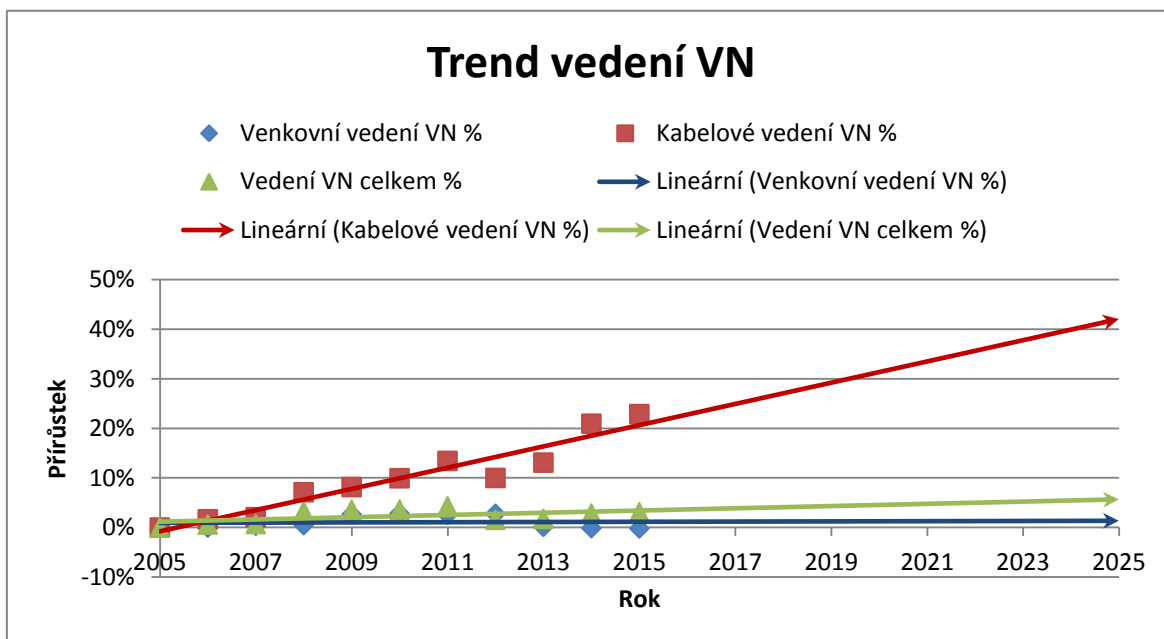
Graf 2.4 ukazuje, že délka kabelových vedení se zvýšila v období roku 2006 až 2014 na skoro 19 % pro E.ON a přes 20 % pro ČEZ. V případě venkovních vedení jsem zaznamenal pokles o 0,62 % pro E.ON. Pokles pro ČEZ vykazuje 2,31%. Celkově však vedení VN přibývá o 2,21 % pro E.ON a 1,6 % pro ČEZ. Současné poměry kabelového/venkovní vedení VN (17/83 % E.ON) a (20/80 % ČEZ) vysvětlují nízké procentní poklesy venkovních vedení, které jsou stále dominantní.



Graf 2.5 Procentní přírůstky vedení VN pro ČEZ vztažené k roku 2006

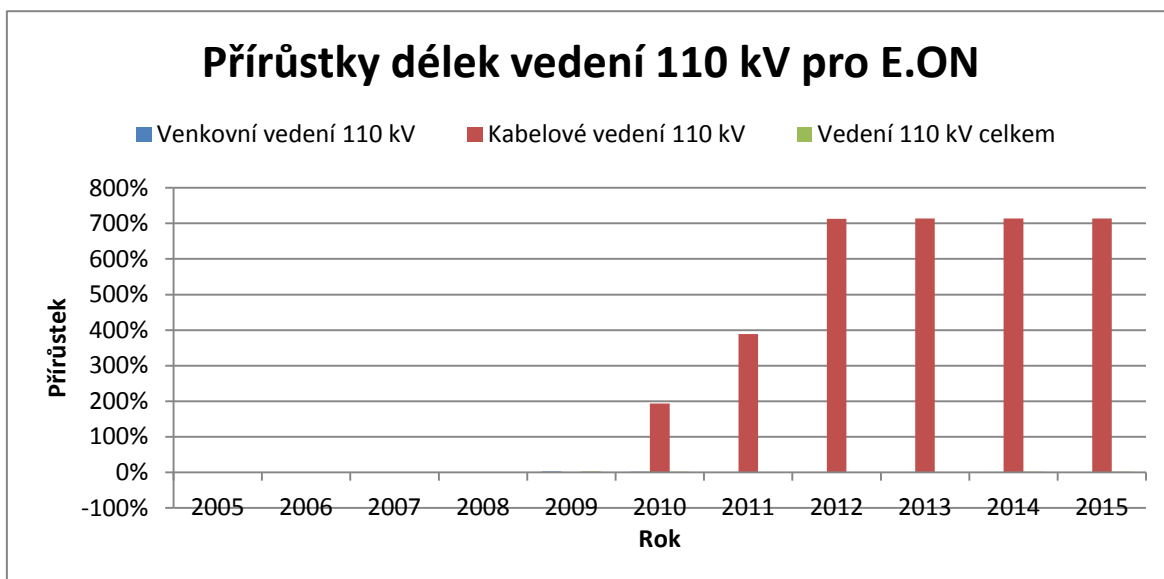
Kvůli nedostatku dat jsem nemohl použít sofistikovanější metodu predikce, a tak jsem pomocí funkce lineární křivky s určitou nepřesností odhadl trend růstu případně

poklesu délek jednotlivých druhů vedení. Dle tohoto trendu lze usoudit, že úbytek venkovního vedení bude mít vliv na nárůst kabelového vedení. Tento trend nebude ovšem platit do nekonečna a bude konvergovat na ustálenou hodnotu.



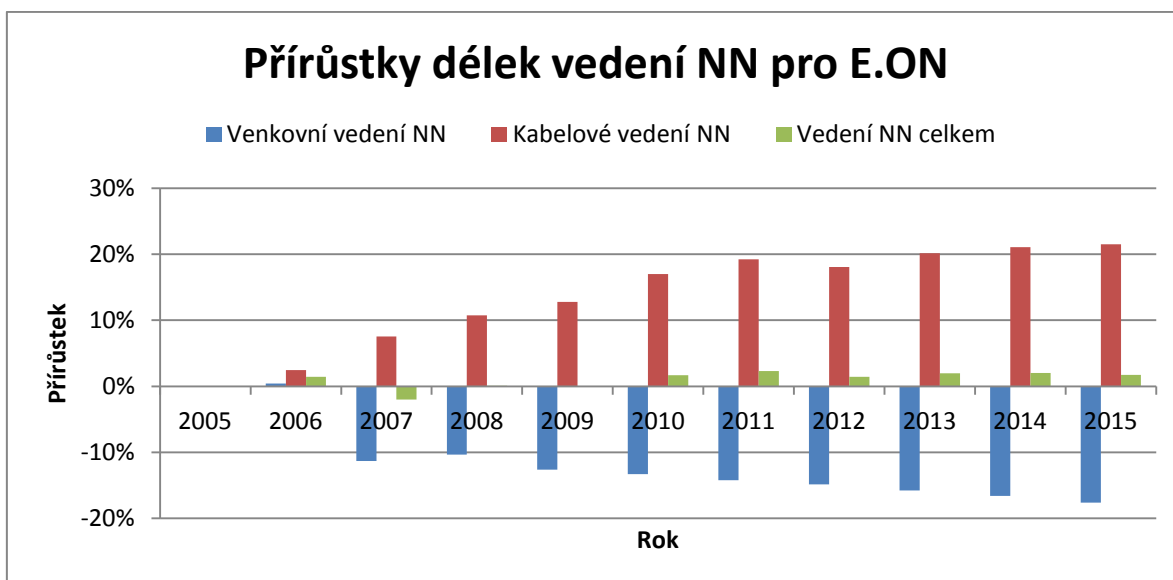
Graf 2.6 Trend vedení VN od roku 2005

V síti 110 kV je také viditelný nárůst kabelového vedení vzhledem k velmi krátkým kabelovým vedením je přírůstek radikální přes 700% ve sledovaném období se zvýšila délka kabelového vedení o 9,2 km. Kabelová vedení 110 kV se budou i nadále rozšiřovat se stoupající poptávkou elektrické energie v centru měst. Venkovní vedení 110 kV je značně rozsáhlé a přírůstek pouze o 1,02% odpovídá 39 km.

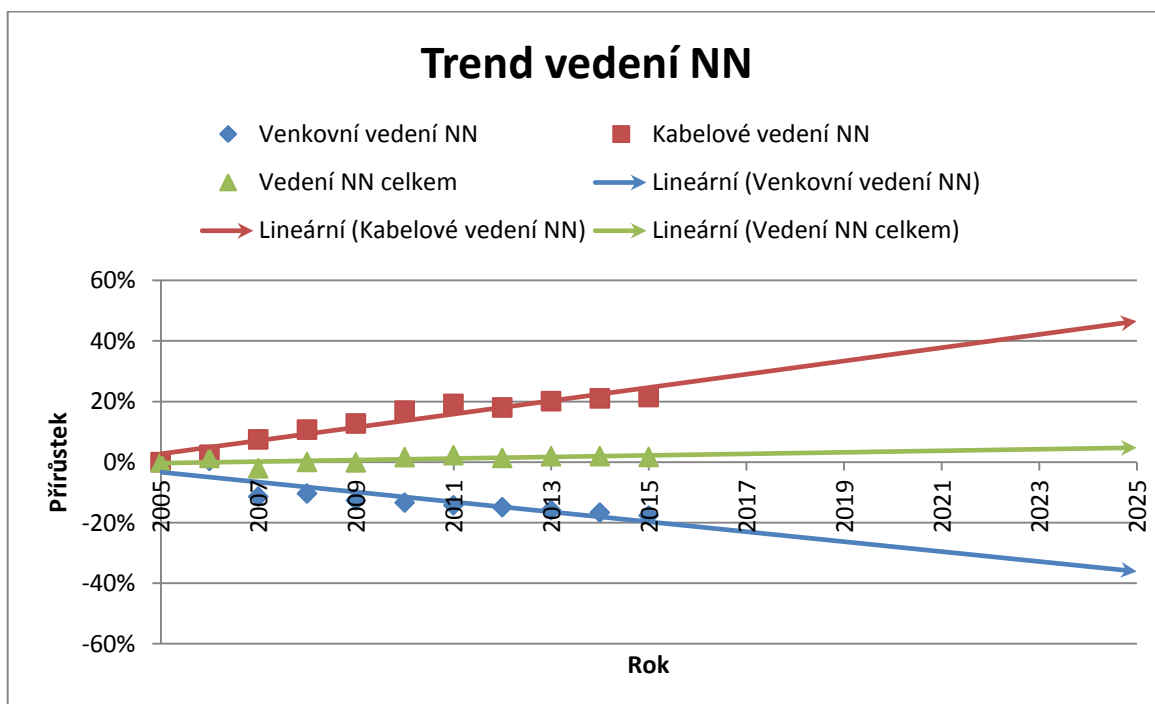


Graf 2.7 Procentní přírůstky vedení od roku 2005 pro vedení 110 kV

Vedení NN je ukázkový případ kabelizace, dochází často k obměně starého venkovního vedení za kabelové. Ve městech již venkovní vedení NN nenajdeme, ale na venkově jsou stále hojně rozšířená, proto lze predikovat další pokles venkovního vedení na úkor kabelových vedení NN. Porovnání regionálních oblastí uvádím dále viz (Příloha 11) až (Příloha 21).



Graf 2.8 Procentní přírůstky vedení NN vztahované k roku 2005



Graf 2.9 Trend vedení VN od roku 2005

2.4 Důvody a přínosy častější kabelizace

Trend kabelizace v distribuční soustavě lze odůvodnit mnoha faktory:

- Technický pokrok a vývoj kabelové techniky
- Snaha o zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti
- Změna legislativy
- Rozvoj distribuční soustavy

2.4.1 Technický pokrok a vývoj kabelové techniky

Technický pokrok ve vývoji a výrobě kabelu úzce souvisí se spolehlivostí kabelového vedení. Dnes používané kabely mají odolnější plášťovou izolaci z PVC a primární izolaci ze zesíťovaného polyetylenu, jsou odolnější vůči průniku vlhkosti do izolace. Konstruktivně nové kabely pomáhají snížit poruchovost v distribuční soustavě.

2.4.2 Snaha o zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti

Kabelové vedení se pokládá do země, kolektorů nebo kabelových kanálů, kam nemají osoby bez elektrotechnické kvalifikace přístup, proto je v porovnání s venkovním vedením jednoznačně bezpečnější.

Provozovatelé distribučních soustav jsou motivováni Energetickým regulačním úřadem (ERÚ)¹ ke zvyšování spolehlivosti distribučních sítí pomocí parametrů nepřetržitosti dodávky elektrické energie. Vyhláška ERÚ č. 540/2005 Sb. o kvalitě dodávek a služeb v elektroenergetice stanovuje požadovanou kvalitu dodávek elektřiny a služeb, výši náhrad za nedodržení standardů, lhůty pro uplatnění nároku na náhrady a postupy jak vykazovat dodržování kvality dodávek elektrické energie. Na základě ukazatelů nepřetržitosti dodávky SAIDI a SAIFI je provozovatel distribuční soustavy penalizován či bonifikován podle parametru Q (faktor kvality).

SAIDI (System Average Interruption Duration Index) udává průměrnou celkovou dobu přerušení dodávky za jeden kalendářní rok na jednoho zákazníka/odběratele. Celková

¹ ERÚ - ústřední správní úřad pro výkon regulace v energetice, v jehož působnosti je ochrana zájmů spotřebitelů a držitelů licence v těch oblastech energetických odvětví, kde není možná konkurence, s cílem uspokojení všech přiměřených požadavků na dodávku energií.

doba přerušení obsahuje, jak plánované, tak neplánované přerušení dodávky elektrické energie. Pro ukazatel SAIDI se zaznamenávají pouze delší přerušení než 3 minuty.

$$SAIDI = \frac{\sum_i t_{ih} * N_{ih}}{N_{sh}} \quad (2.1)$$

SAIFI (System Average interruption Frequency Index) udává četnost přerušení dodávky elektrické energie na jednoho odběratele. Celková četnost přerušení obsahuje, jak plánované, tak neplánované přerušení dodávky elektrické energie.

$$SAIFI = \frac{\sum_i N_{ih}}{N_{sh}} \quad (2.2)$$

CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index) udává průměrnou dobu trvání jednoho přerušení dodávky na jednoho odběratele.

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (2.3)$$

Kde:

t_{ih} je doba trvání i-tého přerušení

N_{ih} je počet postižených odběratelů i-tého přerušení

N_{sh} je celkový počet odběratelů

U hladinových ukazatelů index **h** zastupuje jednotlivé napět'ové hladiny. Uvažují se odběratelé jedné napět'ové hladiny. Pro systémové ukazatele je nutné provést záměnu za index **s**, pak lze uvažovat všechny odběratele v distribuční soustavě. Ukazatele spolehlivosti je možné aplikovat na jednotlivé regiony, obce či vývody.

Existují i další ukazatele spolehlivosti, které se ale v ČR nepoužívají. V současné době rostou nároky zákazníků i na krátkodobé přerušené dodávky elektrické energie a zahraničí se využívá i ukazatel MAIFI², který udává četnost krátkodobého přerušení do 3 minut. Dále se využívá v zahraničí ukazatele na nedodanou elektrickou energii ENS³ a další ukazatele jako: ASIDI⁴, ASIFI⁵, TEIPI – (ekvivalentní doba přerušení vztažená na instalovaný výkon – používá Španělsko a Portugalsko), T-SAIDI – (vážený průměr závislý na roční spotřebě – používá Finsko) [19]

² Momentary Average Interruption Index

³ Energy Not Supplied

⁴ Average System Interruption Duration Index

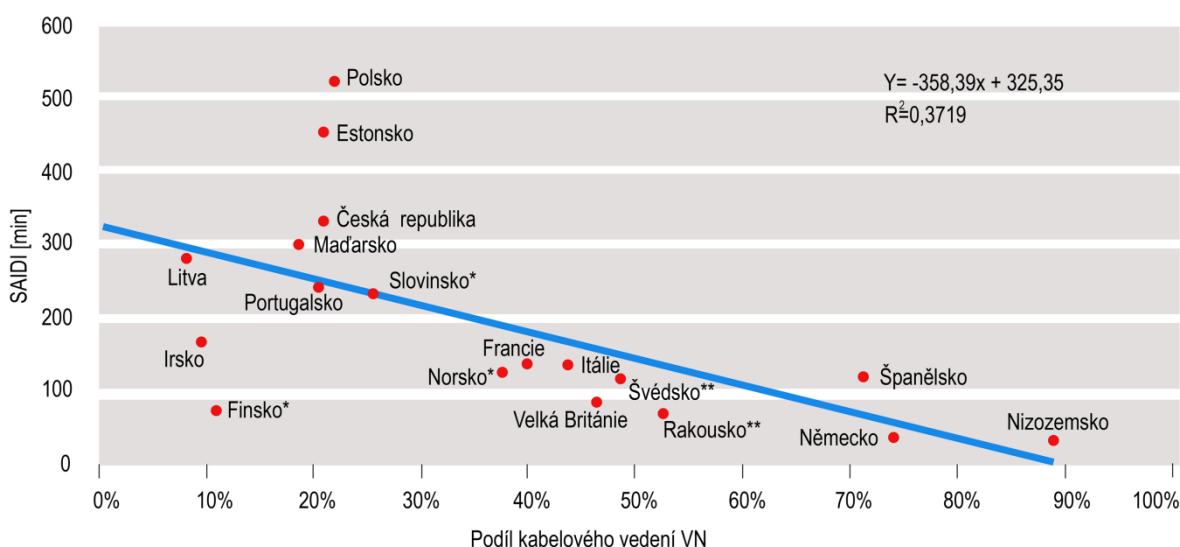
⁵ Average System Interruption Frequency index

Novým prvkem k posouzení ukazatelů spolehlivosti, je zavedení klouzavého průměru a pro výpočet komponenty Q, je uvažován průměr ukazatelů z předchozích dvou let. Cílem je snížení meziročního kolísání ukazatelů. Význam regulace kvality ERÚ by měl zajistit motivaci distributorům pro zvýšení kvality elektrické dodávky koncovým odběratelům. Roční zpříšňování ukazatelů SAIDI a SAIFI je (0,75% a 5%) pro E.ON [16].

Při současném zvyšování nároků na ukazatele je nutná investice do modernizace distribuční sítě. Moderní kabelové vedení vychází spolehlivěji ve srovnání s venkovním. Na druhou stranu poruchy na kabelech bývají závažnější a dlouhodobé. Často vznikají cizím zaviněním nebo na kabelových spojkách. Kabelizace však není jediná možnost ke zvýšení spolehlivosti a pozornost je věnována i automatizaci v distribuční síti a to nasazováním dálkově ovládaných úsečníků a recloserů.

Ze strany distributora je dobré si uvědomit, že rozvojem celého distribučního systému se však zvyšuje podíl nových prvků a rostou celkové délky vedení, které zvyšují pravděpodobnost přerušení dodávky.

Evropský energetický regulační úřad CEER⁶ udává přehled a korelace ukazatelů spolehlivosti závislých na míře kabelového vedení v jednotlivých evropských zemích. Celkový průměr SAIDI v období 3 let (nejčastěji 2008-2010) a procento kabelového vedení VN zobrazuje následující (Graf 2.10). Navzdory silné závislosti mezi veličinami však neznamená, že jedna je primárně závislá na druhé.

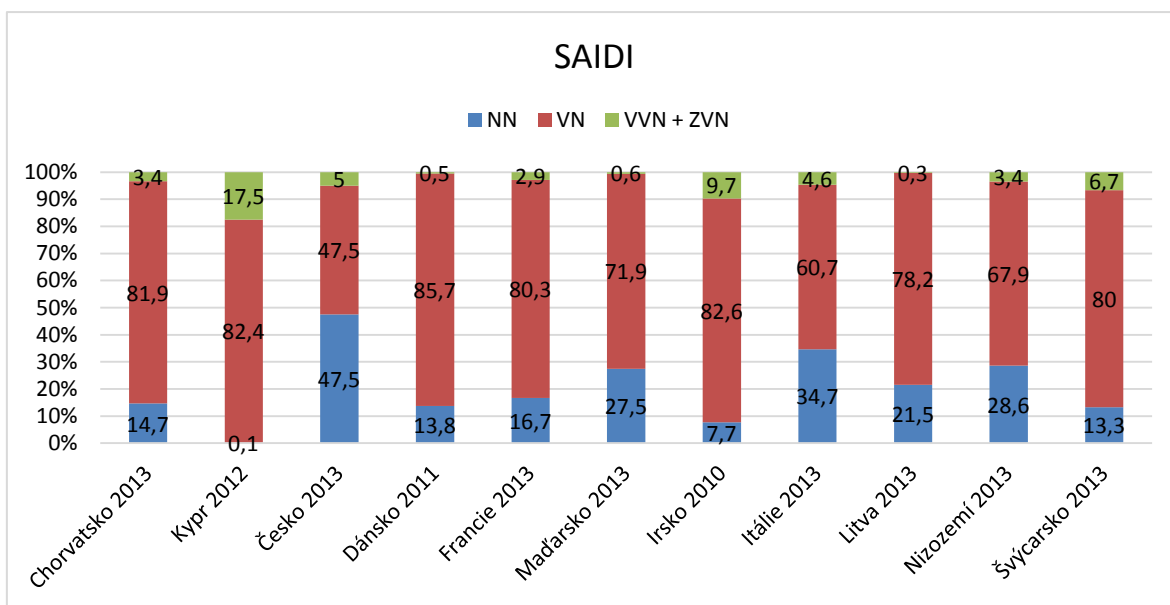


Graf 2.10 Závislost celkového ukazatele SAIDI na procentním podílu kabelového vedení VN

⁶ Council of European Energy Regulators

Některé země jako (Rakousko, Finsko, Norsko a Slovinsko) nepočítají do SAIDI napěťovou hladinu NN. Ve Finsku a Španělsku se počítají alternativní ukazatelé podobné ASIDI, ze kterých lze s určitou nepřesností stanovit SAIDI. Švédsko se pohybuje meziročně na hodnotě SAIDI kolem 100 minut, s výjimkou roku 2005 (946 minut) a 2007 (345minut) v důsledku silných bouří. Česko z pohledu SAIDI se pohybuje v tomto srovnání hůře než je evropský průměr vztažený k podílu kabelového vedení VN. Trend vycházející z Graf 2.10 naznačuje, že zvyšující se podíl kabelového vedení jednotlivých evropských zemí snižuje index SAIDI. Míra kabelizace v jednotlivých zemích je však dána spíše historickými důvody než cílenou snahou o zlepšení spolehlivosti a souvisí s plošnou hustotou obyvatelstva, zástavbou, způsobem provozu a topologií sítí a také s estetickými požadavky místních úřadů. Ze zahraničních zkušeností je také patrné, že do kabelizace venkovního vedení nezasahují jen technické pohledy, ale i výběr ekonomicky efektivnějších řešení nebo různá politická rozhodnutí [20]. Podíl kabelových a venkovních vedení vybraných evropských zemí je uveden v grafech viz (Příloha 3) až (Příloha 5).

Navazující (Graf 2.11) ukazuje, jaké procento neplánovaného SAIDI je způsobeno poruchami na konkrétní napěťové hladině s výjimkou mimořádných událostí pro vybrané evropské země [19]. Z grafu je patrné, že Česko má na hladině VN nejmenší podíl SAIDI mezi vybranými evropskými zeměmi.



Graf 2.11 SAIDI závislé na napěťových hladinách pro vybrané země v Evropě

2.4.3 Změny legislativy

Z pohledu legislativy je významná vyhláška č. 501/2006 Sb. o obecných požadavcích na využívání území. § 24 odst. 1 udává způsob umístění elektrického vedení v zastavěném území obce pod zem. Dřívější vyhláška pouze doporučovala umístění vedení pod zem. Z toho vyplývá, že v zastavěném území obcí se musí na všech napěťových hladinách kabelizovat a pokud to nejde, tak pouze na základě opodstatněné výjimky. Definice zastavěného území obce je vysvětlena ve stavebním zákoně č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu § 2 odst. 1 písm. d). Dále dle stavebního zákona § 79 odst. 1 písm. s), v případě nutnosti obměny vedení technické infrastruktury, pokud nedojde ke změně trasy a překročení hranice dosavadního ochranného pásma, není zapotřebí rozhodnutí o umístění stavby ani územní souhlas. V praxi pak při výměně stávajícího venkovního vedení za kabelové bývá komplikovaná dohoda s vlastníky pozemků nově vytyčené trasy.

2.4.4 Rozvoj distribuční soustavy

Rozvoj decentralizované výroby velmi ovlivňuje kabelizaci v distribuční soustavě a to nejen v České Republice. Decentralizovaná výroba je charakterizována větším počtem zdrojů nižšího výkonu vyráběného v místě spotřeby a úzce souvisí s výstavbou obnovitelných zdrojů energie. Dlouhé kabelové vedení je typické pro připojování obnovitelných zdrojů energie (OZE) a výhodou jsou nižší úbytky napětí v porovnání s venkovním vedením.

Velký přínos kabelizace je v oblastech s opakovanými poruchami způsobené pády velkých větví či celých stromů, které nelze snadno a rychle opravit. Opravy jsou pak nákladné a zdlouhavé. Ani opatření v podobě izolovaných vodičů se nejeví jako dostatečně vhodné a v případě odboček pocházejících takto rizikovými oblastmi by ani instalace recloseru nebyla ideálním řešením, proto se vyskytují u venkovního vedení úseky kabelové. Přínosem častější kabelizace je vyšší spolehlivost dodávek elektrické energie.

2.5 Rizika častější kabelizace

Kabelizace v distribuční soustavě přináší také své nevýhody. Zvyšování podílů kabelového vedení je spjaté s nežádoucím růstem zemních kapacitních proudů, které jsou nebezpečné z provozního hlediska na velikost dotykových a krokových napětí.

2.5.1 Problematika kapacitních proudů

Všechny vodiče venkovního vedení představují v podstatě kapacity se vzduchovým dielektrikem. U kabelového vedení tvoří dielektrikum jednotlivé izolační vrstvy. U obou druhů vedení rozlišujeme vzájemné kapacity mezi fázemi a kapacity mezi fázemi a zemí. Z jednotlivých parciálních kapacit lze určit celkovou provozní kapacitu vedení běžně používanou v jednotkách $\mu\text{F}/\text{km}$. Působením kapacit jednotlivých vodičů má za následek vznik zemních kapacitních, případně nabíjecích, proudů I_c .

Nabíjecí kapacitní proud vyvolává nežádoucí proudové zatížení i v nezatíženém stavu kabelového vedení. Pomocí kapacitního proudu dochází k překompenzování vedení a může vznikat přetok jalové energie. Tento efekt lze zaznamenat hlavně v době nízkého odběru energie. Vznikají tak ztráty na vedení, které mají negativní dopad na ekonomiku provozu, a tak vzniká motivace pro omezení těchto ztrát respektive nabíjecích kapacitních proudů, jelikož jsou kvadraticky závislé na Jouleových ztrátách. V Česku se tato problematika řeší jen sporadicky, kvůli dodržení definovaného účinníku v předávacích bodech. V severní Evropě je tato problematika aktuální v důsledku budování dlouhých kabelových tras k velkým parkům větrných elektráren.

Možnosti omezení jsou ve zkrácení kabelového vývodu na možné minimum nebo použití dekompenzačních tlumivek. Lze učinit další opatření v podobě využití vysokonapěťových kabelů na stejnosměrné napětí HVDC nebo využití supravodivých kabelů. Obě technologie mají výrazně nižší provozní ztráty, ale jsou investičně velmi nákladné. Mohou být efektivní na dlouhé vzdálenosti.

Zemní kapacitní proudy přináší problémy s vypínáním obloukových zemních spojení a následným opalováním postiženého místa. Často dochází k přerušovanému jednofázovému zemnímu spojení, které má negativní dopad na zdravé fáze v podobě nežádoucího přepětí. Je tedy třeba efektivně omezit respektive vykompenzovat kapacitní proudy, které rostou s přibývajícím délkou vedení, což je aktuálně velmi diskutované téma. V provedené analýze jsem uvedl rostoucí trend kabelových vedení, který zásadně zvyšuje kapacitní proudy. Velikosti kapacitních proudů jsou závislé na průřezu druhu vedení. Se zvětšujícím se průřezem roste kapacitní proud. Nejnižších hodnot dosahuje venkovní vedení s využitím aktuálně používaných konzol do trojúhelníkového uspořádání např. delta nebo pařát. U starších vedení, kde se běžně využívá jednoduchá rovinná konzole, vychází velikost kapacitních proudů o zhruba 4 % větší. U kabelového vedení má velký vliv na velikost kapacitních proudů materiál izolace. Nové kabely ze zesíťovaného

polyetylenu mají zhruba o 29 % nižší kapacitní proud na kilometr vedení ve srovnání se starými kabely využívající izolaci papír/olej. Podrobnější hodnoty jsou uvedeny ve třetí kapitole.

Z uvedeného vyplývá, že obměna dosluhujících kabelů s papírovou izolací za nové kabely povede k výhodnému poklesu kapacitních proudů o víc než 1 A/km. Na druhou stranu kabelizace venkovního vedení tzn. náhrada venkovního vedení za kabelové, vede k enormnímu nárůstu o zhruba čtyřiceti násobek⁷ a celkově tak kapacitní proud roste.

Vývoj velikosti kapacitních proudů je pro provozovatele distribučních soustav velmi důležitý z mnoha důvodů:

- V první řadě je nutné bezpečně provozovat distribuční sítě a to vyžaduje dostatečné dimenzování uzemnění, kde mimo jiné je potřeba kontrolovat velikost dotykového a krokového napětí.
- Správné nastavení zhášecích tlumivek, konkrétně automatik ladění pro ideální kompenzaci kapacitních proudů s požadavkem na minimální zbytkový proud v místě poruchy.
- Nastavení jednotlivých parametrů zemních směrových ochran, aby byla dodržena jejich funkčnost i selektivita.
- Zobrazení velikosti vyšších harmonických odečtených z automatik ladění při měření průběhu napětí U_0 . Vyšší harmonické nejsou tlumivkami kompenzovány, ale mohou dosahovat i vyšších hodnot než základní harmonická. Záleží však, jestli jde o městskou či mimoměstskou síť a také na rozloze sítě.
- Odečtení kapacitní respektive napěťové nesymetrie z průběhu napětí U_0 s možností jejich dopočítání v případě potřeby.
- Posledním důležitým důvodem pro sledování velikostí kapacitních proudů je určení trendu kabelizace distribučních sítí. Zvyšující trend kabelizace má za následek růst nároků na kompenzaci kapacitních proudů. To může vést až k výměně stávajících tlumivek za větší, k budování nových transformačních stanic, nebo k instalaci „umělých“ nul do sítě.

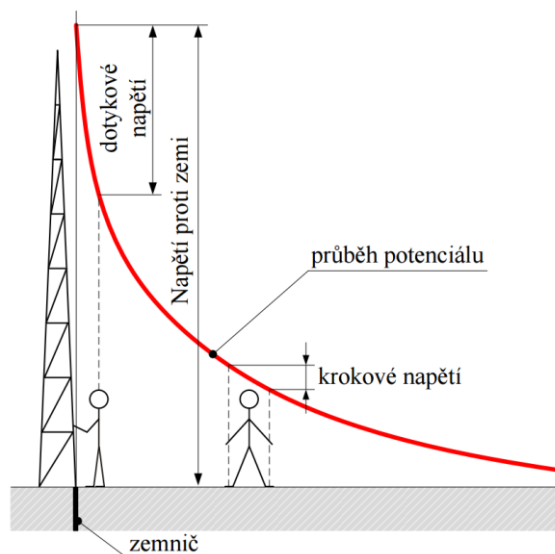
⁷ Kapacitní proud kabelu dle normy [24] je v rozmezí 2,13 – 3,3 A/km , pro venkovní vedení pouze 0,06 A/km.

2.5.2 Dotykové a krokové napětí

Dle normy PNE 33 000-1 se uzemňovací soustavy dimenzují s požadavky a ohledem na korozivní odolnost, mechanickou pevnost, tepelnou odolnost a s ohledem na dotyková a kroková napětí. Přičemž důležité parametry jsou velikost poruchového proudu, doba trvání a vlastnosti půdy.

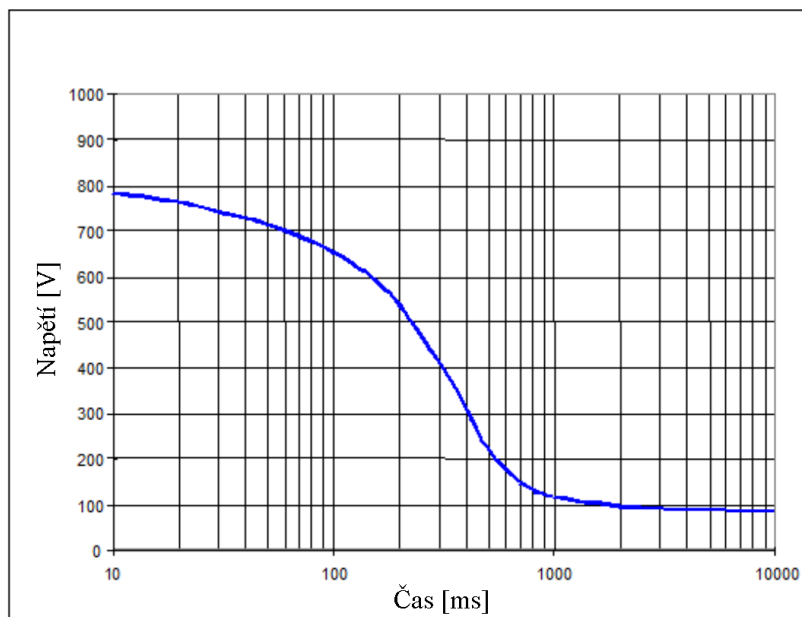
Hlavním prvkem v bezpečnosti provozu celé distribuční sítě je velikost dotykového a krokového napětí, která je spjata s požadovanou kvalitou uzemnění. Současný rozvoj distribuční soustavy je doprovázen zvyšováním podílu kabelových vedení, potažmo kapacitních proudů, a tak klade nároky na vyšší kvalitu uzemnění, aby byly hodnoty dotykových a krokových napětí v dovořených mezích. Základní požadavky na uzemnění sítí VN obsahují normy PNE 33 000-1, PNE 33 0000-4, ČSN 50522.

Dotykové napětí vzniká jako důsledek dotyku živých i neživých částí pod napětím s následkem průchodu nebezpečného proudu. Hlavní nebezpečí pro osoby je proud procházející tělem přes srdce, který může způsobit srdeční fibrilace a následnou zástavu srdce. Riziko dotykového napětí u neživých částí (kostry, kryty, konstrukce a další kovové zařízení) vzniká pouze při poruše. Velikost impedance lidského těla je závislá na dotykovém napětí a proudové dráze. Se vzrůstajícím dotykovým napětím klesá impedance lidského těla. Vznik krokové napětí je dáno průchodem proudu do země v přímé blízkosti osoby nebo zvířete. Je to specifický případ dotykového napětí, kdy osoba či zvíře vytvoří svým krokem nebezpečný rozdílný potenciál napětí. Riziko krokového napětí se snižuje s rostoucí vzdáleností od poruchy, tzn. od zemniče nebo spadlého vodiče na zem.



Obr 2.1 Dotykové a krokové napětí

Zkušenosti ukázaly, že velikost maximálního krokového napětí nepřekročí velikost dotykového napětí (s šířkou lidského kroku jeden metr). Normy se proto krokovým napětím nezabývají a představují větší riziko pro zvěř a dobytek. Norma definuje velikost dovoleného dotykového napětí zvláště pro elektrické stanice a venkovní vedení VN. Distribuční transformovny VN/NN se společným uzemněním nebo venkovní vedení v blízkosti plaveckých bazénů a jiných rekreačních ploch, kde se lidé mohou pohybovat bosýma nohama, je dovolené dotykové napětí 75 V při dlouhotrvající poruše a při proudové dráze jedna holá ruka – obě bosé nohy. Zařízení elektrických stanic VN, VVN a ZVN nebo venkovní vedení v zastavěných oblastech, kde můžeme předpokládat, že mají osoby nazuté boty, je dovolené dotykové napětí 150 V. Zvýšené dotykové napětí zahrnuje přídatný odpor bot, odpor mezi podrážkou bot a zemí a rezistivitu půdy v povrchové vrstvě. U sítí s rychle se vypínanými poruchami, jsou dovolené hodnoty dotykového napětí znatelně vyšší a výsledná křivka jako funkce doby trvání je znázorněna na obrázku.



Obr. 2.2 Dovolené dotykové napětí jako funkce doby trvání

V případě vzniku poruchy prochází přes uzemňovací soustavu proud označovaný jako zemní proud I_E . Jeho velikost má zásadní dopad na návrh a kontrolu zemničího zařízení. Zbytkový kapacitní proud I_{res} je definován normou ČSN EN 50522 jako 10 % z kapacitního proudu I_c uvažované oblasti. Z výše uvedeného lze vyjádřit vztah

$$I_E = r \cdot I_{res} = r \cdot 0,1 \cdot I_c \quad (2.4)$$

Z výsledného vztahu je uvažován redukční činitel zemničích lan roven jedné $r = 1$, jelikož se zemničí lana téměř nevyskytují na hladině VN. Velikost zemního proudu lze následně využít pro stanovení maximálního dovoleného zemního odporu R_{Edov}

$$R_{Edov} \leq k \cdot \frac{U_{Tp}}{I_E} \quad (2.5)$$

Kde k je koeficient tvaru zemniče a U_{Tp} představuje dovolené dotykové napětí.

Výpočet maximálních dovolených odporů je uveden dále v třetí kapitole zabývající se oblastí Strakonice viz (Tab. 3.2) a (Tab. 3.3).

2.6 Způsoby omezení kapacitních proudů

V distribuční soustavě na hladině VN se provozuje kompenzovaná soustava. Limit vycházející z normy ČSN 33 3070 je pro venkovní síť 100 A, pro 300 A v případě čistě kabelové 450 A zároveň nesmí být překročen maximální zbytkový proud 60 A nebo 10 % zbytkového proudu.

Kapacitní proudy lze eliminovat různými metodami.

Bauchův zhášecí transformátor – je zapojen na hlavní sběrnici VN a vinutí nemá vyvedenou nulu. Zhášecí transformátor se umísťoval do vnitřních prostor transformoven. V nových instalacích se již dlouho nepoužívá.

Systém Swedish neutral – je to systém, který dokáže eliminovat i činnou složku poruchového zemního proudu, zapojuje se do uzlu hvězdy VN transformátoru. Předností tohoto systému oproti zhášecí tlumivce z EGE je rychlost odezvy v řádu několika sekund. Tento systém používá výkonný polovodičový invertor, který spíná jednotlivé sekce vinutí tlumivky a přídavných kondenzátorů. Hlavní nevýhodou tohoto systému je vysoká pořizovací cena. Existují pouze zkušební instalace.

Petersenova zhášecí cívka – Kompenzace kapacitních proudů zhášecí tlumivkou je v Česku velmi oblíbená především díky dobrým provozním vlastnostem u venkovních a smíšených sítí. Je navrhována tak, aby místem poruchy procházel pouze zbytkový (reziduální) proud. Tím lze docílit včasného zhášení obloukové poruchy, snížení potenciálu v okolí poruchy a možnosti provozu sítě se zemním spojením. Používají se převážně zhášecí tlumivky z produkce EGE České Budějovice. Změna indukčnosti tlumivek se provádí plynulou změnou vzduchové mezery děleného jádra, zapojuje se do uzlu hvězdy VN napájecího transformátoru. Ladění tlumivky a připínání odporů k pomocnému vinutí je řízeno automatikou. Tlumivky se umísťují vně i uvnitř transformoven. Tlumivka se ladí podle velikosti zbytkového poruchového proudu v místě zemního spojení. Rychlost odezvy je ale v řádu desítek sekund. Vlivem kapacitní nesymetrie dosahuje napětí uzlu transformátoru vůči zemi 10 % U_f při vyladěné tlumivce a 0,5 % U_f v případě odpojené tlumivky. Je to nejrozšířenější metoda kompenzace.

Metoda shuntování - Shunting- tato metoda spočívá ve vytvoření bočnicku (shuntu) k místu zemního spojení v transformovně a tím proudově odlehčit místo zemního spojení. Metodou Shuntingu se přímo nekompensuje kapacitní proud v systému VN, ale automatika bezpečně nalezne postiženou fázi i při poruše s velkým přechodovým odporem a připojí shunt. Tato metoda má potenciál dalšího rozvíjení, je nainstalováno již několik pilotních projektů.

2.6.1 Kompenzace rozsáhlé sítě

Rozsáhlé kabelové sítě jsou provozovány primárně s uzlem transformátoru uzemněným přes odpor. Jedna z nevýhod takto provozované sítě je nutnost rychlého

vypínání s následným přerušením dodávky elektrické energie a to i v případě jednopólové poruchy. Pro zlepšení ukazatelů SAIDI a SAIFI je možnost přechodu odporově uzemněných sítí na kompenzované sítě pomocí Petersenovy zhášecí tlumivky, u kterých lze provozovat jednopólové poruchy po nezbytně nutnou dobu bez dopadu na koncové odběratele na hladině NN. Náklady spojené na přechod rozsáhlé kabelové sítě na kompenzovanou soustavu jsou velmi vysoké a vzhledem k relativně nízké poruchovosti kabelové sítě nelze toto řešení doporučit.

3 Vývoj kapacitního proudu v oblasti Strakonice

Cílem této kapitoly je vyhodnocení kapacitních proudů pro oblast Strakonice a porovnání je s vývojem proudů za celý E.ON. Vyhodnocení dat vychází z teoretických základů pro výpočet kapacitních proudů venkovního a kabelového vedení.

Pro napájení oblasti Strakonice slouží transformační rozvodna 110/22 kV s dvěma transformátory o výkonu 40 MVA. V roce 2003 proběhla rekonstrukce stávající konvekční rozvodny na zapouzdřenou [21]. Rozvodna využívá možnosti provozu na dvou přípojnicích, kde přípojnice A (11 vývodů) se smíšenou sítí napájí první transformátor T101 a přípojnice B (7 vývodů) s městskou kabelovou sítí napájí druhý transformátor T102. Způsob uzemnění uzlu každého z transformátorů je řešen pomocí zhášecí tlumivky o běžném výkonu 5000 kVAr.

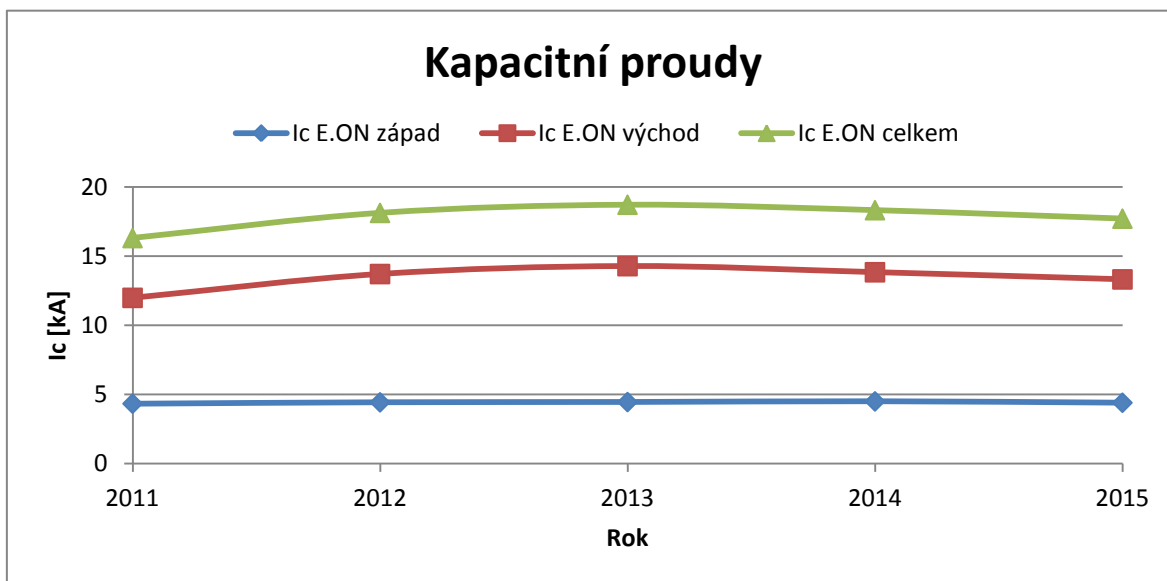
Jeden z cílů práce je porovnání vývoje kapacitních proudů za E.ON celkem s oblastí Strakonice. Důvodem je právě zvyšující trend kapacitních proudů. Velikosti kapacitních proudů jsem si vyfiltroval z poskytnutých dat rozdělených na region západ a východ. Soubory dat obsahovaly pravidelné odečty hodnot kapacitního proudu z automatik ladění tlumivek, které se provádějí většinou v lednu, kdy je sledovaná soustava obvykle zapojena do základního provozního stavu. V případě, že měření proběhlo dvakrát do roka, do celkové tabulky jsem započítal hodnotu naměřenou pouze v lednu. Z výsledné tabulky Tab. 3.1 jsem sestrojil grafy pro lepší přehlednost trendů.

Tab. 3.1 Kapacitní proudy sledovaných oblastí

Rok odečtu	Ic [A]					
	E.ON			Oblast Strakonice		
	Západ	Východ	Celkem	A	B	Celkem
2011	4330	11986	16316	137	160	297
2012	4426	13711	18137	141	161	302
2013	4445	14282	18727	142	160	302
2014	4493	13841	18334	147	156	303
2015	4397	13323	17720	136	172	308

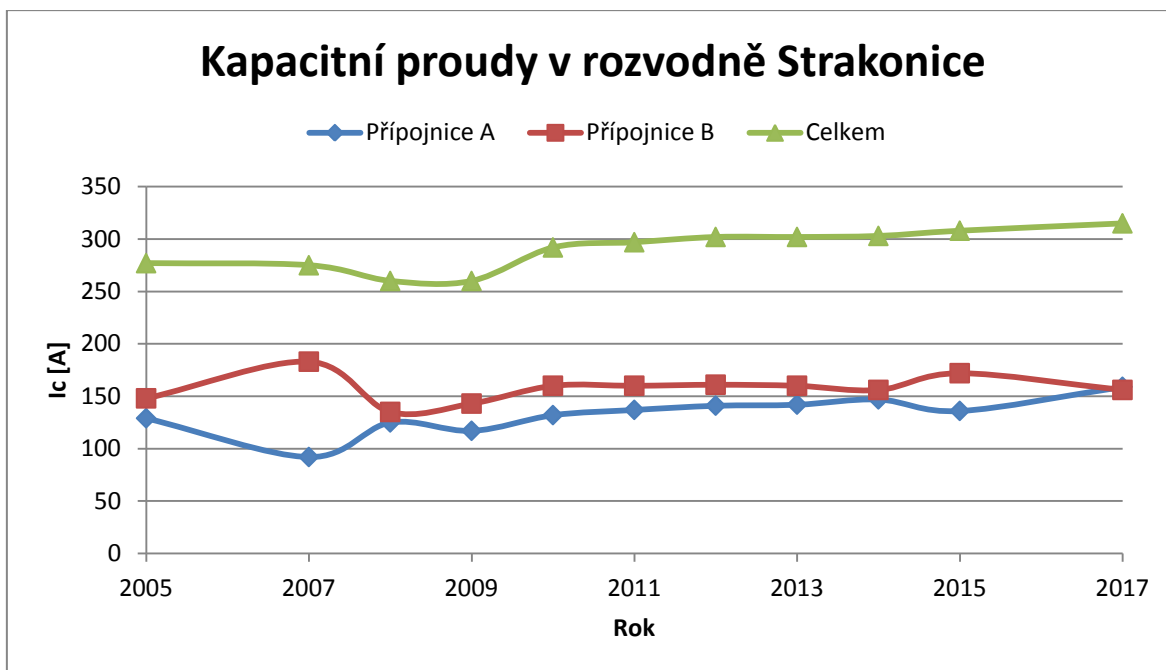
Na výsledném grafu je patrné, že region západ má předpokládaný konstantní trend postupného růstu, avšak v roce 2015 došlo k mírnému poklesu. Důvodem je velký pokles kapacitního proudu v rozvodně Počátky, kde došlo buď k chybnému odečtu hodnot, nebo síť nebyla v základním uspořádání, pokud zde probíhala např. rekonstrukce vedení.

Region východ má netradiční průběh, kdy od roku 2013 kapacitní proud klesá. Při podrobnějším zkoumání dat z odečtů tlumivek jsem narazil na případy velkých výkyvů meziročních hodnot kapacitních proudů. Důvody poklesu kapacitních proudů budou pravděpodobně velmi podobné, jako u regionu západ a navíc podpořené rekonstrukcemi vedení, které rovněž přispívají ke snížení kapacitních proudů. Jelikož velikost kapacitních proudů v regionu východ je zhruba třikrát větší než v regionu západ, má tedy dominantní vliv na výslednou hodnotu kapacitních proudů za celý E.ON.



Graf 3.1 Kapacitní proudy za regiony západ a východ pro jednotlivé roky

Vývoj celkového kapacitního proudu v oblasti Strakonice je relativně lineární, když nebudeme počítat rok 2008 a 2009, kde došlo k mírnému poklesu. Důvodem poklesu mohlo být přepojení části vedení na jinou sousední rozvodnu. Zajímavý vývoj proudu na konkrétních přípojnicích je hlavně v roce 2007 a 2015, kde došlo s největší pravděpodobností ke změně napájení některých vývodů.



Graf 3.2 Kapacitní proudy odečtené v rozvodně Strakonice pro jednotlivé roky

Celkový kapacitní proud v rozvodně Strakonice má meziročně mírně rostoucí trend. Vlivem kabelizace vznikají problémy s krokovým a dotykovým napětí a to hlavně u smíšených sítí. S kapacitním proudem současně narůstá i zbytkový zemní proud, z kterého vyplývá zvyšující nárok na zemní odpor zemničů. Zemniče jsou veškeré vodivé části ve vodivém styku se zemí, ať už náhodné, tak především strojené.

Vzhledem k tomu, že tvar zemniče ovlivňuje velikost dovoleného zemního odporu, jsou pro následující výpočty zde uvedeny koeficienty jednotlivých zemničů dle normy PNE 33 0000-1

- k = 1,5 tyčový zemnič
- k = 2 paprskový zemnič
- k = 3 paprskový obvodový zemnič
- k = 5 dva ekvipotenciální kruhy
- k = 7,5 tři ekvipotenciální kruhy

Pro výpočet maximálního dovoleného zemního odporu pro jednotlivá dovolená dotyková napětí jsem použil výše uvedené rovnice (2.4) a (2.5).

Příklad výpočtu je proveden pro kapacitní proud na přípojnici A při úvaze základního tyčového zemniče.

$$I_E = r \cdot I_{res} = 1 \cdot 0,1 \cdot 159 = 15,9 \text{ A}$$

$$R_{Edov} \leq k \cdot \frac{U_{Tp}}{I_E} \leq 1,5 \cdot \frac{75}{15,9} = 7,075 \Omega$$

Tab. 3.2 Vypočtené maximální dovolené zemní odpory pro dovolené dotykové napětí 75 V.

	I_C [A]	I_E [A]	k [-]	1,5	2	3	5	7,5
T 101 (A)	159	15,9	R_E [Ω]	7	9	14	24	35
T 102 (B)	156	15,6		7	10	14	24	36

Tab. 3.3 Vypočtené maximální dovolené zemní odpory pro dovolené dotykové napětí 150 V.

	I_C [A]	I_E [A]	k [-]	1,5	2	3	5	7,5
T 101 (A)	159	15,9	R_E [Ω]	14	19	28	47	71
T 102 (B)	156	15,6		14	19	29	48	72

V praxi je nutné počítat se i s možným stavem, kdy napájí jeden transformátor obě přípojnice a tím dojde k součtu kapacitních proudů. Maximální dovolený zemní odpor se tak sníží na polovinu, vzhledem k rovnoměrnému rozdělení kapacitních proudů na jednotlivých přípojnicích. Minimální odpor pro společné uzemnění trafostanic by měl být maximálně 2 Ω a pro podpěrné body 5 Ω . Pokud vyjádřím kapacitní proud z rovnice (2.5) pro zemní odpor 5 Ω a páskový paprskový zemnič, dostanu maximální rozsah sítě 300 A. Vzhledem k trafostanicím VN/NN, kde není uvažován koeficient zemniče, vychází maximální kapacitní rozsah sítě 375 A. Z uvedeného vyplývá, že pro nejhorší možný případ může oblast Strakonice překročit⁸ dovolené dotykové napětí 75 V, a proto doporučuji se zabývat touto problematikou i do budoucna a zvážit rentabilitu instalace dvou nebo tří ekvipotenciálních kruhů, které by významně zvýšili bezpečnost při současném nárůstu kapacitních proudů smíšených sítí.

⁸ To platí pro velikost zbytkového proudu 10 %, který v praxi bývá ještě nižší.

3.1 Teorie a výpočet kapacitního proudu

Pro určení kapacitních proudů lze vycházet z hodnot stanovených normou nebo výpočtem parciálních kapacit. Mnou provedený výpočet je proveden pomocí známé metody zrcadlení, kde uvažují hodnoty vztažené na jeden kilometr vedení. Pro přehlednost uvedu pouze nejdůležitější rovnice. Teoretický postup výpočtu kapacity je podrobně popsán v publikaci [22], ze které jsem vycházel. Dílčí parciální kapacity lze získat pomocí maticových rovnic

$$[\bar{U}] = [\bar{\delta}][\bar{Q}] \quad [\bar{Q}] = [\bar{k}][\bar{U}] \quad (3.1)$$

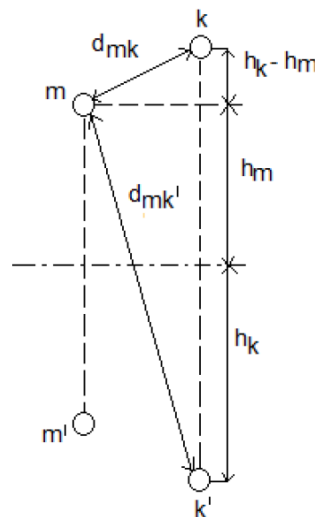
Kde: U - potenciál vodiče,

Q - lineární hustota náboje,

δ - potenciálový koeficient,

k – parciální kapacita.

Ke každému (k) vodiči přiřadím fiktivní vodič (k') s dílčími parametry, který je symetricky převrácen podle země, jak je patrné na (Obr 3.1). Plocha země je uvažována jako ekvipotencionální s nulovým potenciálem, protože uvažovat členitost země pro výpočet velké oblasti je téměř nereálné a výsledek to zásadně neovlivní.



Obr 3.1 Dvě dvojice sobě odpovídajících vodičů

Pro potenciál na povrchu m -tého vodiče U_m při zanedbání jeho konců platí:

$$U_m = \sum_{k,k'=1}^n \frac{Q_k}{2\pi\epsilon} \ln \frac{d_{mk'}}{d_{mk}} = \sum_{k=1}^n \delta_{km} Q_k \quad (3.2)$$

Kde: ϵ - je permitivita materiálu $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$,

ϵ_0 - permitivita vakua $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$,

ϵ_r - poměrná relativní permitivita vzduchu $\epsilon_r = 1$

Pro vzdálenosti vodičů (d) a velikosti poloměrů (r) platí rovnosti:

$$d_{kk} = r_k \quad d_{mm} = r_m \quad d_{mk} = d_{km} \quad (3.3)$$

Dále lze určit vzdálenost skutečného a neodpovídajícího fiktivního vodiče dle vztahu:

$$d_{km'} = \sqrt{(h_k + h_m)^2 + [d_{km}^2 - (h_k - h_m)^2]} = \sqrt{4h_k h_m + d_{km}^2} \quad (3.4)$$

Dle vztahu (3.2) určím potenciálové koeficienty δ . Jelikož chci vyjádřit praktické vzorce, převedu přirozené logaritmy na dekadické pomocí $\ln x = 2,3 \log x$ a dostanu výsledné rovnice:

$$\delta_{mm} = \frac{1}{0,0242} \log \frac{2h_m}{r_m} \quad [km/\mu F ; m; m] \quad (3.5)$$

$$\delta_{mk} = \frac{1}{0,0242} \log \frac{\sqrt{4h_k h_m + d_{mk}^2}}{d_{mk}} \quad [km/\mu F ; m; m] \quad (3.6)$$

Z potenciálových koeficientů, které jsou funkcemi geometrických parametrů vedení, sestavím matici pro jednoduché třífázové vedení bez zemnicího lana

$$\begin{bmatrix} \bar{U}_a \\ \bar{U}_b \\ \bar{U}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_{aa} & \delta_{ab} & \delta_{ac} \\ \delta_{ba} & \delta_{bb} & \delta_{bc} \\ \delta_{ca} & \delta_{cb} & \delta_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{Q}_a \\ \bar{Q}_b \\ \bar{Q}_c \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

a pomocí maticové inverze dostanu matici parciálních kapacit

$$\bar{k} = \bar{\delta}^{-1} = \begin{bmatrix} k_{aa} & k_{ab} & k_{ac} \\ k_{ba} & k_{bb} & k_{bc} \\ k_{ca} & k_{cb} & k_{cc} \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Mezi fázemi např.: (a, b) se vzájemné parciální kapacity rovnají $c_{ab} = c_{ba}$ a pro parciální kapacity fáze proti zemi na jednotku délky platí vztah:

$$C_{a0} = k_{aa} + k_{ab} + k_{ac} \quad (3.9)$$

Z dílčích kapacit stanovím střední hodnotu zemní kapacity

$$C_0 = \frac{C_{a0} + C_{b0} + C_{c0}}{3} \quad (3.10)$$

Velikost kapacitních proudů dílčích fází při kovovém zemním spojení je dána vztahy:

$$\begin{aligned} \bar{I}_{Ca} &= j\omega C_{a0} \cdot (\bar{U}_a + \bar{U}_N) \\ \bar{I}_{Cb} &= j\omega C_{b0} \cdot (\bar{U}_b + \bar{U}_N) \\ \bar{I}_{Cc} &= j\omega C_{c0} \cdot (\bar{U}_c + \bar{U}_N) \end{aligned} \quad (3.11)$$

Z fázorového diagramu pak vychází, že při ideálním kovovém zemním spojení na fázi (a) bude na postižené fázi nulové napětí a na zdravých fázích (b) a (c) bude sdružená hodnota napětí. Vliv kapacitní nesymetrie ovlivní výsledný fázor kapacitního proudu. Kapacitní proud kovového zemního spojení bývá také označován jako poruchový proud. Vektorovým součtem proudů získám výsledný poruchový proud při zemním spojení ve fázi (a), (b) nebo (c).

$$\begin{aligned} \bar{I}_{Cva} &= \bar{I}_{Cc} + \bar{I}_{Cb} \\ \bar{I}_{Cvb} &= \bar{I}_{Ca} + \bar{I}_{Cc} \\ \bar{I}_{Cvc} &= \bar{I}_{Ca} + \bar{I}_{Cb} \end{aligned} \quad (3.12)$$

V praxi je však měřítkem kapacitní proud ideální symetrické sítě, který vychází ze střední hodnoty zemní kapacity.

$$I_C = I_{KAP} = 3\omega C_0 U_f \quad (3.13)$$

Uvedené rovnice udávají praktický návod na výpočet kapacit jednoduchého venkovního vedení bez zemního lana, proto jsem rovnice využil pro tvorbu programu na výpočet kapacit a kapacitních proudů v MS Excel. Výpočty jsou provedeny pro vodiče používané v oblasti Strakonice.

3.1.1 Výpočet pro venkovní vedení

Od provozovatele distribuční soustavy jsem také dostal k dispozici export dat ze softwaru GIS (geografický informační systém). Data obsahovaly parametry vodičů pro jednotlivé úseky linek a okruhů, konkrétně název vedení, délku v metrech, druh vedení (venkovní a kabelové), materiál (AlFe nebo typ kabelu), průřez vodiče a další parametry, které nebyly pro výpočet podstatné.

U výpočtu venkovního vedení VN jsem uvažoval uspořádání fázových vodičů pro jednoduché vedení bez zemního lana, to znamená druh použité konzole. Dříve se běžně instalovaly konzole rovinné, ale v posledních deseti letech se vlivem nátlaku na ochranu prostředí přešlo na instalaci konzolí „Pařát“ nebo „Delta“, které jsou uspořádány do trojúhelníku. Ve výpočtu jsem uvažoval s průhybem vodiče, a tak skutečný zavěšený vodič nahradím přímkovým ve výšce těžiště řetězovky dle vztahu

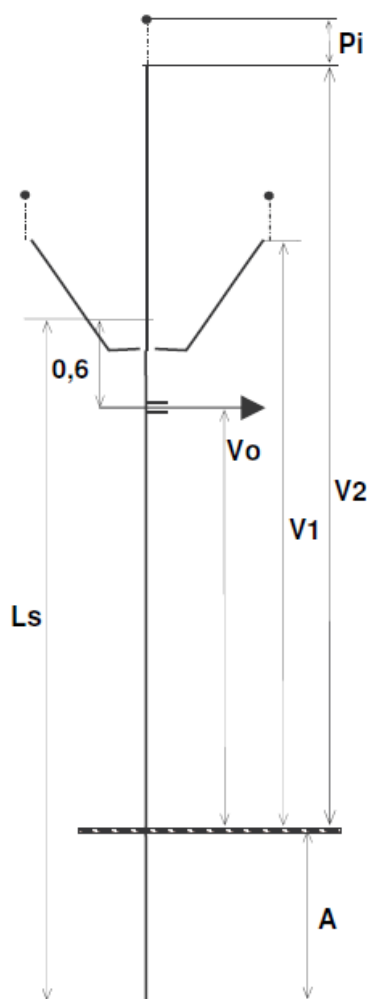
$$h = H - 0,7 \cdot p \quad (3.14)$$

Kde: H [m] je výška závěsného bodu, h [m] je výška těžiště řetězovky (přímkového vodiče) a p [m] je průhyb reálného vodiče.

Průhyb je velmi proměnný parametr, který je závislý na vzdálenosti podpěrných bodů (typu vodiče), na výškovém rozdílu podpěrných bodů a na počasí. Pro mé výpočty jsem zvolil průhyb 1,3 m.

Pro výpočet byla uvažována délka základního betonového sloupu s velikosti 9 metrů. Z uvedené tabulky jsem odečetl hloubku vetknutí tzn. hloubku sloupu pod zemí a to konkrétně 1,6 metru. Po sečtení velikosti sloupu nad zemí, výšky konzole a výšky izolátorů, dostanu výšku vodiče nad zemí.

Tab. 3.4 Sestava betonového sloupu s konzolou PAŘÁT III nosnou [23]

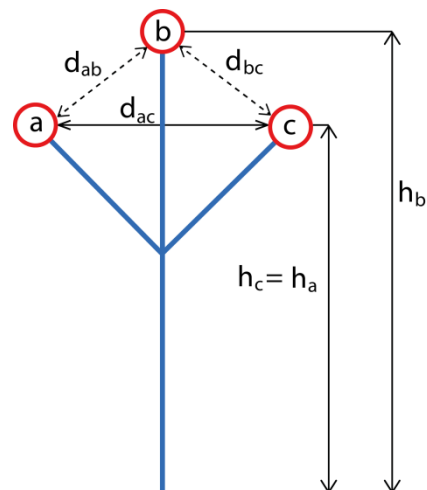


typ sloupu	hloubka vetknutí	výška odbočení	výška bočního ramene	výška středního ramene	podpěrný izolátor
Ls (m)	A (m)	Vo (m)	V1 (m)	V2 (m)	Pi (m)
9/3	1,6	x	7,6	9,1	0,3
9/4,5	1,6	x	7,6	9,1	0,3
9/6	1,6	x	7,6	9,1	0,3
9/10	1,8	6,6	7,4	8,9	0,3
9/15	2,0	6,4	7,2	8,7	0,3
9/20	2,0	6,4	7,2	8,7	0,3
2 x 9/6	1,6	6,8	7,6	9,1	0,3
2 x 9/10	1,8	6,6	7,4	8,9	0,3
2 x 9/15	2,0	6,4	7,2	8,7	0,3
2 x 9/20	2,0	6,4	7,2	8,7	0,3
10,5/3	1,8	x	8,9	10,4	0,3
10,5/4,5	1,8	x	8,9	10,4	0,3
10,5/6	1,8	x	8,9	10,4	0,3
10,5/10	2,0	7,9	8,7	10,2	0,3
10,5/12	2,0	7,9	8,7	10,2	0,3
10,5/15	2,0	7,9	8,7	10,2	0,3
10,5/20	2,0	7,9	8,7	10,2	0,3
2x10,5/6	1,8	8,1	8,9	10,4	0,3
2x10,5/10	2,0	7,9	8,7	10,2	0,3
2x10,5/12	2,0	7,9	8,7	10,2	0,3
2 x 10,5/15	2,0	7,9	8,7	10,2	0,3
2 x 10,5/20	2,0	7,9	8,7	10,2	0,3
12/3	2,0	x	10,2	11,7	0,3
12/6	2,0	x	10,2	11,7	0,3
12/10	2,0	9,4	10,2	11,7	0,3
12/12	2,0	9,4	10,2	11,7	0,3
12/15	2,0	9,4	10,2	11,7	0,3
12/20	2,0	9,4	10,2	11,7	0,3
2 x 12/6	2,0	9,4	10,2	11,7	0,3
2 x 12/10	2,0	9,4	10,2	11,7	0,3
2 x 12/12	2,0	9,4	10,2	11,7	0,3
2 x 12/15	2,0	9,4	10,2	11,7	0,3
2 x 12/20	2,0	9,4	10,2	11,7	0,3

Z uvedené tabulky vychází, že výška vodičů od země není závislá pouze na výšce sloupu, ale i na vrcholovém tahu, kde je třeba počítat s větší hloubkou vetknutí. V mém výpočtu uvažuji devíti metrový betonový sloup⁹ vrcholovým tahem 3 kN.

Vstupní parametry vedení – konzole PAŘÁT

Druh vodiče	110/22 AlFe	
Matematický poloměr	r [mm]	7,48
Vzdálenosti vodičů	d_{ab} [m]	1,7
	d_{bc} [m]	1,7
	d_{ac} [m]	1,6
Výška vodičů nad zemí bez úvahy průhybu	h_b [m]	9,4
	h_{ac} [m]	7,9
Průhyb vodiče	p [m]	1,3
Výška vodičů nad zemí po započtení průhybu	h_b [m]	8,49
	h_{ac} [m]	6,99



Po započtení průhybu vodiče jsem dostal výslednou výšku vodiče nad zemí, ze které jsem počítal dílčí kapacity proudy. V MS Excel jsem vytvořil program pro výpočet všech koeficientů (součinitelů), kapacit i kapacitních proudů.

$$h_a = h_c = 7,9 - 0,7 \cdot 1,3 = 6,99 \text{ m}$$

$$h_b = 9,4 - 0,7 \cdot 1,3 = 8,49 \text{ m}$$

Potenciálové koeficienty jsem vypočetl dle rovnic (3.5) a (3.6)

$$\delta_{ab} = \delta_{ba} = \delta_{bc} = \delta_{cb} = \frac{1}{0,0242} \log \frac{\sqrt{4 \cdot 6,99 \cdot 8,49 + 1,7^2}}{1,7} = 39,665 \text{ km} \cdot \mu\text{F}^{-1}$$

$$\delta_{ac} = \delta_{ca} = \frac{1}{0,0242} \log \frac{\sqrt{4 \cdot 6,99 \cdot 6,99 + 1,6^2}}{1,6} = 40,741 \text{ km} \cdot \mu\text{F}^{-1}$$

$$\delta_{aa} = \delta_{cc} = \frac{1}{0,0242} \log \frac{2 \cdot 6,99}{7,48 \cdot 10^{-3}} = 138,679 \text{ km} \cdot \mu\text{F}^{-1}$$

$$\delta_{bb} = \frac{1}{0,0242} \log \frac{2 \cdot 8,49}{7,48 \cdot 10^{-3}} = 138,679 \text{ km} \cdot \mu\text{F}^{-1}$$

⁹ Betonové sloupky se vyrábějí z předpjatého betonu v jednodolných formách [23].

Z dílčích potenciálních koeficientů jsem sestrojil matici $\bar{\delta}$ dle (3.7)

$$\bar{\delta} = \begin{vmatrix} 135,190 & 39,665 & 40,701 \\ 39,665 & 138,679 & 39,665 \\ 40,701 & 39,665 & 135,190 \end{vmatrix} km \cdot \mu F^{-1}$$

Pomocí maticové inverze získám matici parciálních kapacit \bar{k} dle (3.8)

$$\bar{k} = \begin{vmatrix} 8,557 & -1,866 & -2,031 \\ -1,866 & 8,279 & -1,866 \\ -2,031 & -1,866 & 8,557 \end{vmatrix} \mu F \cdot km^{-1}$$

Z matice získám mezifázové kapacity

$$C_{ab} = C_{ba} = 1,866 nF \cdot km^{-1}$$

$$C_{ac} = C_{ca} = 2,031 nF \cdot km^{-1}$$

$$C_{bc} = C_{cb} = 1,866 nF \cdot km^{-1}$$

Dle rovnice (3.9) vypočtu fázové kapacity proti zemi.

$$C_{a0} = 8,557 - 1,866 - 2,031 = 4,659 nF \cdot km^{-1}$$

$$C_{b0} = 8,279 - 1,866 - 1,866 = 4,546 nF \cdot km^{-1}$$

$$C_{c0} = 8,557 - 1,866 - 2,031 = 4,659 nF \cdot km^{-1}$$

Z dílčích kapacit proti zemi vypočtu střední hodnotu a kapacitní nesymetrii, kterou využiji pro porovnání uspořádání vodičů.

$$C_0 = \frac{C_{a0} + C_{b0} + C_{c0}}{3} = \frac{4,659 + 4,546 + 4,659}{3} = 4,621 nF \cdot km^{-1}$$

$$\Delta C_0 = C_{a0} - C_{b0} = 4,659 - 4,546 = 0,114 nF \cdot km^{-1}$$

U kapacitní nesymetrie pro trojúhelníkové uspořádání vycházím, že kapacity krajních vodičů $C_{a0} = C_{c0} = 100\%$ a procentuálně vyjádřím kapacitu C_{b0}

$$\Delta C_{0\%} = \frac{\Delta C_0 \cdot 100}{C_{a0}} = \frac{0,114 \cdot 100}{4,659} = 2,498\%$$

$$\Delta C_{100\%} = 100\% - \Delta C_{0\%} = 100 - 2,498 = 97,502\%$$

$$\bar{I}_{Cb} = j\omega C_{b0} \cdot (\bar{U}_b + \bar{U}_N) = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 4,546 \cdot 10^{-9} \cdot 22 \cdot 10^6 = 31,417 \angle -60^\circ mA \cdot km^{-1}$$

$$\bar{I}_{Cc} = j\omega C_{c0} \cdot (\bar{U}_c + \bar{U}_N) = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 4,659 \cdot 10^{-9} \cdot 22 \cdot 10^6 = 32,202 \angle -120^\circ mA \cdot km^{-1}$$

$$\bar{I}_{Cva} = \bar{I}_{Cc} + \bar{I}_{Cb} = 32,202 \angle -120^\circ + 31,417 \angle -60^\circ = 55,097 \angle -90,408^\circ mA \cdot km^{-1}$$

Po dosazení fázorových proudů do rovnic (3.11) a (3.12) dostanu výsledné kapacitní proudy, které odpovídají zemnímu spojení v dané fázi.

Konzola Pařát

Procentní velikost kapacit

$$\bar{I}_{Cva} = 55,097 \angle -90,408^\circ \text{ mA} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$C_{a\%} = 100 \%$$

$$\bar{I}_{Cvb} = 55,775 \angle 150^\circ \text{ mA} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$C_{b\%} = 97,5 \%$$

$$\bar{I}_{Cvc} = 55,097 \angle 30,408^\circ \text{ mA} \cdot \text{km}^{-1}$$

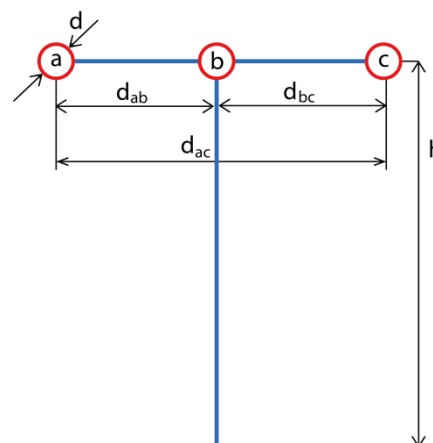
$$C_{c\%} = 100 \%$$

Ze střední hodnoty fázových zemních kapacit získám kapacitní proud pro symetrickou síť, který budu uvažovat v dalších výpočtech.

$$I_C = I_{KAP} = 3\omega C_0 U_f = 55,322 \text{ mA} \cdot \text{km}^{-1}$$

Vstupní parametry vedení – konzole ROVINNÁ

Druh vodiče	110/22 AlFe	
Matematický poloměr	r [mm]	7,48
Vzdálenosti vodičů	d_{ab} [m]	1,44
	d_{bc} [m]	1,44
	d_{ac} [m]	2,88
Výška vodičů nad zemí bez úvahy průhybu	h [m]	8,145
Průhyb vodiče	p [m]	1,3
Výška vodičů nad zemí po započtení průhybu	h [m]	7,235



Výšku sloupu jsem uvažoval shodnou, jako u konzole pařát tzn. základní devítimetrový s vrcholovým tahem 3 kN a hloubkou vetknutí 1,6 metru. Rozměry rovinné konzole jsem použil z normy PNE 34 8601 příloha 1 a 5. Do celkové výšky jsem započítal velikost sloupu nad zemí, rozměry konzole dané normou a velikost podpěrného izolátoru stejně jako u konzole pařát. Pro rovinnou konzoli jsem též započítal průhyb vodiče 1,3 metru.

$$h = 8,145 - 0,7 \cdot 1,3 = 7,235 \text{ m}$$

Pro výpočet potenciálových i kapacitních součinitelů, jednotlivých kapacit a kapacitních proudů, při využití rovinné konzole jsem rovněž vytvořil program v MS Excel.

Potenciálové koeficienty jsem vypočetl dle rovnic (3.5) a (3.6)

$$\delta_{ab} = \delta_{ba} = \delta_{bc} = \delta_{cb} = \frac{1}{0,0242} \log \frac{\sqrt{4 \cdot 7,235 \cdot 7,235 + 1,44^2}}{1,44} = 41,498 \text{ km} \cdot \mu\text{F}^{-1}$$

$$\delta_{ac} = \delta_{ca} = \frac{1}{0,0242} \log \frac{\sqrt{4 \cdot 7,235 \cdot 7,235 + 2,88^2}}{2,88} = 29,319 \text{ km} \cdot \mu\text{F}^{-1}$$

$$\delta_{aa} = \delta_{bb} = \delta_{cc} = \frac{1}{0,0242} \log \frac{2 \cdot 7,235}{7,48 \cdot 10^{-3}} = 135,809 \text{ km} \cdot \mu\text{F}^{-1}$$

Z dílčích potenciálních koeficientů jsem sestrojil matici $\bar{\delta}$ dle (3.7)

$$\bar{\delta} = \begin{vmatrix} 135,809 & 41,498 & 29,319 \\ 41,498 & 135,809 & 41,498 \\ 29,319 & 41,498 & 135,809 \end{vmatrix} \text{ km} \cdot \mu\text{F}^{-1}$$

Pomocí maticové inverze získám matici parciálních kapacit \bar{k} dle (3.8)

$$\bar{k} = \begin{vmatrix} 8,273 & -2,186 & -1,118 \\ -2,186 & 8,699 & -2,186 \\ -1,118 & -2,186 & 8,273 \end{vmatrix} \mu\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$$

Z matice získám mezifázové kapacity

$$C_{ab} = C_{ba} = 2,186 \text{ nF} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$C_{ac} = C_{ca} = 1,118 \text{ nF} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$C_{bc} = C_{cb} = 2,186 \text{ nF} \cdot \text{km}^{-1}$$

Dle rovnice (3.9) vypočtu fázové kapacity proti zemi.

$$C_{a0} = 8,273 - 2,186 - 1,118 = 4,969 \text{ nF} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$C_{b0} = 8,699 - 2,186 - 1,118 = 4,327 \text{ nF} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$C_{c0} = 8,273 - 2,186 - 1,118 = 4,969 \text{ nF} \cdot \text{km}^{-1}$$

Z dílčích kapacit proti zemi vypočtu střední hodnotu a kapacitní nesymetrii, kterou využiji pro porovnání uspořádání vodičů.

$$C_0 = \frac{C_{a0} + C_{b0} + C_{c0}}{3} = \frac{4,969 + 4,327 + 4,969}{3} = 4,755 \text{ nF} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$\Delta C_0 = C_{a0} - C_{b0} = 4,969 - 4,327 = 0,642 \text{ nF} \cdot \text{km}^{-1}$$

U kapacitní nesymetrie pro trojúhelníkové uspořádání vycházím, že kapacity krajních vodičů $C_{a0} = C_{c0} = 100\%$ a procentuálně vyjádřím kapacitu C_{b0}

$$\Delta C_{0\%} = \frac{\Delta C_0 \cdot 100}{C_{a0}} = \frac{0,642 \cdot 100}{4,969} = 12,914 \%$$

$$\Delta C_{100\%} = 100\% - \Delta C_{0\%} = 100 - 12,914 = 87,086 \%$$

$$\bar{I}_{Cb} = j\omega C_{b0} \cdot (\bar{U}_b + \bar{U}_N) = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 4,327 \cdot 10^{-9} \cdot 22 \cdot 10^6 = 29,905 \angle -60^\circ \text{ mA} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$\bar{I}_{Cc} = j\omega C_{c0} \cdot (\bar{U}_c + \bar{U}_N) = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 4,969 \cdot 10^{-9} \cdot 22 \cdot 10^6 = 34,34 \angle -120^\circ \text{ mA} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$\bar{I}_{Cva} = \bar{I}_{Cc} + \bar{I}_{Cb} = 34,34 \angle -120^\circ + 29,905 \angle -60^\circ = 55,682 \angle -92,282^\circ \text{ mA} \cdot \text{km}^{-1}$$

Shodným způsobem, jako v předchozím případě, dosadím fázorové proudy do rovnic (3.11) a (3.12) dostanu výsledné kapacitní proudy, které odpovídají zemnímu spojení v dané fázi.

Konzola Rovinná

Procentní velikost kapacit

$$\bar{I}_{Cva} = 55,682 \angle -92,282^\circ \text{ mA} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$C_{a\%} = 100 \%$$

$$\bar{I}_{Cvb} = 59,479 \angle 150^\circ \text{ mA} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$C_{b\%} = 87 \%$$

$$\bar{I}_{Cvc} = 55,682 \angle 32,282^\circ \text{ mA} \cdot \text{km}^{-1}$$

$$C_{c\%} = 100 \%$$

Ze střední hodnoty fázových zemních kapacit získám kapacitní proud pro symetrickou síť, který budu uvažovat v dalších výpočtech.

$$I_C = I_{KAP} = 3\omega C_0 U_f = 56,918 \text{ mA} \cdot \text{km}^{-1}$$

Provedl jsem výpočet kapacitních proudů venkovního vedení pro celou oblast Strakonice. Výpočet kapacitních proudů jsem provedl na základě výše uvedeného příkladu. Kapacitní proudy jsem vypočetl pro stávající rovinné konzole a současně instalované konzole pařát. Ve vypočtené tabulce (Tab. 3.5) a (Příloha 7) kapacitních proudů venkovního vedení na přípojnicí A je patrné, že kapacitní proud při využití konzole typu pařát je menší o 0,687 A, tedy o 2,73 %.

Tab. 3.5 Vypočtené kapacitní proudy venkovního vedení na přípojnici A

Venkovní vedení na přípojnici A - T 101				
Označení	Délka [km]	Podíl [%]	Konzole	
			Rovinná	Pařát
			Ic [A]	Ic [A]
25 AIFe 6	9,351	2,1%	0,498	0,485
35 AIFe 6	122,452	26,9%	6,642	6,465
42/7 AIFe	77,428	17,0%	4,223	4,110
50 AIFe 6	20,626	4,5%	1,130	1,099
70 AIFe 6	45,813	10,1%	2,548	2,479
70/11-1 AIFe	5,587	1,2%	0,311	0,303
95 AIFe 6	50,838	11,2%	2,870	2,790
100/25 AIFe	3,551	0,8%	0,202	0,196
110/22 AIFe	116,968	25,7%	6,658	6,471
120 AIFe 6	2,122	0,5%	0,121	0,118
	454,737	100,0%	25,203	24,516

Současný orientační poměr konzolí s rovinným a trojúhelníkovým uspořádáním je 5:1 a z toho vyplývá, že rekonstrukce starých rovinných konzolí za konzole s trojúhelníkovým uspořádáním by měla pozitivní dopad na snížení kapacitních proudů dané sítě. Na druhou stranu je dobré poznamenat, že výsledné kapacitní proudy pro venkovní vedení v porovnání s kabelovými jsou zanedbatelné.

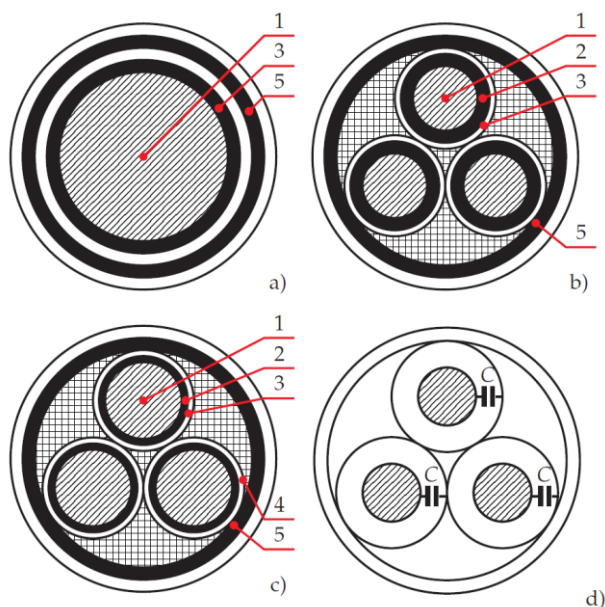
Vypočtené kapacitní proudy jsou na přípojnici B podstatně menší viz (Tab. 3.6) a (Příloha 8), jelikož přípojnice B napájí hlavně městské kabelové okruhy. Rozdíl kapacitních proudů při výměně konzolí se na této přípojnici téměř neprojeví.

Tab. 3.6 Vypočtené kapacitní proudy venkovního vedení na přípojnici B

Venkovní vedení na přípojnici B - T 102				
Označení	Délka [km]	Podíl [%]	Konzole	
			Rovinná	Pařát
			Ic [A]	Ic [A]
35 AIFe 6	4,904	18,0%	0,266	0,259
42/7 AIFe	3,026	11,1%	0,165	0,161
50 AIFe 6	6,708	24,6%	0,367	0,358
70 AIFe 6	6,694	24,5%	0,372	0,362
70/11-1 AIFe	0,137	0,5%	0,008	0,007
95 AIFe 6	0,383	1,4%	0,022	0,021
100/25 AIFe	2,720	10,0%	0,154	0,150
110/22 AIFe	0,680	2,5%	0,039	0,038
120 AIFe 6	2,037	7,5%	0,117	0,113
	27,290	100%	1,510	1,469

3.1.2 Výpočet pro kabelové vedení

Kapacita kabelového vedení lze vypočítat shodným způsobem jako pro venkovní vedení. Pro stanovení kapacit je nutné rozlišit kabely na jednožilové a trojžilové, dále na kabely se společným kovovým pláštěm a na kabely s kovovým pláštěm pro jednotlivé žíly.



Obr 3.2 Typy kabelů a) jednožilový s vlastním pláštěm, b) trojžilový s pláštěm na každé žíle, c) trojžilový s pokoveným papírem, d) kapacity jednotlivých žil
1 – vodič, 2 – izolace vodiče, 3 – vodivý kovový plášť, 4 – pokovený papír, 5 – ocelový pancíř

U jednožilového kabelu (Obr 3.2 – a) i trojžilového stíněného (Obr 3.2 – b,c) se uvažuje pouze kapacita vodiče proti ze plášti, které je rovna provozní kapacitě.

$$C = \frac{0,0242 \cdot \varepsilon_r}{\log \frac{r_i}{r}} \quad [\mu F \cdot km^{-1}; mm; mm] \quad (3.15)$$

Kde: ε_r - poměrná permitivita dielektrika,

r_i - vnitřní poloměr pláště,

r - poloměr vodiče.

U trojžilových kabelů pouze se společným pláštěm uvažujeme kapacity k plášti i vzájemné kapacity, ale díky geometrické souměrnosti jsou stejné pro všechny fáze. U toho to typu kabelu lze rovněž použít metodu zrcadlení.

Vztah pro výpočet kapacity kabelu (3.15) je použitelný za určitých podmínek. Důležitý parametr pro správný výsledek je hodnota poměrné permitivity dielektrika ε_r , která je závislá na druhu izolantu (nejčastěji PE / PVC). Izolace moderních kabelů je

tvořena mnoha vrstvami obsahující vodu blokuující pásy a polovodiivé vrstvy. Rozměry jednotlivých izolačních vrstev většinou výrobci neudávají.

Z uvedeného vyplývá, že výpočet kapacity kabelového vedení exaktní formou je komplikovaný a kvůli chybějícím rozměrům nepřesný, a tak je pro výpočet rozsáhlé oblasti Strakonice nepoužitelný.

Další možnost určit kapacitní proudy vychází z hodnot daných normou, viz (Tab. 3.7). Velikost proudů u kabelových vedení se pohybuje, dle normy PNE 33 0000-1, od 2,13 do 4,6 A/km v závislosti na průřezu a typu kabelu. Pro venkovní vedení jsem vycházel ze staré, ale stále uznávané normy ČSN 33 3070, kapacitní proud je 0,063 A/km

Tab. 3.7 Kapacitní proudy dané normou v závislosti na typu izolace a velikosti průřezu

Průřez [mm ²]	70	95	120	150	185	240
Izolace	Kapacitní proud I _c [A/km] – (norma)					
PILC	2,3	3,3	3,6	3,9	4,3	4,6
XLPE	2,13	2,34	2,55	2,76	2,97	3,3
Rozdíl [A/km]	0,17	0,96	1,05	1,14	1,33	1,3

Poslední možnost výpočtu kapacitních proudů vychází z katalogových hodnot kapacit uvedených výrobci. Kapacita případně rovnou kapacitní proud stanovený výrobcem pro jednotlivé průřezy se dá považovat za dostatečně přesný údaj.

Tab. 3.8 Katalogové kapacitní proudy v závislosti na typu izolace a velikosti průřezu

Průřez [mm ²]	16	35	50	70	120	150	185	240
Izolace	Kapacitní proud I _c [A/km] - (katalog NKT Cabels)							
PILC	---	---	---	---	3,354	2,632	3,915	4,315
XLPE	1,25	1,8	2	2,4	2,9	3,15	---	3,7

Při výpočtu kapacitních proudů kabelového vedení jsem vycházel z tabulek (Tab. 3.7) a (Tab. 3.8). Z poskytnutých dat od provozovatele distribuční soustavy jsem vyfiltroval jednotlivé použité průřezy kabelů a jejich délky pro oba napájecí transformátory. Kapacitní proudy získané z norem či katalogu jsou konstanty vztažené na jeden kilometr, které jsem vynásobil příslušnými délkami a tím jsem dostal dílčí kapacitní proudy.

Tab. 3.9 Vypočtené celkové kapacitní proudy na přípojnici A

Kabelové vedení na přípojnici A - T 101							
Průřez [mm ²]	Délka [km]	XLPE		Průřez [mm ²]	Délka [km]	PILC	
		Norma	Katalog			Norma	Katalog
		Ic [A]	Ic [A]			Ic [A]	Ic [A]
16	1,121	1,401	1,401	120	1,695	6,102	5,685
35	3,953	7,115	7,115	150	1,382	5,390	3,638
50	2,151	4,301	4,301	185	0,536	2,306	2,099
70	1,845	3,930	4,429	240	7,774	35,761	33,545
120	2,169	5,531	6,290				
150	4,060	11,205	12,789				
240	6,671	22,015	24,683				
nazadáno	0,074	0,245	0,274				
Celkem	22,044	55,744	61,283		11,387	49,559	44,967

Z výsledných tabulek (Tab. 3.9) a (Tab. 3.10) je parné, že u smíšené sítě napájené přípojnicí A, která napájí vzdálenější lokality mimo město, je délka vedení z novodobých plastových kabelů dvakrát větší než starých olejových kabelů. Situace u městské kabelové sítě napájené z přípojnice B je opačná. Tento rozdíl vznikl důsledkem postupného budování kabelových sítí. Historicky nejstarší síť se nachází v centru města, kdežto nové kabelové sítě se vyskytují více na periferii. Kapacitní proudy u olejových kabelů jsou pro katalogové hodnoty nižší než hodnoty dané normou (o 9 %) a to se jeví jako logické „předimenzování“ normy. Naopak kapacitní proudy u plastových kabelů jsou nižší pro hodnoty vycházející z normy (o 9,3 %), což nelze logicky vysvětlit, jelikož jsem vycházel z nové podnikové normy. Zajímavostí je, že hodnoty kapacitních proudů pro kabelové vedení uvedené ve staré normě ČSN 33 3070 jsou zřetelně vyšší a více se podobají katalogovým údajům.

Tab. 3.10 Vypočtené celkové kapacitní proudy na přípojnici B

Kabelové vedení na přípojnici B - T 102							
Průřez [mm ²]	Délka [km]	XLPE		Průřez [mm ²]	Délka [km]	PILC	
		Norma	Katalog			Norma	Katalog
		Ic [A]	Ic [A]			Ic [A]	Ic [A]
35	0,113	0,204	0,204	120	4,835	17,404	16,215
50	0,004	0,007	0,007	150	1,601	6,245	4,214
70	0,015	0,032	0,036	185	0,910	3,912	3,562
120	0,738	1,882	2,140	240	18,600	85,560	80,259
150	1,339	3,696	4,218				
240	9,572	31,589	35,418				
Celkem	11,781	37,410	42,024		25,946	113,122	104,251

Kapacitní proudy pro venkovní vedení jsem stanovil z normy a navíc vypočetl (sloupec I_c katalog) viz (Tab. 3.11). Vzniklý rozdíl (12 %) mohlo způsobit zanedbání profilu krajiny, zanedbání kovových příhradových sloupů (zvyšují kapacitu), zemnicích lan a nepřesnost délek vstupních dat.

Tab. 3.11 Celková délka a kapacitní proud v oblasti Strakonice

A	Délka [km]	Ic norma [A]	Ic katalog [A]
venkovní	454,737	28,65	25,203
PILC	11,387	49,56	44,97
XLPE	22,044	55,74	61,28
celkem	488,168	133,95	131,45
B	Délka [km]	Ic norma [A]	Ic katalog [A]
venkovní	27,290	1,719	1,510
PILC	25,946	113,122	104,251
XLPE	11,781	37,410	42,024
celkem	65,017	152,251	147,994
A+B	553,185	286,202	279,237

Kapacitní proudy v rozvodně Strakonice odečtené z automatik ladění uvedené v tabulkách (Tab. 3.1) a (Příloha 6 **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**) se současně pohybují na úrovni 315 A. Vypočtené hodnoty kapacitních proudů podpořené teorií v třetí kapitole lze považovat za uspokojivé. Metodou výpočtu kapacitních proudů vycházející z uvedených hodnot (Tab. 3.7) vyšla hodnota 286,202 A, to udává odchylku 9,14 %. Metodou přesného výpočtu kapacitního proudu pro venkovní vedení a při využití katalogových údajů výrobce kabelů vyšel kapacitní proud 279,237 A s odchylkou 11,35 %. Vzniklé odchylky jsou pravděpodobně dány neúplností získané databáze od distributora pro oblast Strakonice, kde nebyly zahrnuty délky kabelů cizího vlastnictví a navíc lze předpokládat částečnou nepřesnost dat. Odchylky mohou být způsobeny také nepřesností údajů kapacit od výrobce.

3.2 Predikce kapacitních proudů

Výsledky z kapitoly 2.3 podpořím výpočtem predikce kapacitních proudů pro oblast Strakonice. Ve výpočtu jsem uvažoval s kabelizací stávajícího venkovního vedení. Predikci nárůstu kapacitních proudů jsem vytvořil pro dva průřezy současně používaných kabelů, a to s průřezem 150 a 240 mm². Výpočet jsem provedl na základě hodnot udávané normou i katalogem.

Do výpočtu jsem navíc zahrnul délku vedení, protože nové trasy pro uložení kabelů bývají v praxi delší než stávající trasy venkovního vedení. Důvod je jednoduchý, jelikož venkovní vedení často prochází přes pole, kam však nové kabelové vedení nelze uložit. Nové kabelové vedení se instaluje podél cest, které jsou většinou vzájemně kolmé.

Úvaha délky trasy

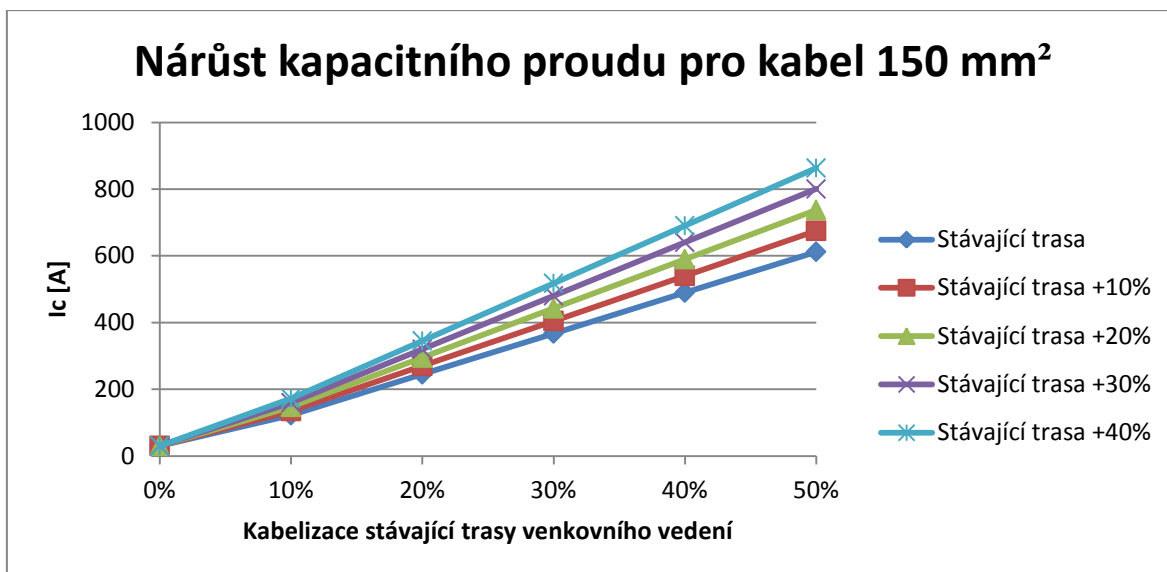
Při předpokladu nejhorší varianty, kdy venkovní vedení vede úhlopříčně přes čtvercové pole, tak nové kabelové musí kopírovat dvě strany pole. Pro tento případ lze aplikovat Pythagorovu větu, kde venkovní vedení je přepona a nové kabelové součet dvou odvěsen. Při uvažování čtvercového pole o straně 1 km vychází délka stávajícího venkovního vedení z Pythagorovy věty:

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2} = 1,414 \text{ km}$$

Délka nového kabelového vedení kopíruje dvě strany a to znamená pro uvedený příklad 2 km. Pokud zvolím trasu venkovního vedení jako 100 %, pak nová trasa kabelového vedení je o 41,4 % delší.

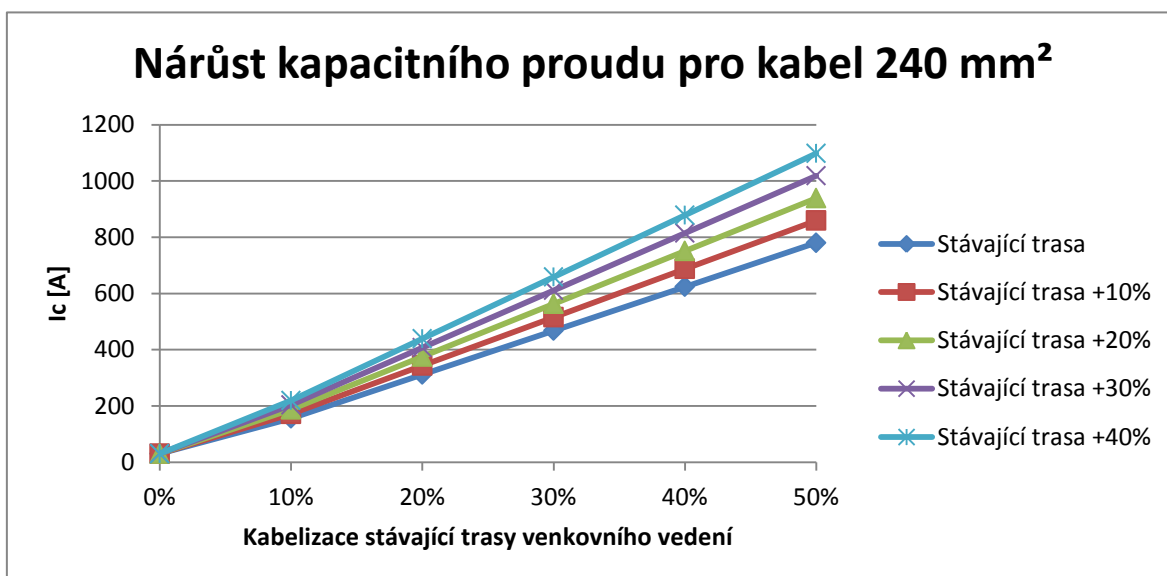
$$d_{ab\%} = \frac{a + b}{c} \cdot 100 = \frac{2}{\sqrt{2}} \cdot 100 = 141,4 \%$$

Je dobré poznamenat, že tato úvaha představuje nejhorší případ kabelizace, a proto jsem vypočetl kapacitní proudy v závislosti na prodloužení kabelové trasy od 0 do 40 %. Graf 3.3 představuje nárůst kapacitního proudu v oblasti Strakonice při použití kabelu o průřezu 150 mm².



Graf 3.3 Kabelizace stávající trasy a vývoj kapacitního proudu při použití kabelu XLPE 150 mm²

Vypočítal jsem přírůstky kapacitních proudů při předpokladu kabelizace stávajících venkovních vedení VN v rozsahu 10 – 50 %. V následujících grafech představuje osa x míru kabelizace tzn. náhrada venkovního vedení za kabelové. Osa y představuje velikost kapacitního proudu pro dílčí úrovně kabelizace. Důležité je, že výsledné hodnoty v uvedených grafech vycházejí z kapacitních proudů daných normou (150 mm² – 2,76 A/km) a (240 mm² – 3,3 A/km). Dílčí řady představují délku nové trasy kabelu v rozsahu 0 až 40 %.



Graf 3.4 Kabelizace stávající trasy a vývoj kapacitního proudu při použití kabelu XLPE 240 mm²

Výpočet kapacitních proudů při uvažování kabelu o průřezu 240 mm² probíhal shodně jako v předchozím případě a výsledné průběhy znázorňuje *Graf 3.4*. Jak se dalo předpokládat, kapacitní proudy jsou vyšší a to při padesátiprocentní kabelizaci dává značný rozdíl 485,944 A. Tabulka (*Tab. 3.12*) predikovaných kapacitních proudů v oblasti Strakonice zobrazuje rozdíly v závislosti na délce kabelové trasy a zvoleného průřezu kabelu. U výpočtu jsem nezapomněl uvažovat i s úbytkem kapacitního proudu demontovaných venkovních vedení, proto při nulové kabelizace je kapacitní proud 30,368 A představující stávající venkovní vedení a z této referenční hodnoty odečítám úbytek daný demontáží venkovního vedení a zároveň přičítám kapacitní proudy vzniklé vlivem nových kabelových tras.

Tab. 3.12 Vypočtené hodnoty kapacitních proudů

Míra kabelizace [%]	Kabel 150 mm ²		Kabel 240 mm ²	
	Stávající trasa	Stávající trasa +40%	Stávající trasa	Stávající trasa +40%
	I _c [A]	I _c [A]	I _c [A]	I _c [A]
0%	30,368	30,368	30,368	30,368
10%	122,471	172,674	156,032	219,660
20%	244,941	345,347	312,064	439,319
30%	367,412	518,021	468,096	658,979
40%	489,883	690,695	624,128	878,639
50%	612,354	863,369	780,160	1098,298

Výpočet predikce kapacitních proudů uvažuje pouze případ kabelizace, to znamená shodné celkové délky vedení. V praxi se však sítě rozvíjejí a celkově rostou i její délky, tím více rostou kapacitní proudy. Vzhledem k uvedeným délkám (*Tab. 3.13*) venkovního vedení VN v oblasti Strakonice, lze předpokládat dosažení desetiprocentní kabelizace do horizontu patnácti let. Vyšší míra kabelizace je při současných podmínkách v Česku velmi vzdálená.

Tab. 3.13 Vypočtený úbytek délky a kapacitních proudů venkovního vedení závislé na míře kabelizace

Míra kabelizace [%]	Venkovní vedení VN		Kapacitní proud	
	Celková délka [km]	Úbytek [km]	Celkový [A]	Úbytek [A]
0%	482,027	0	30,368	0
10%	433,824	48,203	27,331	3,037
20%	385,621	96,405	24,294	6,074
30%	337,419	144,608	21,257	9,110
40%	289,216	192,811	18,221	12,147
50%	241,013	241,013	15,184	15,184

V budoucnu se počítá spíše s instalací kabelů o průřezu 150 mm², ale v případě potřeby vysokého přenosového výkonu je možné předpokládat instalaci kabelů o průřezu 240 mm². Postupnou kabelizací tedy budou přibývat kapacitní proudy spíš dle predikce pro kabely 150 mm².

3.2.1 Budoucí postupy v rozvoji distribučních sítí

Zájmem distribučních společností při budování či rekonstrukcích distribučních sítí je přehlednost provozu, spolehlivost a efektivita dodávky a hlavně bezpečnost provozu. Domnívám se, že bude nadále kladen důraz především na větší využívání již dnes používaných automatizačních elementů, které dávají provozovateli včasnou informaci o stavu sítě a o poruchách a mohou automaticky či dálkově reagovat na vzniklou situaci či poruchu. Bude se tak omezovat doba výpadku dodávky při poruše a zvyšovat spolehlivost dodávky.

Další možností bude v budoucnu unifikovat napěťové hladiny vedení VN na 22kV možná 35kV a zjednodušit tak množství položek potřebného materiálu a automatizačních prvků pro snadnější opravy a vyšší efektivitu. V oblasti dohledu nad provozem sítí vidím možnosti ve větším využití stále se rozvíjejících grafických systémů a GIS (Geografický informační systém).

Při budování distribučních sítí bude snaha o zjednodušení - z rozvodny 110kV/22kV přímo k TS 22kV/0,4kV nebo přes spínací stanice k více TS 22kV/0,4kV tzv. dvoustupňově, kde nevznikají tak dlouhá vedení, především ve velkých městech a tím lze ovlivnit velikosti kapacitních proudů. Pokud bude v budoucnu růst zatížení distribučních sítí, je také možné budovat menší rozvodny 110kV/22kV namísto spínacích stanic.

Rozvoj distribučních sítí se v budoucnu neobejde bez zvýšené kabelizace a to nastoluje opět otázku problematiky vyšších kapacitních proudů. Kabelová vedení se vyznačují malým počtem poruch, jak bylo uvedeno dříve, ale zároveň zvyšují hodnoty kapacitních proudů. Cestou by bylo rozumným způsobem udržovat řazení vedení s ohledem na velikost kapacitních proudů. Dle mého názoru se bude do budoucna uvažovat řešení kompenzace kapacitních proudů zhášecí tlumivkou s vyšším výkonem a metodou přizemnění postižené fáze při současném zvýšení nároků na uzemňovací soustavy.

Závěr

V této diplomové práci jsem se zabýval způsobem provozu a poruchovostí distribučních sítí. Porovnal jsem výhody a nevýhody venkovního a kabelového vedení v síti 110 kV. Zabýval jsem se historickým vývojem kabelů a jejich izolací. Popsal jsem průběh výstavby kabelových vedení v distribuční oblasti E.ON za posledních 50 let.

Porovnal jsem přírůstky kabelového a venkovního vedení v posledních letech u společností E.ON pro všechny napěťové hladiny a odhadl trendy rozvoje distribučních vedení.

Uvedl jsem důvody a přínosy častější kabelizace sítí, porovnal jsem vybrané evropské sítě z hlediska spolehlivosti a míry zastoupení kabelového vedení. Rozebral jsem rizika spojená s kabelizací s ohledem na velikost kapacitních proudů a věnoval jsem se způsobům jejich omezení.

Popsal jsem vývoj kapacitních proudů v rozvodně Strakonice v posledních deseti letech a porovnal normované a katalogové hodnoty kapacitních proudů na obou přípojnicích. Z kapacitního proudu odečteného z automatik ladění tlumivek jsem vypočítal maximální dovolené zemní odpory pro dovolené dotykové napětí 75 a 150 V. Vypočítal jsem kapacitní proud s ohledem na tvar konzole venkovního vedení VN. Vypočetl jsem další vývoj kapacitních proudů v této oblasti vzhledem k postupující kabelizaci.

Na závěr jsem nastínil možné budoucí postupy rozvoje distribučních sítí s důrazem na omezení kapacitních proudů.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Porovnání nadzemního a kabelového vedení* [online]. Děčín: ČEZ Distribuce, a. s., c2016 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/pro-media/vedeni-110-kv-novy-bor-varnsdorf/porovnani-reseni-nadzemniho-a-kabeloveho-vedeni.html>
- [2] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [3] *POPIS DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY E.ON DISTRIBUCE, a.s.* [online]. Brno: E.ON Distribuce, 2016 [cit. 2016-12-07]. Dostupné z: <https://www.eon-distribuce.cz/onas/distribucni-soustava/technicke-informace/elektrina/-a12371?field=data>
- [4] HOLÝ, Karel, Václav MACHÁČEK a Josef HANZL. *Stavba a rekonstrukce kabelových vedení nízkého napětí*. Praha: IN-EL, 1997. Knihovna Elektro. ISBN 80-902333-4-1.
- [5] *VENKOVNÍ VEDENÍ NN S IZOLOVANÝMI VODIČI AES: Technický podklad pro projektování a montáž izolovaného vedení při použití závěsného izolovaného vodiče typu AES* [online]. Praha: ENSTO CZECH s.r.o, 2007 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: diskuse.elektrika.cz/index.php?action=dlatattach;topic=33004.0;attach=27814
- [6] TESAŘOVÁ, Miloslava. *Průmyslová elektroenergetika*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-703-3.
- [7] *Zákon č. 458/2000 Sb.: Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)* [online]. Praha, 2000 [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-458#cast1>
- [8] [ED. BOARD A. SHERRY ..]. *Modern power station practice: in 8 volumes. 2. rev. and enl. ed., reprinted*. Oxford [u.a.]: Pergamon Press, 1982 ISBN 00-801-6061-1.
- [9] *Z historie kabelů. Elektro: časopis pro elektrotechniku* [online]. **2008**(1), 58 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36453.pdf>
- [10] KUBÍN, Miroslav. *Rozvoj energetiky v Československu*. Praha: České energetické závody, 1989.
- [11] ČSN 34 7621 *Silové kabely s papírovou izolací a olověným pláštěm*, Český normalizační institut, 1954
- [12] PNE 34 7625: *VN kabely se zesíťnou PE izolací pro distribuční sítě do 35 kV*, Praha: České sdružení regulovaných elektroenergetických společností, 2011
- [13] KUBÍN, Miroslav. *Proměny české energetiky: historie, osobnosti, vědecko-technický rozvoj*. Praha: Český svaz zaměstnavatelů v energetice, c2009. ISBN 978-80-254-4524-2.
- [14] *Technologie pluhování* [online]. Praha: ENSLO CZ [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://www.pluhovani.com>

- [15] PNE 34 1050: *KLADENÍ KABELŮ NN, VN A 110 KV V DISTRIBUČNÍCH SÍTÍCH ENERGETIKY* [online]. Praha: České sdružení regulovaných elektroenergetických společností, 2011 [cit. 2017-03-17]. Dostupné z: <http://www.csres.cz/Upload/PNE%2034%201050.pdf>
- [16] ŠEFRÁNEK, Jan. *Regulace kvality dodávek elektřiny*, Příspěvek z konference ČK CIRED 2015.
- [17] MACH, Martin a Petr SIKYTA. *PROBLEMATIKA KAPACITNÍCH PROUDŮ V ČEZ DISTRIBUCE, A.S.* Příspěvek z konference ČK CIRED 2015.
- [18] MOGG, John. *5th CEER Benchmarking Report on the Quality of Electricity Supply 2011* [online]. Brusel: Council of European Energy Regulators, 2011 [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: http://www.ceer.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Electricity/Tab/CEER_Benchmarking_Report.pdf
- [19] MOGG, John. *CEER Benchmarking Report 5.2 on the Continuity of Electricity Supply: Data update* [online]. Brusel: Council of European Energy Regulators, 2015 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: http://www.ceer.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Electricity/Tab4/C14-EQS-62-03_BMR-5-2_Continuity%20of%20Supply_20150127.pdf
- [20] MOGG, John. *6TH CEER BENCHMARKING REPORT ON THE QUALITY OF ELECTRICITY AND GAS SUPPLY* [online]. Brusel: Council of European Energy Regulators, 2011 [cit. 2017-04-29]. Dostupné z: http://www.ceer.eu/portal/page/portal/EER_HOME/EER_PUBLICATIONS/CEER_PAPERS/Cross-Sectoral/2016/1-C16-EQS-72-03_CEER-6thBR_Intro-Ch1-2.pdf
- [21] *Smlouva na zapouzdřenou transformovnu Strakonice* [online]. ABB [cit. 2017-04-28]. Dostupné z: <http://www.abb.com/cawp/czabb017/67f19d37aed156bac1256c72003e7594.aspx>
- [22] HODINKA, Miloslav. *Přenos a rozvod elektrické energie*. Praha: SNTL, 1989. ISBN 80-03-00065-3.
- [23] *Ocelové konzoly typ PAŘÁT III na betonové sloupy* [online]. České Budejovice: Energetika servis, 2012 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <http://www.energetika-servis.cz/tp/201601/201601.PDF>
- [24] PNE 33 0000-1 *Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribuční soustavách a přenosové soustavě*, Praha: České sdružení regulovaných elektroenergetických společností, 2011
- [25] ČSN 33 3070 *Kompenzace kapacitních zemních proudů v sítích vysokého napětí*, Praha: Český normalizační institut, 1981

Přílohy

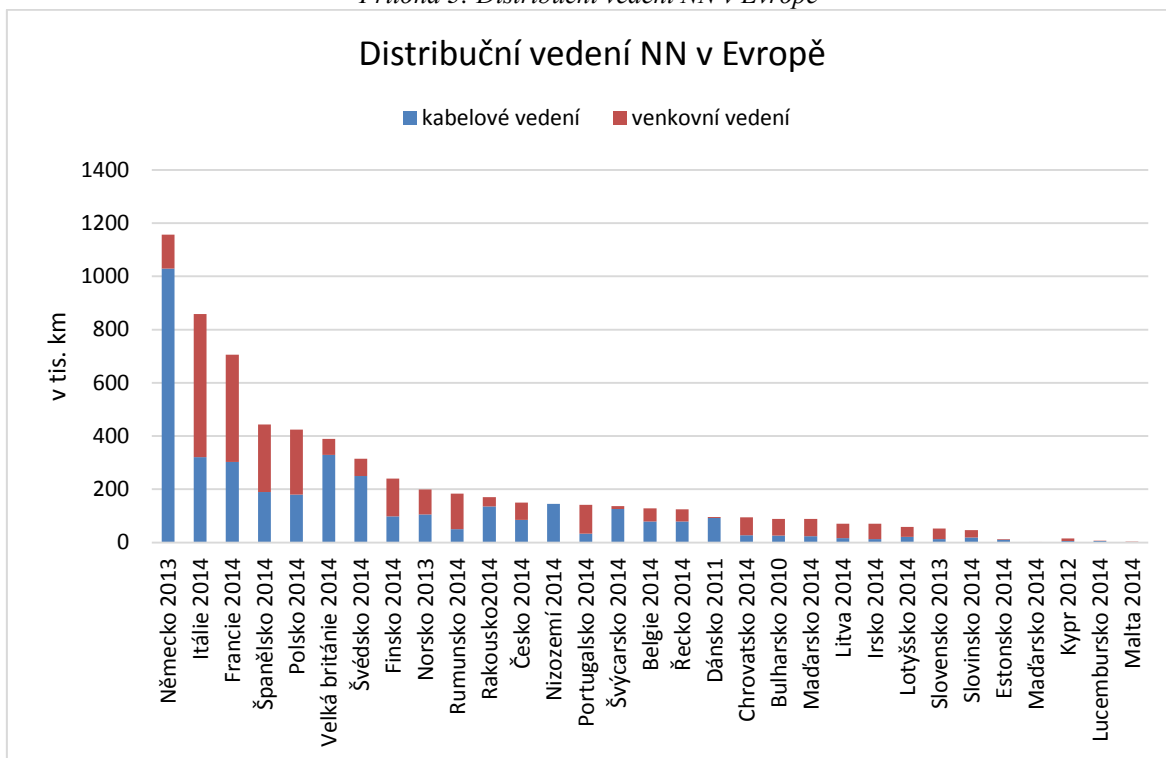
Příloha 1: Značení olejových kabelů

Jádro	A	Hliníkové
	C	Měděné
Izolace	N	Napuštěný papír „normální“
	M	Napuštěný papír „nemigrující“
	Y	Měkčený PVC
	G	Kaučukový vulkanizát
	E	Polyetylén
Kabel	K	Silnoproudý kabel
Plášť	A	Hliník
	O	Olovo (99,9%)
	Q	Slitina olova (legované olovo)
	Y	Měkčený PVC
	U	Vulkanizát z chloroprenového kaučuku
	T	Samostatné opláštěné žíly
Obaly nad pláštěm	J	Asfaltem napuštěná tkanina
	V	Vláknitý asfaltový obal
	B	Asfaltem napuštěná tkanina a dva nebo tři pásy z měkčeného PVC
	Y	Souvislý bezešvý obal z měkčeného PVC
	P	Pancíř z dvou pásků včetně asfaltem napuštěné tkaniny
	D	Pancíř z drátů včetně asfaltem napuštěné tkaniny
	Z	Pancíř z nemagnetických drátů (pro jednožilové kabely na střídavý proud)

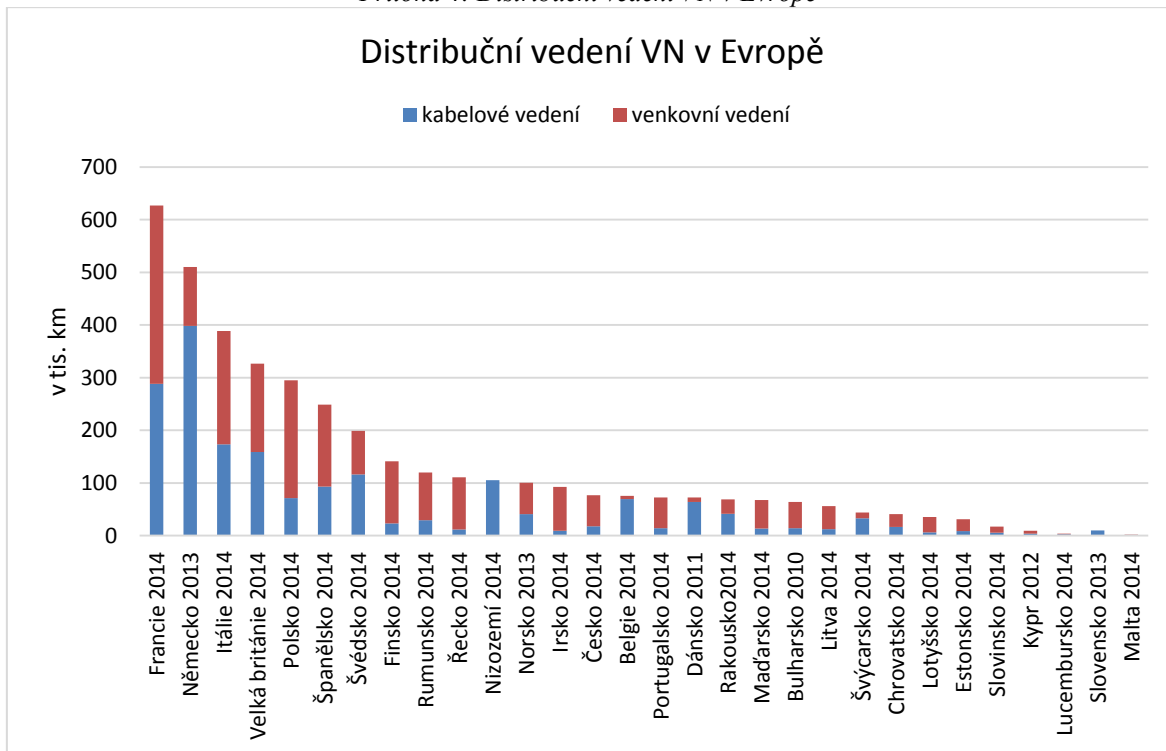
Příloha 2 Značení kabelů typu XLPE[12]

Jádro	A	hliníkové vícedrátové
	C	měděné vícedrátové
	AV	hliníkové vodotěsné
	CV	měděné vodotěsné
Izolace	XE	zesíťovaný polyethylen
Kabel	K	silnoproudý kabel
Stínění	C	měděné kovové stínění
	VC	měděné kovové stínění s ochranou proti axiálnímu šíření vody pod pláštěm
Kabel typu AIRBAG	AR	ochranná vrstva pod pláštěm proti mechanickému poškození
Plášť	Y	PVC plášť
	E	plášť z PE
	ER	plášť PE retardovaný proti ohni
	EER	plášť PE + PE retardovaný proti ohni
	EY	kombinovaný plášť PE+PVC
	VE	vodotěsný plášť s Al folií
	OY	olověný plášť s PVC ochranou vrstvou
Závěsný kabel	Z	za posledním písmenem značky

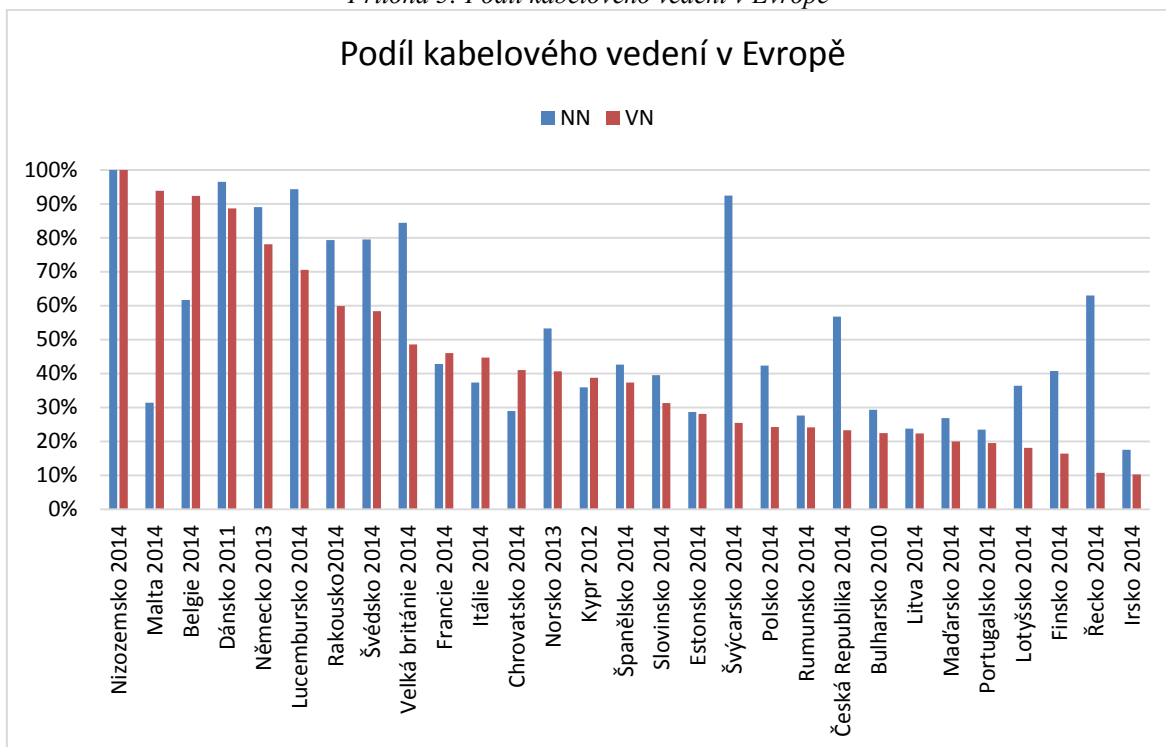
Příloha 3: Distribuční vedení NN v Evropě



Příloha 4: Distribuční vedení VN v Evropě



Příloha 5: Podíl kabelového vedení v Evropě



Příloha 6: Kapacitní proudy v rozvodně Strakonice odečtené z automatik ladění tlumivek

Strakonice	2005	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2017	Rok
Přípojnice A	129	92	125	117	132	137	141	142	147	136	159	Ic [A]
Přípojnice B	148	183	135	143	160	160	161	160	156	172	156	Ic [A]
Celkem	277	275	260	260	292	297	302	302	303	308	315	Ic [A]

Příloha 7: Kompletní výpočet kapacitních proudů na přípojnici A

Venkovní vedení na přípojnici A									
Označení		Průměr [mm]	Délka [km]	Podíl [%]	Rovinná konzole		Konzole Pařát		
dle ČSN EN 50182	Původní				Ik [mA/km]	Ik [A]	Ik [mA/km]	Ik [A]	
24-AL1/4-ST1A	25 AlFe 6	6,72	9,35	2,1%	53,27	0,498	51,88	0,485	
37-AL1/6-ST1A	35 AlFe 6	8,4	122,45	26,9%	54,24	6,642	52,79	6,465	
42-AL1/7-ST1A	42/7 AlFe	9	77,43	17,0%	54,54	4,223	53,08	4,110	
47-AL1/8-ST1A	50 AlFe 6	9,45	20,63	4,5%	54,76	1,130	53,29	1,099	
66-AL1/11-ST1A	70 AlFe 6	11,4	45,81	10,1%	55,62	2,548	54,10	2,479	
66-AL1/11-ST1A	70/11-1 AlFe	11,7	5,59	1,2%	55,74	0,311	54,22	0,303	
92-AL1/16-ST1A	95 AlFe 6	13,58	50,84	11,2%	56,45	2,870	54,88	2,790	
100-AL1/25-ST1A	100/25 AlFe	14,6	3,55	0,8%	56,80	0,202	55,21	0,196	
110-AL1/22-ST1A	110/22 AlFe	14,96	116,97	25,7%	56,92	6,658	55,32	6,471	
128-AL1/22-ST1A	120 AlFe 6	16	2,12	0,5%	57,25	0,121	55,63	0,118	
			454,74	100,0%		25,203		24,516	

Příloha 8: Kompletní výpočet kapacitních proudů na přípojnici B

Venkovní vedení na přípojnici B								
Označení		Průměr [mm]	Délka [km]	Podíl [%]	Rovinná konzole		Konzole Pařát	
dle ČSN EN 50182	Původní				Ic [mA/km]	Ic [A]	Ic [mA/km]	Ic [A]
37-AL1/6-ST1A	35 AlFe 6	8,4	4,904	18%	54,24	0,266	52,79	0,259
42-AL1/7-ST1A	42/7 AlFe	9	3,026	11%	54,54	0,165	53,08	0,161
47-AL1/8-ST1A	50 AlFe 6	9,45	6,708	25%	54,76	0,367	53,29	0,358
66-AL1/11-ST1A	70 AlFe 6	11,4	6,694	25%	55,62	0,372	54,10	0,362
66-AL1/11-ST1A	70/11-1 AlFe	11,7	0,137	1%	55,74	0,008	54,22	0,007
92-AL1/16-ST1A	95 AlFe 6	13,58	0,383	1%	56,45	0,022	54,88	0,021
100-AL1/25-ST1A	100/25 AlFe	14,6	2,720	10%	56,80	0,154	55,21	0,150
110-AL1/22-ST1A	110/22 AlFe	14,96	0,680	2%	56,92	0,039	55,32	0,038
128-AL1/22-ST1A	120 AlFe 6	16	2,037	7%	57,25	0,117	55,63	0,113
			27,290	100%		1,510		1,469

Příloha 9: Délky vedení 110 kV a procentní přírůstky pro oblast E.ON

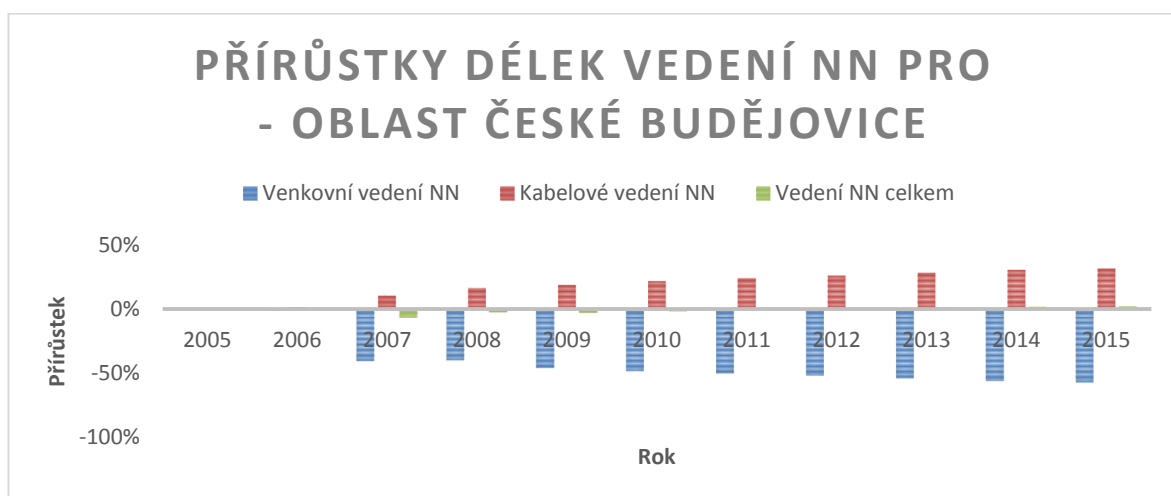
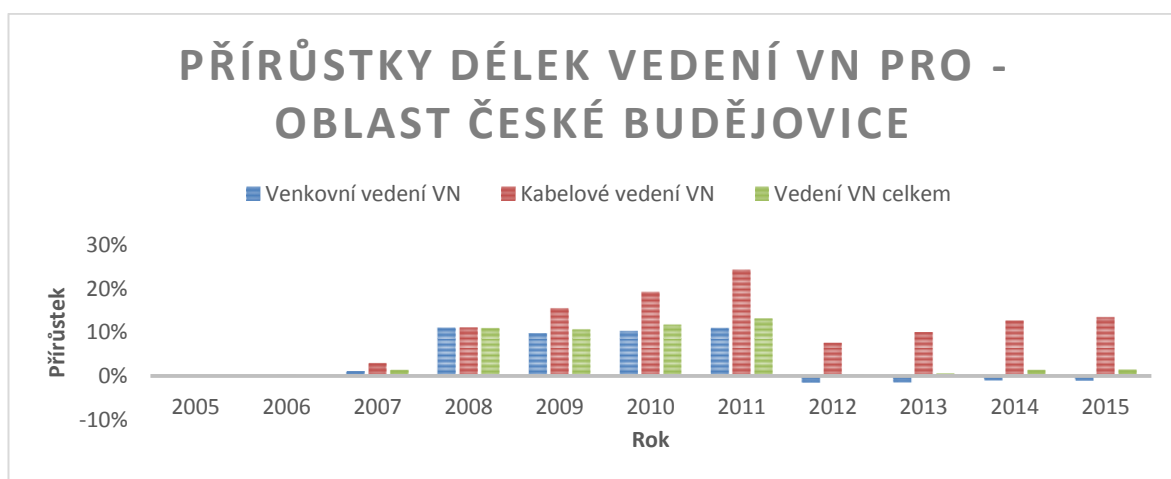
Zařízení	rok	Venkovní vedení 110 kV	Kabelové vedení 110 kV	Vedení 110 kV celkem	Venkovní vedení 110 kV	Kabelové vedení 110 kV	Vedení 110 kV celkem
		(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)
E.ON	2005	3 875	1,30	3 876	0%	0%	0%
	2006	3 908	1,30	3 909	0,85%	0,00%	0,85%
	2007	3 912	1,26	3 914	0,97%	-3,46%	0,96%
	2008	3 916	1,26	3 917	1,06%	-3,46%	1,06%
	2009	3 981	1,30	3 982	2,74%	0,00%	2,74%
	2010	3 940	3,78	3 943	1,67%	190,46%	1,74%
	2011	3 893	6,29	3 899	0,47%	383,54%	0,60%
	2012	3 882	10,45	3 892	0,17%	703,82%	0,41%
	2013	3 897	10,46	3 907	0,57%	704,76%	0,80%
	2014	3 919	10,46	3 929	1,14%	704,76%	1,38%
	2015	3 914	10,46	3 925	1,02%	704,76%	1,26%

Příloha 10: Délky vedení a procentní přírůstky pro oblast E.ON

Zařízení	rok	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem
		(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)	(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)
E.ON	2005	18 631	3 114	21 746	0%	0%	0%	19 630	19 206	38 836	0%	0%	0%
	2006	18 715	3 166	21 880	0,45%	1,66%	0,62%	19 712	19 675	39 387	0,42%	2,44%	1,42%
	2007	18 724	3 179	21 904	0,50%	2,10%	0,72%	17 401	20 651	38 052	-11,35%	7,52%	-2,02%
	2008	19 126	3 336	22 462	2,66%	7,13%	3,29%	17 599	21 272	38 871	-10,34%	10,76%	0,09%
	2009	19 161	3 368	22 530	2,85%	8,17%	3,60%	17 151	21 660	38 811	-12,63%	12,78%	-0,06%
	2010	19 113	3 424	22 537	2,59%	9,95%	3,64%	17 010	22 474	39 484	-13,34%	17,01%	1,67%
	2011	19 150	3 533	22 682	2,78%	13,45%	4,30%	16 838	22 902	39 740	-14,22%	19,24%	2,33%
	2012	18 660	3 426	22 086	0,16%	10,01%	1,56%	16 714	22 676	39 390	-14,85%	18,06%	1,43%
	2013	18 609	3 522	22 131	-0,12%	13,11%	1,77%	16 526	23 075	39 601	-15,81%	20,15%	1,97%
	2014	18 598	3 767	22 364	-0,18%	20,95%	2,84%	16 364	23 254	39 617	-16,64%	21,08%	2,01%
	2015	18 593	3 827	22 420	-0,20%	22,89%	3,10%	16 170	23 338	39 508	-17,62%	21,51%	1,73%

Příloha 11: Délky vedení a procentní přírůstky pro oblast České Budějovice

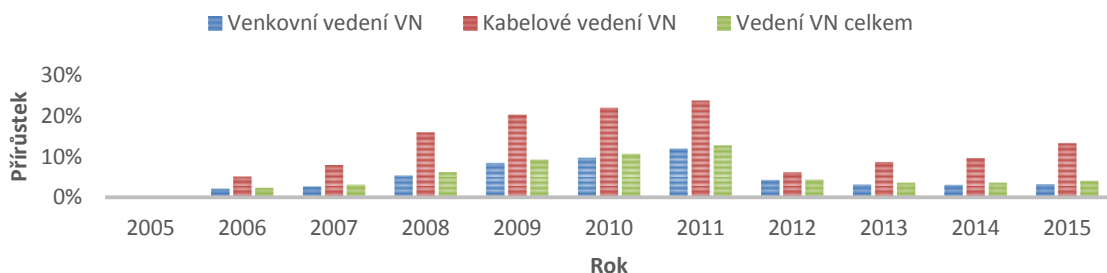
Zařízení	rok	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem
		(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)	(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)
České Budějovice	2005	1 998	406	2 405	0%	0%	0%	1 480	2 906	4 386	0%	0%	0%
	2006	2 002	407	2 409	0,17%	0,22%	0,17%	1 459	2 943	4 402	-1,41%	1,28%	0,37%
	2007	2 022	418	2 440	1,17%	3,02%	1,48%	884	3 215	4 099	-40,31%	10,65%	-6,55%
	2008	2 218	451	2 669	10,96%	11,16%	11,00%	891	3 388	4 278	-39,81%	16,58%	-2,45%
	2009	2 192	469	2 662	9,71%	15,52%	10,69%	807	3 457	4 265	-45,46%	18,98%	-2,77%
	2010	2 204	484	2 688	10,28%	19,21%	11,79%	772	3 539	4 311	-47,86%	21,80%	-1,71%
	2011	2 217	505	2 721	10,91%	24,28%	13,17%	745	3 608	4 353	-49,69%	24,16%	-0,76%
	2012	1 973	437	2 410	-1,27%	7,70%	0,25%	717	3 667	4 384	-51,55%	26,20%	-0,04%
	2013	1 974	447	2 421	-1,23%	10,13%	0,69%	687	3 733	4 421	-53,57%	28,48%	0,79%
	2014	1 983	458	2 441	-0,76%	12,78%	1,53%	658	3 794	4 452	-55,54%	30,56%	1,50%
2015	1 982	461	2 443	-0,82%	13,49%	1,60%	642	3 826	4 468	-56,64%	31,68%	1,87%	



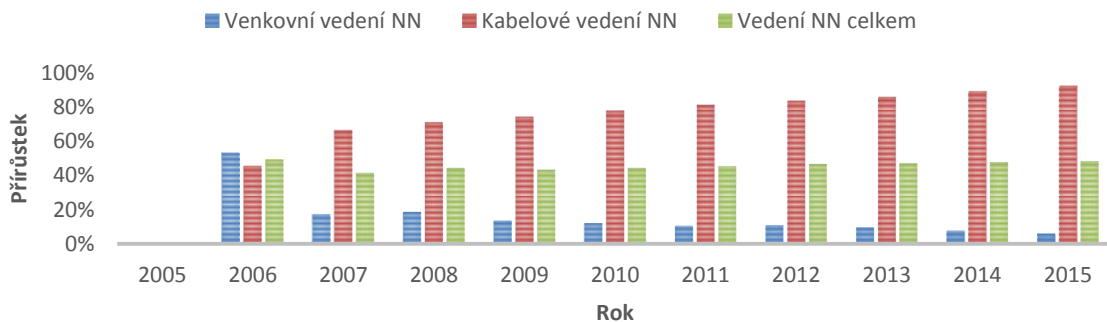
Příloha 12: Délky vedení a procentní přírůstky pro oblast Písek

Zařízení	rok	VN		NN		VN celkem		NN celkem		VN celkem		NN celkem	
		Venkovní vedení	Kabelové vedení	Venkovní vedení	Kabelové vedení	Venkovní vedení	Kabelové vedení	Venkovní vedení	Kabelové vedení	Venkovní vedení	Kabelové vedení	Venkovní vedení	Kabelové vedení
	(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)	(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)	(%)
Písek	2005	2 388	219	2 607	0%	0%	0%	1 486	1 437	2 923	0%	0%	0%
	2006	2 438	230	2 667	2,07%	5,09%	2,32%	2 271	2 091	4 362	52,85%	45,51%	49,25%
	2007	2 452	236	2 688	2,66%	7,93%	3,10%	1 743	2 389	4 132	17,34%	66,26%	41,39%
	2008	2 516	253	2 769	5,33%	15,94%	6,22%	1 764	2 458	4 222	18,74%	71,06%	44,46%
	2009	2 586	263	2 849	8,30%	20,26%	9,30%	1 688	2 501	4 190	13,64%	74,08%	43,36%
	2010	2 620	267	2 886	9,68%	22,00%	10,72%	1 667	2 554	4 221	12,21%	77,72%	44,42%
	2011	2 669	271	2 939	11,75%	23,74%	12,75%	1 645	2 603	4 248	10,71%	81,14%	45,34%
	2012	2 489	232	2 721	4,19%	6,19%	4,36%	1 650	2 638	4 288	11,05%	83,58%	46,71%
	2013	2 463	238	2 701	3,13%	8,68%	3,60%	1 630	2 670	4 299	9,68%	85,80%	47,11%
	2014	2 462	240	2 702	3,08%	9,65%	3,63%	1 604	2 715	4 319	7,96%	88,97%	47,79%
2015	2 465	248	2 713	3,21%	13,26%	4,05%	1 578	2 761	4 338	6,18%	92,14%	48,44%	

PŘÍRŮSTKY DÉLEK VEDENÍ VN PRO - PÍSEK

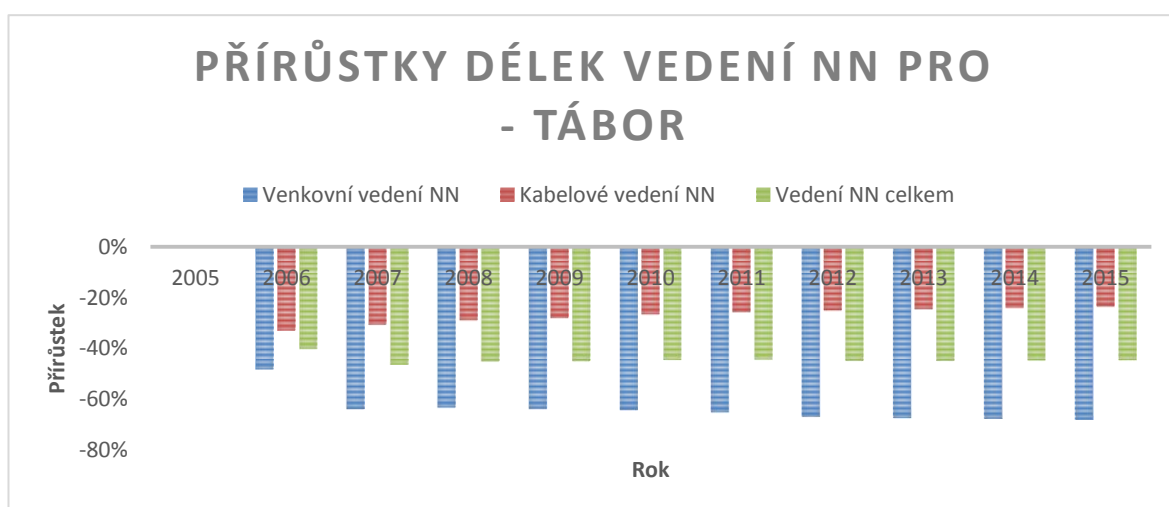
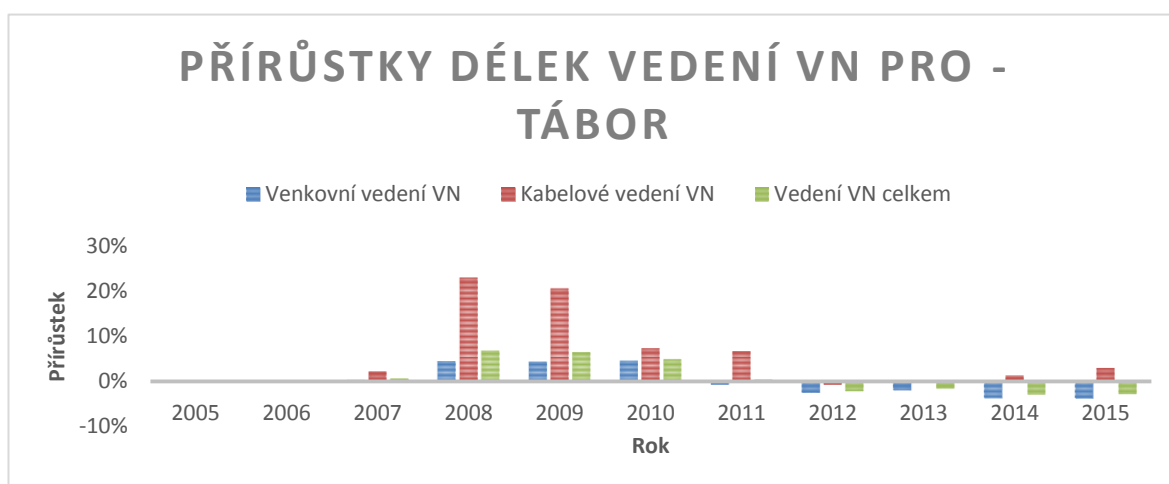


PŘÍRŮSTKY DÉLEK VEDENÍ NN PRO - OBLAST PÍSEK



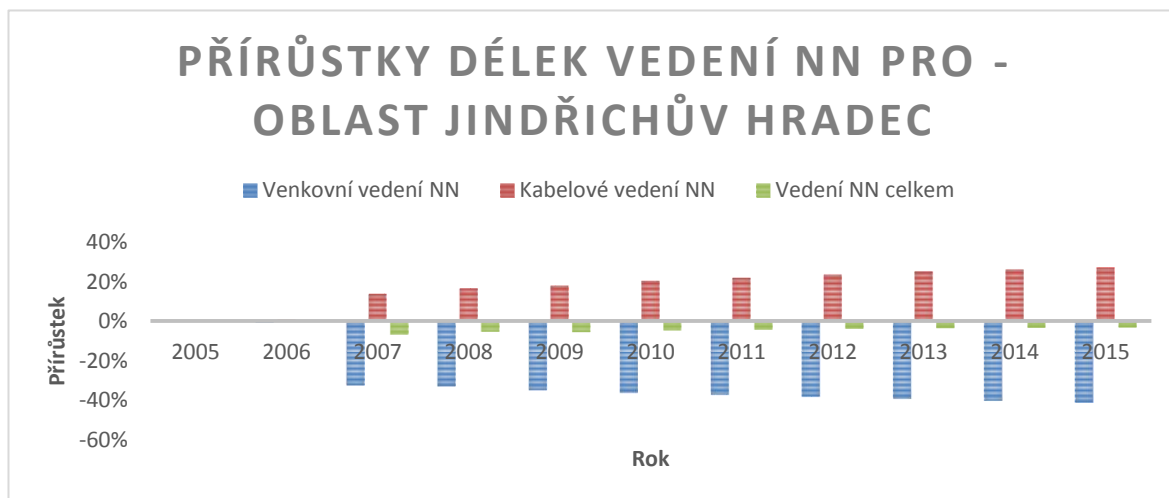
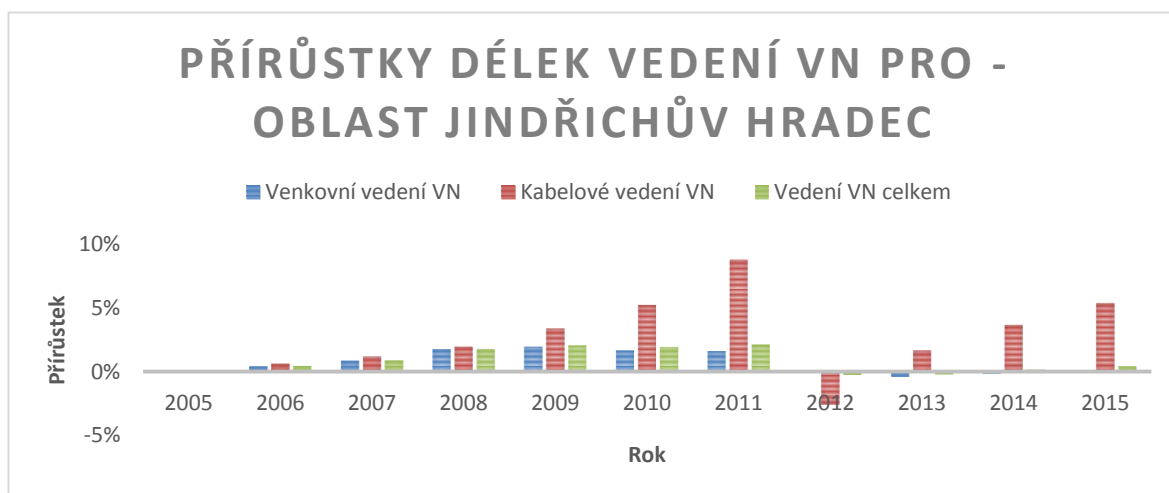
Příloha 13: Délky vedení a procentní přírůstky pro oblast Tábor

Zařízení	rok	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem
		(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)	(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)
Tábor	2005	967	146	1 113	0%	0%	0%	1 693	1 869	3 562	0%	0%	0%
	2006	969	146	1 115	0,18%	0,13%	0,17%	877	1 257	2 134	-48,23%	-32,74%	-40,10%
	2007	971	149	1 120	0,37%	2,22%	0,62%	614	1 301	1 915	-63,77%	-30,37%	-46,24%
	2008	1 009	180	1 189	4,37%	22,98%	6,81%	624	1 333	1 957	-63,16%	-28,66%	-45,06%
	2009	1 009	176	1 185	4,35%	20,56%	6,47%	615	1 349	1 963	-63,70%	-27,83%	-44,88%
	2010	1 011	157	1 168	4,54%	7,39%	4,91%	606	1 376	1 982	-64,23%	-26,37%	-44,37%
	2011	961	156	1 117	-0,66%	6,71%	0,30%	592	1 392	1 984	-65,05%	-25,51%	-44,31%
	2012	944	145	1 089	-2,42%	-0,64%	-2,18%	562	1 403	1 966	-66,78%	-24,90%	-44,81%
	2013	949	146	1 096	-1,85%	0,16%	-1,58%	554	1 413	1 967	-67,31%	-24,38%	-44,78%
	2014	932	148	1 080	-3,59%	1,35%	-2,94%	548	1 422	1 970	-67,65%	-23,89%	-44,69%
	2015	932	151	1 082	-3,63%	2,99%	-2,76%	542	1 432	1 974	-67,97%	-23,37%	-44,57%



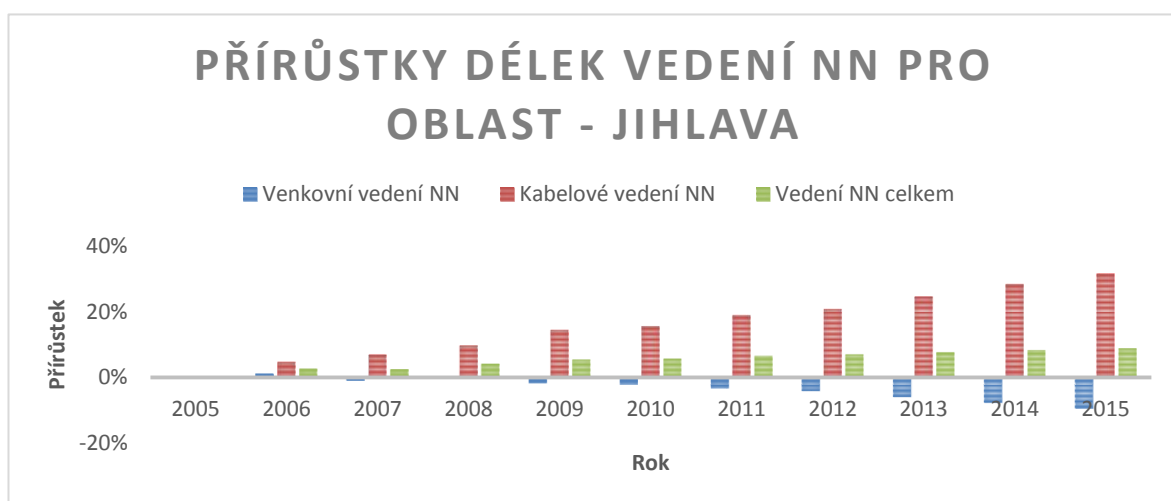
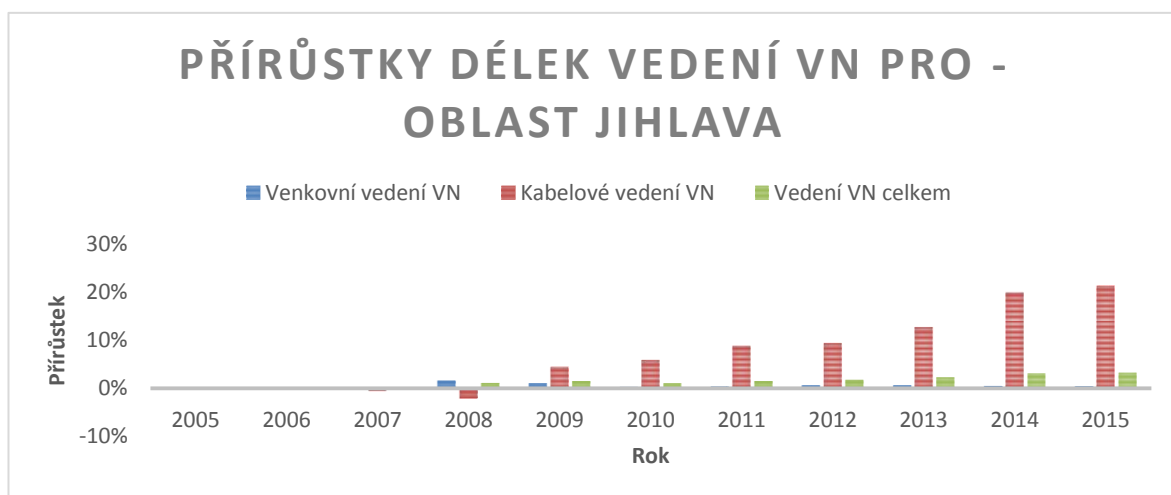
Příloha 14: Délky vedení a procentní přírůstky pro oblast Jindřichův Hradec

Zařízení	rok	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem
		(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)	(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)
Jindřichův Hradec	2005	2 166	175	2 341	0%	0%	0%	1 748	2 192	3 940	0%	0%	0%
	2006	2 176	176	2 352	0,43%	0,65%	0,44%	1 732	2 212	3 945	-0,91%	0,93%	0,11%
	2007	2 186	177	2 363	0,89%	1,20%	0,91%	1 180	2 493	3 673	-32,53%	13,75%	-6,79%
	2008	2 205	178	2 383	1,76%	1,98%	1,78%	1 171	2 556	3 728	-33,02%	16,64%	-5,39%
	2009	2 208	181	2 389	1,94%	3,38%	2,05%	1 137	2 585	3 723	-34,94%	17,96%	-5,52%
	2010	2 202	184	2 387	1,66%	5,22%	1,93%	1 114	2 641	3 754	-36,30%	20,49%	-4,71%
	2011	2 201	190	2 392	1,61%	8,74%	2,14%	1 098	2 674	3 771	-37,21%	21,99%	-4,28%
	2012	2 166	171	2 337	-0,01%	-2,53%	-0,20%	1 079	2 706	3 785	-38,30%	23,48%	-3,93%
	2013	2 159	178	2 337	-0,33%	1,67%	-0,18%	1 061	2 743	3 803	-39,34%	25,15%	-3,47%
	2014	2 164	181	2 346	-0,10%	3,65%	0,18%	1 043	2 764	3 807	-40,35%	26,13%	-3,37%
	2015	2 167	184	2 351	0,03%	5,36%	0,43%	1 026	2 786	3 812	-41,33%	27,13%	-3,25%



Příloha 15: Délky vedení a procentní přírůstky pro oblast Jihlava

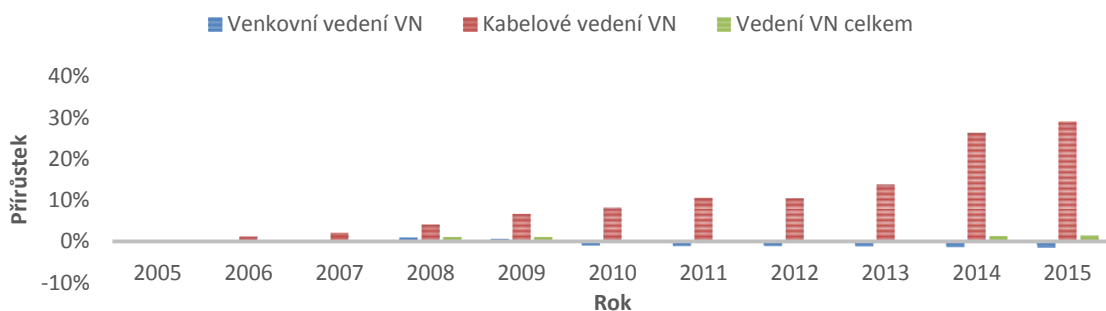
Zařízení	rok	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem
		(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)	(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)
Jihlava	2005	1 855	281	2 136	0%	0%	0%	1 711	1 368	3 079	0%	0%	0%
	2006	1 858	281	2 140	0,20%	0,23%	0,19%	1 730	1 433	3 163	1,12%	4,74%	2,72%
	2007	1 859	280	2 138	0,21%	-0,38%	0,13%	1 694	1 463	3 158	-0,98%	6,97%	2,55%
	2008	1 885	275	2 160	1,64%	-1,97%	1,16%	1 705	1 501	3 206	-0,33%	9,72%	4,13%
	2009	1 876	294	2 169	1,13%	4,56%	1,58%	1 681	1 566	3 247	-1,75%	14,50%	5,47%
	2010	1 862	298	2 159	0,39%	5,96%	1,11%	1 674	1 582	3 256	-2,17%	15,63%	5,74%
	2011	1 863	306	2 169	0,43%	8,89%	1,54%	1 654	1 628	3 282	-3,31%	19,00%	6,60%
	2012	1 867	307	2 175	0,68%	9,42%	1,82%	1 640	1 654	3 294	-4,13%	20,87%	6,98%
	2013	1 868	317	2 184	0,69%	12,75%	2,27%	1 610	1 706	3 315	-5,93%	24,69%	7,68%
	2014	1 865	337	2 202	0,56%	19,92%	3,10%	1 579	1 758	3 337	-7,69%	28,49%	8,38%
	2015	1 865	341	2 205	0,53%	21,32%	3,26%	1 549	1 801	3 350	-9,47%	31,68%	8,82%



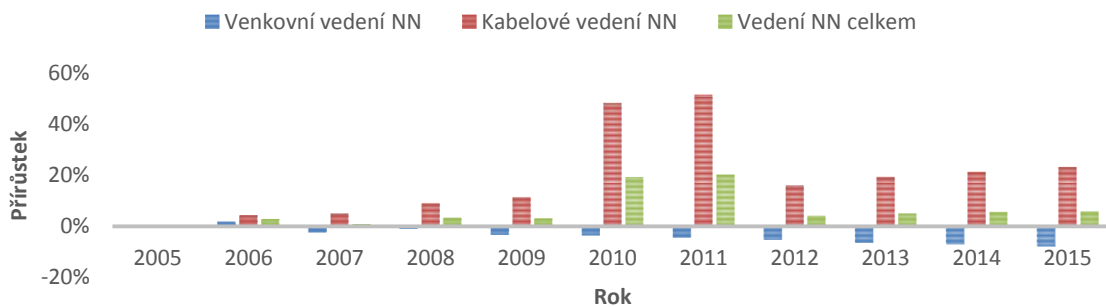
Příloha 16: Délky vedení a procentní přírůstky pro oblast N. Město na Moravě

Zařízení	rok	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem
		(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)	(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)
N. Město na Moravě	2005	1 435	152	1 588	0%	0%	0%	1 581	1 242	2 823	0%	0%	0%
	2006	1 437	154	1 591	0,15%	1,16%	0,19%	1 609	1 296	2 905	1,77%	4,40%	2,93%
	2007	1 436	155	1 592	0,08%	2,12%	0,21%	1 543	1 305	2 849	-2,37%	5,11%	0,92%
	2008	1 448	159	1 607	0,90%	4,11%	1,15%	1 565	1 355	2 920	-1,01%	9,09%	3,43%
	2009	1 443	162	1 606	0,57%	6,69%	1,09%	1 529	1 384	2 912	-3,31%	11,43%	3,18%
	2010	1 422	165	1 587	-0,89%	8,26%	-0,07%	1 524	1 842	3 366	-3,58%	48,29%	19,24%
	2011	1 421	168	1 590	-0,96%	10,59%	0,09%	1 512	1 882	3 395	-4,34%	51,58%	20,26%
	2012	1 421	168	1 589	-0,98%	10,46%	0,05%	1 500	1 441	2 941	-5,13%	16,07%	4,20%
	2013	1 420	173	1 594	-1,03%	13,81%	0,33%	1 482	1 482	2 964	-6,28%	19,33%	4,99%
	2014	1 418	192	1 610	-1,21%	26,28%	1,36%	1 474	1 507	2 981	-6,76%	21,31%	5,59%
	2015	1 415	197	1 612	-1,39%	29,05%	1,47%	1 459	1 530	2 990	-7,70%	23,24%	5,91%

PŘÍRŮSTKY DÉLEK VEDENÍ VN PRO OBLAST - NOVÉ MĚSTO NA MORAVĚ

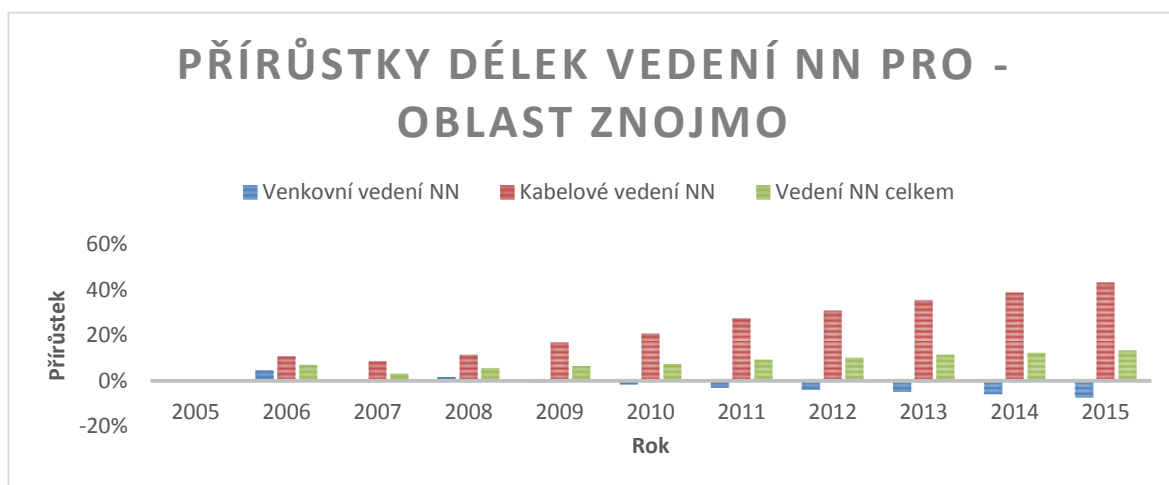
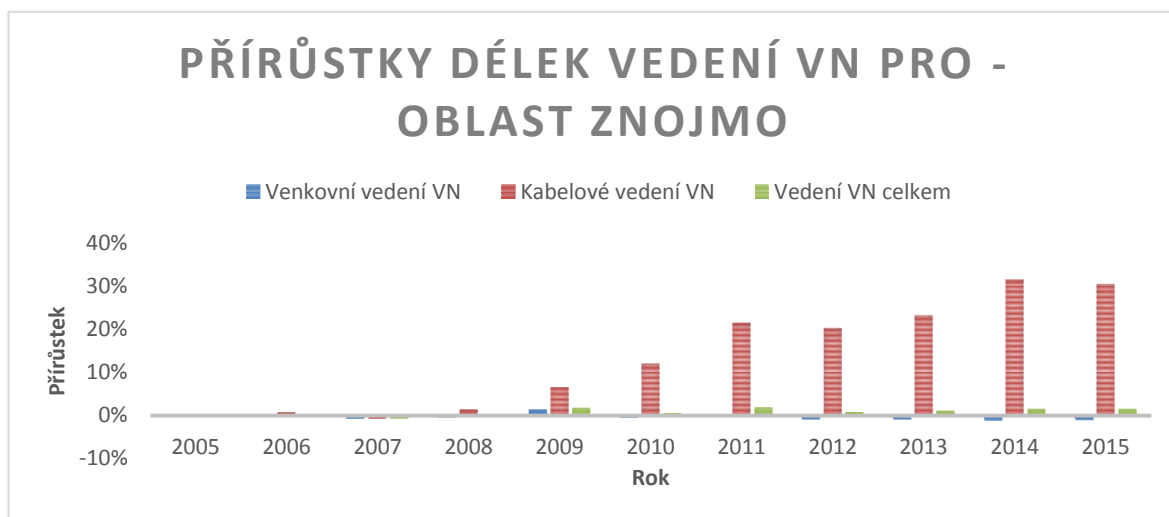


PŘÍRŮSTKY DÉLEK VEDENÍ NN PRO OBLAST - NOVÉ MĚSTO NA MORAVĚ



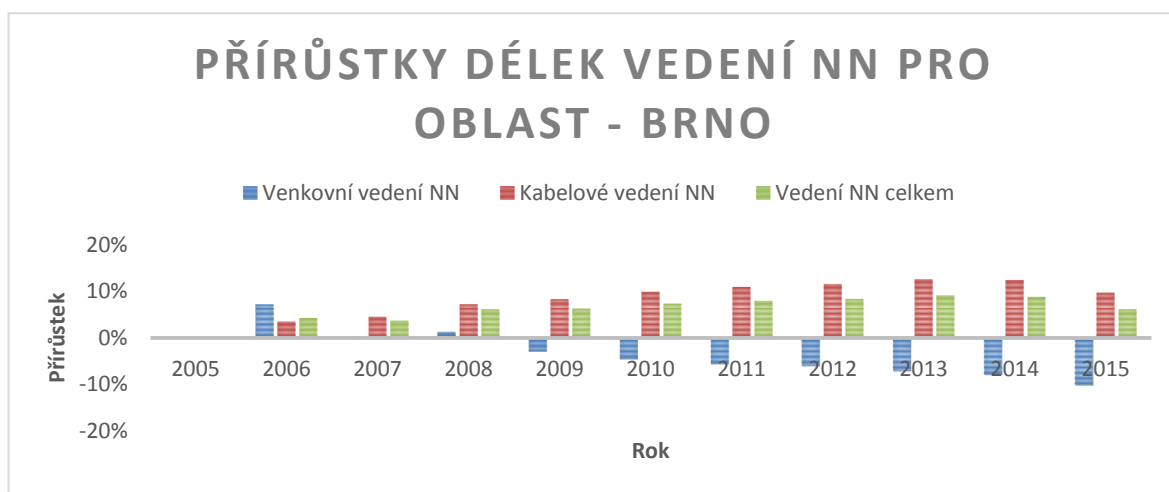
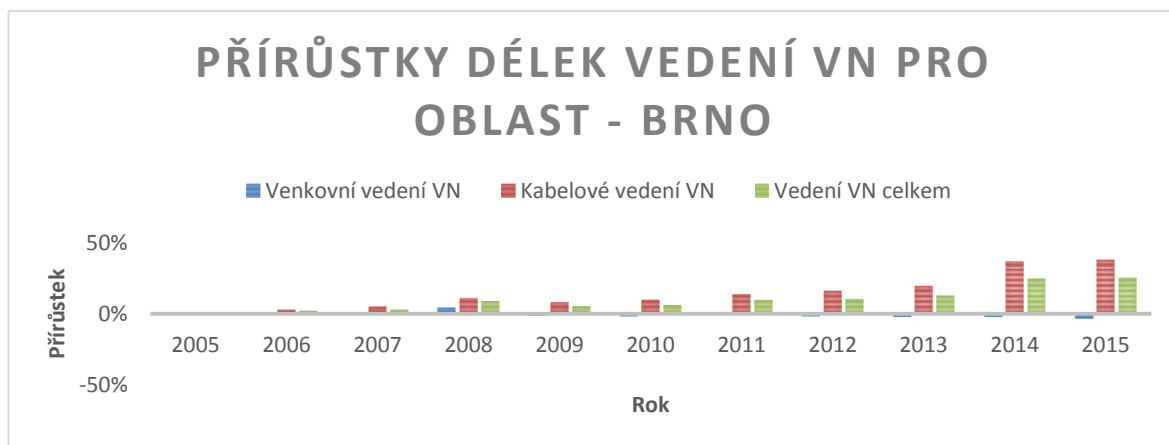
Příloha 17: Délky vedení a procentní přírůstky pro oblast Znojmo

Zařízení	rok	VN			NN		
		Venkovní vedení (km)	Kabelové vedení (km)	Vedení VN celkem (km)	Venkovní vedení (%)	Kabelové vedení (%)	Vedení NN celkem (%)
Znojmo	2005	1 311	110	1 421	0%	0%	0%
	2006	1 309	111	1 420	-0,13%	0,84%	-0,06%
	2007	1 304	109	1 413	-0,56%	-0,68%	-0,57%
	2008	1 307	111	1 418	-0,33%	1,39%	-0,20%
	2009	1 329	117	1 446	1,37%	6,65%	1,78%
	2010	1 306	123	1 429	-0,37%	12,08%	0,59%
	2011	1 314	133	1 448	0,22%	21,49%	1,86%
	2012	1 301	132	1 433	-0,77%	20,23%	0,85%
	2013	1 301	135	1 436	-0,78%	23,20%	1,08%
	2014	1 299	144	1 443	-0,94%	31,51%	1,56%
	2015	1 300	143	1 443	-0,87%	30,48%	1,56%



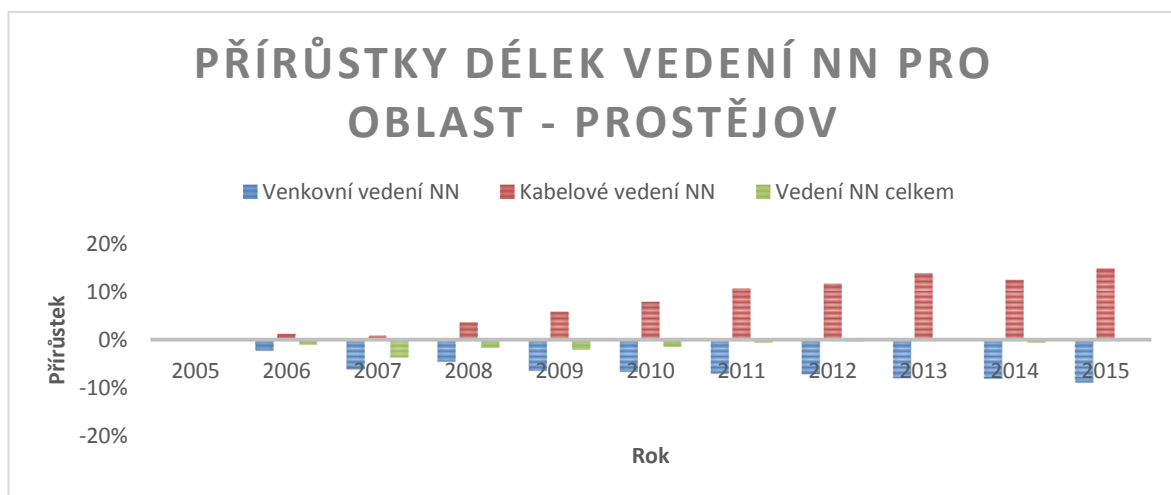
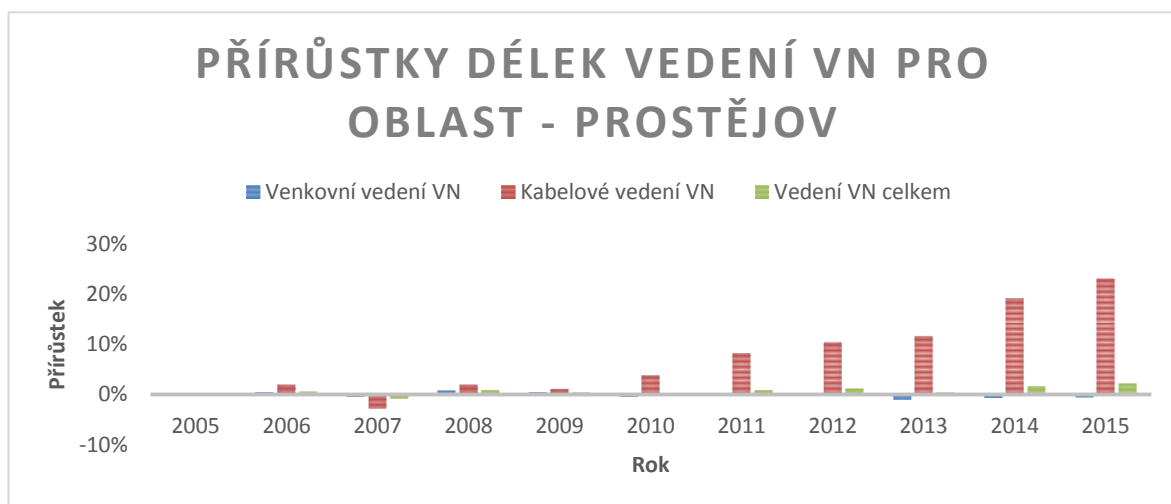
Příloha 18: Délky vedení a procentní přírůstky pro oblast Brno

Zařízení	rok	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem
		(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)	(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)
Brno	2005	380	829	1 209	0%	0%	0%	482	2 158	2 639	0%	0%	0%
	2006	381	858	1 239	0,30%	3,42%	2,44%	516	2 235	2 752	7,17%	3,61%	4,26%
	2007	377	873	1 250	-0,67%	5,25%	3,39%	481	2 257	2 738	-0,10%	4,59%	3,73%
	2008	396	923	1 319	4,27%	11,33%	9,11%	488	2 313	2 801	1,30%	7,20%	6,12%
	2009	376	899	1 275	-1,10%	8,37%	5,40%	468	2 337	2 804	-2,92%	8,30%	6,25%
	2010	374	914	1 289	-1,56%	10,26%	6,55%	460	2 372	2 831	-4,55%	9,92%	7,28%
	2011	382	946	1 328	0,60%	14,08%	9,85%	455	2 393	2 848	-5,59%	10,92%	7,91%
	2012	374	963	1 337	-1,54%	16,16%	10,60%	453	2 407	2 860	-6,00%	11,57%	8,36%
	2013	373	991	1 364	-1,87%	19,55%	12,82%	448	2 430	2 877	-7,07%	12,61%	9,01%
	2014	373	1 133	1 505	-1,96%	36,56%	24,46%	444	2 427	2 871	-7,88%	12,49%	8,77%
	2015	368	1 142	1 511	-3,05%	37,75%	24,93%	433	2 367	2 800	-10,03%	9,71%	6,10%



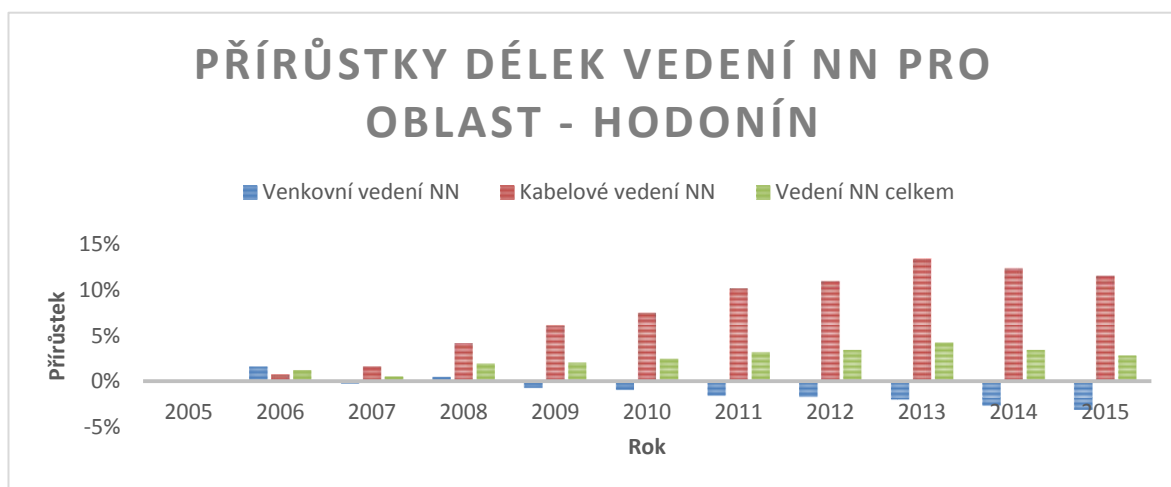
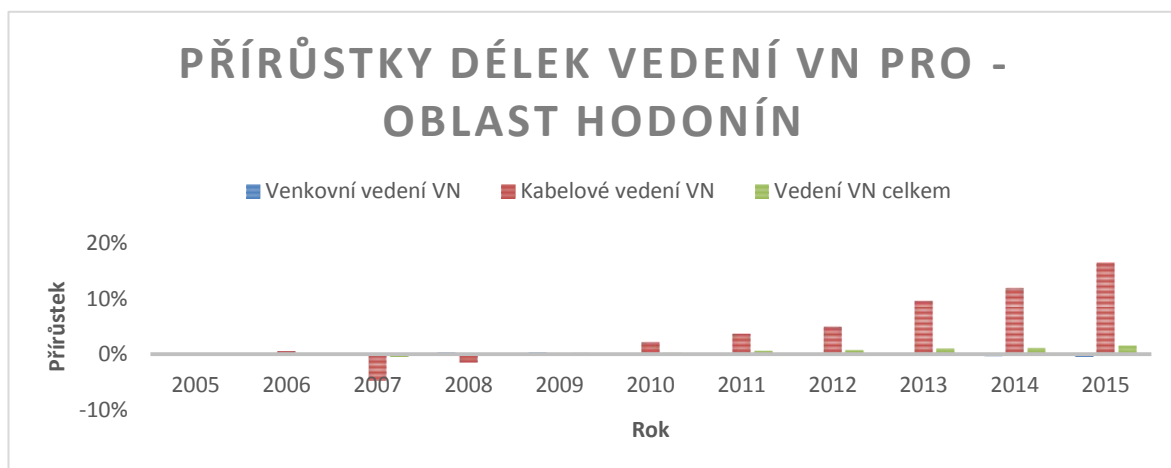
Příloha 19: Délky vedení a procentní přírůstky pro oblast Prostějov

Zařízení	rok	VN						NN					
		Venkovní vedení VN (km)	Kabelové vedení VN (km)	Vedení VN celkem (km)	Venkovní vedení VN (%)	Kabelové vedení VN (%)	Vedení VN celkem (%)	Venkovní vedení NN (km)	Kabelové vedení NN (km)	Vedení NN celkem (km)	Venkovní vedení NN (%)	Kabelové vedení NN (%)	Vedení NN celkem (%)
Prostějov	2005	1 894	245	2 139	0%	0%	0%	2 543	1 442	3 984	0%	0%	0%
	2006	1 902	250	2 152	0,43%	1,95%	0,61%	2 484	1 460	3 944	-2,30%	1,25%	-1,01%
	2007	1 886	238	2 125	-0,39%	-2,85%	-0,67%	2 386	1 454	3 840	-6,16%	0,86%	-3,62%
	2008	1 908	250	2 158	0,74%	1,98%	0,89%	2 427	1 495	3 921	-4,56%	3,67%	-1,58%
	2009	1 902	248	2 150	0,44%	1,06%	0,51%	2 378	1 526	3 903	-6,48%	5,82%	-2,03%
	2010	1 886	254	2 141	-0,39%	3,80%	0,09%	2 374	1 555	3 929	-6,65%	7,89%	-1,38%
	2011	1 892	265	2 158	-0,08%	8,22%	0,87%	2 365	1 595	3 960	-6,98%	10,63%	-0,61%
	2012	1 894	271	2 164	0,00%	10,37%	1,18%	2 361	1 610	3 971	-7,15%	11,66%	-0,34%
	2013	1 875	274	2 149	-0,98%	11,61%	0,47%	2 341	1 641	3 982	-7,92%	13,81%	-0,05%
	2014	1 881	292	2 173	-0,66%	19,13%	1,61%	2 337	1 621	3 959	-8,08%	12,47%	-0,64%
	2015	1 883	302	2 185	-0,55%	23,02%	2,15%	2 317	1 655	3 972	-8,86%	14,78%	-0,31%



Příloha 20: Délky vedení a procentní přírůstky pro oblast Hodonín

Zařízení	rok	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem
		(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)	(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)
Hodonín	2005	2 042	249	2 291	0%	0%	0%	2 323	1 579	3 902	0%	0%	0%
	2006	2 042	250	2 293	0,01%	0,55%	0,07%	2 359	1 590	3 949	1,56%	0,72%	1,22%
	2007	2 044	237	2 281	0,09%	-4,75%	-0,44%	2 317	1 605	3 922	-0,26%	1,64%	0,51%
	2008	2 046	245	2 291	0,19%	-1,48%	0,00%	2 332	1 645	3 977	0,40%	4,17%	1,93%
	2009	2 047	249	2 295	0,22%	-0,06%	0,19%	2 305	1 675	3 981	-0,74%	6,10%	2,02%
	2010	2 041	254	2 296	-0,03%	2,18%	0,20%	2 301	1 697	3 998	-0,93%	7,46%	2,46%
	2011	2 046	258	2 304	0,17%	3,69%	0,55%	2 286	1 739	4 025	-1,59%	10,15%	3,16%
	2012	2 045	261	2 306	0,13%	4,95%	0,65%	2 283	1 752	4 034	-1,72%	10,93%	3,40%
	2013	2 040	273	2 313	-0,10%	9,55%	0,95%	2 276	1 790	4 066	-2,00%	13,38%	4,22%
	2014	2 036	278	2 315	-0,28%	11,90%	1,04%	2 260	1 774	4 034	-2,68%	12,32%	3,39%
	2015	2 034	290	2 323	-0,42%	16,39%	1,40%	2 250	1 761	4 011	-3,13%	11,53%	2,80%



Příloha 21: Délky vedení a procentní přírůstky pro oblast Otrokovice

Zařízení	rok	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení VN	Kabelové vedení VN	Vedení VN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem	Venkovní vedení NN	Kabelové vedení NN	Vedení NN celkem
		(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)	(km)	(km)	(km)	(%)	(%)	(%)
Otrokovice	2005	2 194	302	2 496	0%	0%	0%	3 348	2 170	5 518	0%	0%	0%
	2006	2 200	303	2 503	0,28%	0,20%	0,27%	3 385	2 221	5 606	1,10%	2,34%	1,59%
	2007	2 188	306	2 494	-0,27%	1,36%	-0,07%	3 330	2 249	5 579	-0,53%	3,64%	1,11%
	2008	2 189	310	2 499	-0,21%	2,48%	0,11%	3 379	2 286	5 664	0,90%	5,33%	2,64%
	2009	2 192	311	2 503	-0,08%	2,97%	0,29%	3 316	2 292	5 609	-0,96%	5,64%	1,64%
	2010	2 184	324	2 507	-0,47%	7,13%	0,45%	3 305	2 295	5 601	-1,29%	5,78%	1,49%
	2011	2 184	334	2 518	-0,45%	10,69%	0,90%	3 290	2 311	5 601	-1,73%	6,49%	1,50%
	2012	2 187	338	2 525	-0,33%	11,88%	1,15%	3 283	2 292	5 575	-1,95%	5,62%	1,02%
	2013	2 186	350	2 536	-0,35%	15,95%	1,62%	3 265	2 325	5 590	-2,49%	7,14%	1,30%
	2014	2 184	363	2 547	-0,45%	20,12%	2,04%	3 253	2 299	5 553	-2,84%	5,97%	0,62%
	2015	2 182	369	2 551	-0,54%	22,28%	2,22%	3 229	2 208	5 437	-3,58%	1,77%	-1,47%

