

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA EKONOMIKY, MANAŽERSTVÍ A HUMANITNÍCH VĚD



Projektování elektrického vedení vysokého napětí

Designing high – voltage power lines

Bakalářská práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D.

Lukáš HEMPL

Praha 2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Hempl** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **507419**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Elektrotechnika a management**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Projektování elektrického vedení vysokého napětí

Název bakalářské práce anglicky:

Designing high - voltage power lines

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište principy elektrického vedení vysokého napětí a postup jeho návrhu v území.
- 2) Navrhněte elektrické vedení vysokého napětí ve zvoleném úseku ve variantách.
- 3) Navrhněte vhodné varianty elektrického vedení a popište jejich hlavní charakteristiky a údaje.
- 4) Sestavte rozpočty jednotlivých v práci řešených variant elektrického vedení a ekonomickou analýzu variant výstavby a provozu venkovních elektrických vedení a vyberte doporučenou variantu vedení.
- 5) Zpracujte hlavní části zjednodušené projektové dokumentace doporučené varianty elektrického vedení.

Seznam doporučené literatury:

- 1) PNE 33 0000-1 Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě.
- 2) PNE 33 0000-2 Stanovení základních charakteristik vnějších vlivů působících na rozvodná zařízení distribuční a přenosové soustavy.
- 3) TLUSTÝ, Josef. Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04939-6.
- 4) TOMAN, Petr. Provoz distribučních soustav. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- 5) Kislíngrová E. a kol., Manažerské finance, C. H. Beck, Praha, 2010

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D. katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **07.02.2024**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2024**

Platnost zadání bakalářské práce: **21.09.2025**

Ing. Mgr. Vít Klein, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 20. 5. 2024

Lukáš Hempl

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat Mgr. Ing. Vítu Kleinovi, Ph. D, jak za podporu v poskytování potřebných materiálů, tak podporu duševní během psaní bakalářské práce. Také děkuji své rodině a známým za podporu během celého studia a společností ČEZ Distribuce, a.s., a UnionGrid s.r.o. za poskytnutí materiálů a cenných rad.

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá návrhem elektrického vedení vysokého napětí v několika variantách a následným výběrem nejvhodnější varianty. Kromě technické stránky návrhu také řeší ekonomickými aspekty. Rozebírá problémy přenosu a distribuce elektrické energie v České republice, následně principy a faktory ovlivňující návrh elektrického vedení. Součástí práce je technické i ekonomické řešení návrhu distribučního vedení 22 kV a poskytuje doporučení pro výběr nejvhodnější varianty výstavby vedení.

Klíčová slova: ČVUT FEL, elektrické vedení, bakalářská práce

ABSTRACT

This thesis deals with the design of high-voltage power lines in several variants and the subsequent selection of the most suitable variant. In addition to the technical side of the proposal, it also deals with economic aspects. It analyzes the problems of transmission and distribution of electric power in the Czech Republic, followed by the principles and factors influencing the design of power lines. Part of the work is the technical and economic solution of the design of the 22 kV distribution line and provides recommendations for choosing the most suitable variant of line construction.

Keywords: CTU FEE, power lines, bachelor's thesis

OBSAH

1	PRINCIPY ELEKTRICKÉHO VEDENÍ VYSOKÉHO NAPĚTÍ.....	- 2 -
1.1	Přenos elektrické energie v České republice	- 2 -
1.1.1	Přenosová soustava	- 3 -
1.1.2	Distribuční soustava.....	- 4 -
1.2	Faktory ovlivňující návrh elektrického vedení vysokého napětí	- 6 -
1.2.1	Napěťová úroveň a přenosová kapacita	- 6 -
1.2.2	Uzemnění soustavy a ochrana před přepětím	- 7 -
1.2.3	Vodiče venkovních vedení.....	- 8 -
1.2.4	Stožáry	- 12 -
1.2.5	Kabelové vedení vysokého napětí	- 15 -
2	NÁVRH VEDENÍ	- 17 -
2.1	Venkovní vedení	- 17 -
2.1.1	Výkresy	- 17 -
2.1.2	Sloupy	- 17 -
2.1.3	Konzole	- 19 -
2.1.4	Izolátory	- 19 -
2.1.5	Vodiče	- 20 -
2.1.6	Práce.....	- 22 -
2.1.7	Celkový rozpočet	- 25 -
2.2	Kabelové vedení	- 26 -
2.2.1	Kabel	- 26 -
2.2.2	Práce.....	- 27 -
2.2.3	Celkový rozpočet	- 28 -
3	EKONOMICKÁ ČÁST	- 29 -
3.1	Výpočet diskontu	- 29 -
3.2	Hospodárný průřez vedení	- 31 -
3.2.1	Investiční náklady	- 32 -
3.2.2	Provozní náklady	- 33 -
3.2.3	Marginální náklady	- 34 -
3.2.4	Hospodárný průřez venkovního vedení	- 36 -
3.2.5	Hospodárný průřez kabelového vedení.....	- 39 -
3.2.6	Porovnání variant.....	- 40 -
4	ZÁVĚR	- 43 -
5	LITERATURA	- 45 -

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Struktura elektrizační soustavy [6]	- 2 -
Obr. 2 – Příklady rozvodů [1]	- 3 -
Obr. 3 – Přenosová soustava v ČR [7]	- 3 -
Obr. 4 – Rozdělení DS v ČR [1]	- 5 -
Obr. 5 – Různé kombinace poměrů duše a pláště AlFe vodičů [3]	- 10 -
Obr. 6 – Průřez segmentovaného vodiče a vodiče s dráty “Z” [3]	- 11 -
Obr. 7 – Druhy nejpoužívanějších konzol [4]	- 14 -
Obr. 8 – Průřez kabelového vodiče [8]	- 16 -
Obr. 9 – Použitá konzole [13]	- 19 -
Obr. 10 – Nákres použitých izolátorů [13]	- 20 -

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Přehled délek druhů vedení DS [1]	- 6 -
Tab. 2 – Přehled napěťových hladin v ČR [11]	- 7 -
Tab. 3 – Přehled vlastností materiálů vodičů [9], [10]	- 9 -
Tab. 4 - Seznam vyráběných betonových sloupů pro ČEZ Distribuce, a.s. [13]	- 18 -
Tab. 5 – Vlastnosti vodiče 42AL-1/7-ST1 [12]	- 21 -
Tab. 6 – Výpočet délky vodiče	- 22 -
Tab. 7 – Přehled demontážní práce	- 23 -
Tab. 8 – Objem výkopních prací	- 23 -
Tab. 9 – Ocenění výkopu základů sloupů	- 24 -
Tab. 10 – Objem betonování základů	- 24 -
Tab. 11 – Cena betonování základů	- 24 -
Tab. 12 – Výpis montážních prací venkovního vedení	- 25 -
Tab. 13 – Celkový rozpočet návrhu venkovního vedení	- 26 -
Tab. 14 – Objem výkopních prací kabelového vedení	- 27 -
Tab. 15 – Ocenění zemních prací kabelového vedení	- 28 -
Tab. 16 – Ocenění montážních prací kabelového vedení	- 28 -
Tab. 17 – Celkový rozpočet stavby kabelového vedení	- 28 -
Tab. 18 – Vlastní a cizí kapitál ČEZ Distribuce, a.s. [15]	- 30 -
Tab. 19 – Tabulka pro výpočet marginálních nákladů [22]	- 36 -
Tab. 20 – Náklady na nedodávku	- 37 -
Tab. 21 – Přehled veličin pro hospodárny průřez pro venkovní vedení	- 38 -
Tab. 22 – Náklady na nedodávku kabelového vedení	- 39 -
Tab. 23 – Přehled veličin pro hospodárny průřez kabelového vedení	- 40 -
Tab. 24 – Závěrečné porovnání jednotlivých variant	- 42 -

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 – Hospodárny průřez venkovního vedení	- 38 -
Graf 2 – Hospodárny průřez kabelového vedení	- 40 -

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Výpočetní tabulky

Příloha 2 – Situační výkres návrhu venkovního vedení

Příloha 3 – Podélný profil návrhu venkovního vedení

Příloha 4 – Katastrální výkres venkovního vedení

SEZNAM ZKRATEK

ČEPS	Česká energetická přenosová soustava
ČR	Česká republika
DS	Distribuční soustava
DŽ	Doba životnosti
EE	Elektrická energie
ES	Elektrizační soustava
JE	Jaderná elektrárna
KV	Kabelové vedení
KZL	Kombinované zemnicí lano
NN	Nízké napětí
PS	Přenosová soustava
PVE	Přečerpávací vodní elektrárna
VN	Vysoké napětí
VV	Venkovní vedení
VVN	Velmi vysoké napětí
ZL	Zemnicí lano
ZVN	Zvláště vysoké napětí

SEZNAM SYMBOLŮ

%		Procento
A		Ampér
a	(m)	Rozpětí dvou po sobě jdoucích stožárů
c	(-)	Parametr křivky
d	(mm)	Průměr vodiče
D	(Kč)	Hodnota cizího kapitálu
d_1	(mm)	Průměr vrcholu sloupu
d_2	(mm)	Průměr paty sloupu
E	(Kč)	Hodnota vlastního kapitálu
E_p	(MPa)	Modul pružnosti
ERP	(-)	Prémie za systémové tržní riziko
F_v	(N)	Vrcholová síla
g		Gram
h	(m)	Délka stožáru nad zemí
hod		Hodina
i_d	(%)	Náklady na cizí kapitál
i_e	(%)	Náklady na vlastní kapitál
i_f	(%)	Bezriziková výnosová míra
I_m	(A)	Maximální proud zatížení
I_n	(A)	Jmenovitý proud vedení
J		Joule
j	(-)	Napěťová hladina
K		Kelvin
Kč		Koruna česká
kg		Kilogram
km		Kilometr
k_m	(-)	Koeficient účasti maxima ztrát na maximum soustavy
kN		Kilonewton
kW		Kilowatt
l	(m)	Celková délka vodiče
l_i	(m)	Opravdová délka vodiče mezi dvěma stožáry
m		Metr
m	(kg)	Hmotnost

m^2		Metr čtverečný
m^3		Metr krychlový
mm		Milimetr
mm^2		Milimetr čtverečný
MPa		Megapascal
m_v	$(kg \cdot km^{-1})$	Hmotnost vodiče na jeden kilometr
N		Newton
n	$(Kč \cdot mm^2 \cdot m^{-1})$	Měrné náklady závislé na průřezu vodiče
NH		Normované hodiny
N_i	(Kč)	Investiční náklady
N_{ip}	(Kč)	Investiční porovnávací náklady
n_m	$(Kč \cdot kW^{-1})$	Marginální náklady
N_{ned}	(Kč)	Náklady na nedodávku
N_{nedr}	(Kč)	Průměrné roční náklady na nedodávku
N_p	(Kč)	Provozní náklady
N_{pr}	(Kč)	Průměrné roční provozní náklady
NPV	(Kč)	Čistá současná hodnota
$N_{úo}$	(Kč)	Náklady na údržbu a opravy
$N_{úor}$	(Kč)	Průměrné roční náklady na údržbu a opravy
$N_{vTž}$	(Kč)	Výrobní náklady
N_z	(Kč)	Náklady na ztráty
N_{za}	(Kč)	Investiční náklady na zaústění vodiče
N_{zr}	(Kč)	Průměrné roční náklady na ztráty
p_A	(-)	Podíl jaderné elektrárny
p_c	(N)	Tlak větru na stožár
P_n	(W)	Jmenovitý výkon přenášený vedením
p_v	(-)	Podíl přečerpávací vodní elektrárny
p_σ	(N)	Tlak větru na vodiče
Q	(J)	Joulovo teplo
q	$(Kč \cdot m)$	Měrné náklady nezávislé na průřezu vodiče
s		Sekunda
S		Siemens
S_{ek}	(mm^2)	Hospodárný průřez
S_k	(mm^2)	Průřez kabelu
S_{sl}	(m^2)	Plocha sloupu vystavená větru

S_v	(mm ²)	Průřez vodiče
t	(s), (hod), (rok)	Doba
T_m	(h/rok)	Doba využití maxima
t_r	(-)	Pořadové číslo roku výstavby
T_v	(rok)	Doba výstavby
T_z	(h/rok)	Doba plných ztrát
$T_{\dot{z}}$	(rok)	Doba životnosti
U_n	(V)	Jmenovité napětí vedení
V		Volt
W		Watt
WACC	(%)	Vážený průměr nákladů na kapitál
z	(m)	Hloubka založení sloupu do země
α	(1·K ⁻¹)	Součinitel dálkové roztažnosti
β	(-)	Koeficient míry tržního rizika
γ	(mS·m ⁻¹)	Elektrická vodivost
ΔP_r	(kW)	Roční průměrný ztrátový výkon vedení
ε	(%)	Sazba daně z příjmu
Λ	(Ω·km ⁻¹)	Jmenovitý elektrický odpor vodiče na jeden kilometr
μ	(kN)	Jmenovitá pevnost vodiče
ρ	(Ω·mm ² ·m ⁻¹)	Měrný elektrický odpor vodiče
σ	(N·m ⁻²)	Mechanická pevnost
σ_H	(MPa)	Vodorovné namáhání vodiče
τ	(-)	Přetížení vodiče námrazou
Ω		Ohm
δ	(N·mm ² ·m ⁻¹)	Měrná tíha vodiče

ÚVOD

Návrh a projektování elektrického vedení je klíčovou disciplínou v oblasti elektroenergetiky, která zahrnuje technické, ekonomické a environmentální aspekty. Elektrické vedení je zásadní pro přenos elektrické energie od výrobních zdrojů ke koncovým uživatelům, ať už se jedná o průmyslové podniky, komerční objekty nebo domácnosti. Spolehlivost, efektivita a udržitelnost přenosové soustavy jsou proto nezbytné pro zajištění stabilního a dostupného dodávání elektrické energie.

Jedním z hlavních úkolů při návrhu elektrických vedení je optimalizace přenosu elektrické energie, což zahrnuje nejen výběr vhodných materiálů a technologií, ale také zohlednění specifických podmínek trasy, jako jsou geografické a klimatické faktory. Materiály použité pro vedení musí splňovat požadavky na vodivost, pevnost a odolnost vůči povětrnostním vlivům. Z technologického hlediska je nezbytné zajistit minimální ztráty při přenosu energie, které mohou vzniknout kvůli odporu vedení, kapacitním a induktivním jevům.

Kromě technických aspektů je důležité také zvážit ekonomické faktory, které mají přímý vliv na projektování elektrických vedení. Investiční náklady na výstavbu nových vedení a modernizaci stávajících infrastruktur jsou značné a vyžadují pečlivé plánování a analýzy návratnosti investic. Ekonomické hodnocení musí zahrnovat nejen počáteční investice, ale také provozní náklady, náklady na údržbu a případné náklady spojené s výpadky nebo poruchami systému. Dále je nutné brát v úvahu cenu elektrické energie a její vliv na celkovou ekonomiku projektu. V poslední době se do popředí dostávají také ekologické aspekty projektování elektrických vedení. Zvyšující se důraz na udržitelný rozvoj a minimalizaci ekologické stopy vyžaduje implementaci řešení, která minimalizují dopady na životní prostředí. To zahrnuje jak výběr tras, které minimalizují zásahy do přírodních ekosystémů, tak i využití obnovitelných materiálů a technologií, které snižují emise skleníkových plynů.

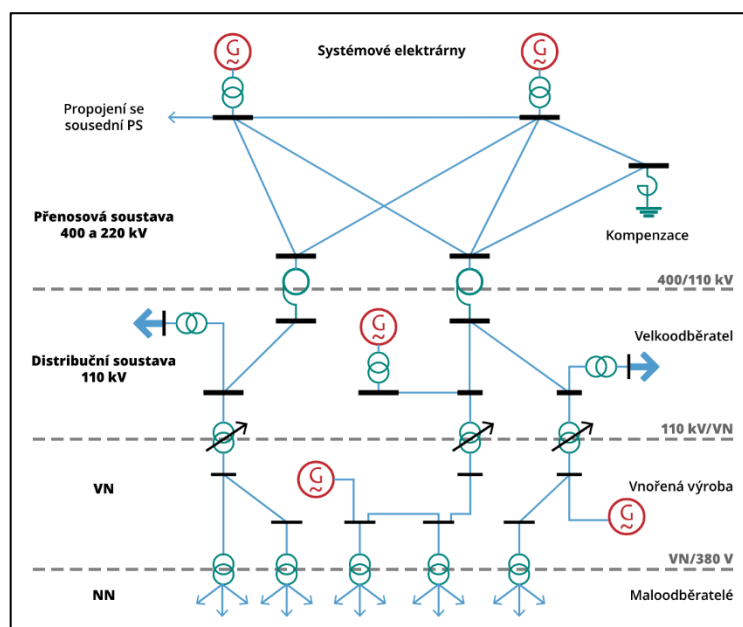
Projektování elektrického vedení je tedy komplexním procesem, který vyžaduje interdisciplinární přístup. Technické provedení musí být kombinováno s ekonomickou racionalitou a environmentální odpovědností.

1 PRINCIPY ELEKTRICKÉHO VEDENÍ

VYSOKÉHO NAPĚTÍ

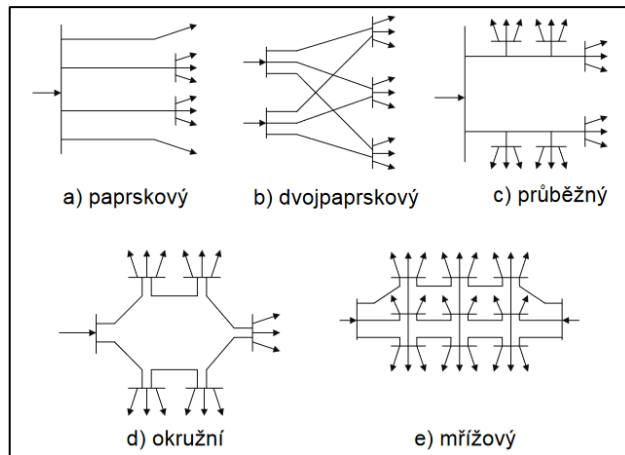
1.1 Přenos elektrické energie v České republice

Přenos elektrické energie (dále jen „EE“) v České republice (dále jen „ČR“) je uskutečněn pomocí dvou základních soustav – přenosové (dále jen „PS“) a distribučních (dále jen „DS“), které jsou součástí elektrizační soustavy (dále jen „ES“), kterou lze definovat jako soubor zařízení sloužící pro celý proces výroby, transformace a distribuce EE. Struktura ES je vyobrazena na následujícím schéma.



Obr. 1 – Struktura elektrizační soustavy [6]

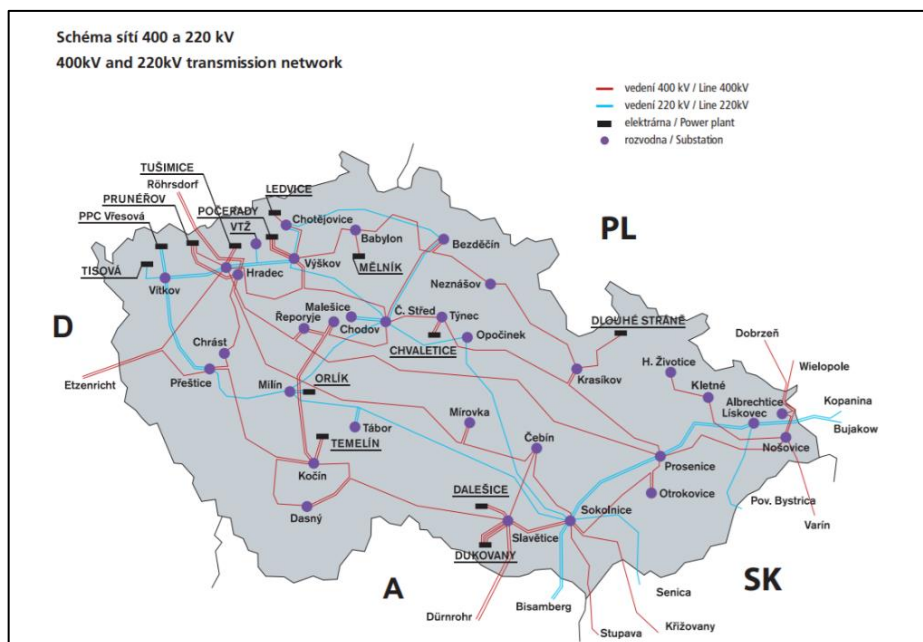
Z hlediska uspořádání lze elektrické sítě dělit na otevřené a uzavřené rozvody. U otevřených rozvodů je EE dodávána pouze jednou cestou, zatímco u uzavřených obvodů ji lze přivést z více stran. Mezi otevřené rozvody patří například paprskový, či průběžný rozvod a mezi uzavřené poté okružní rozvod, či mřížová síť. Samotné druhy rozvodů jsou vyobrazeny na následujícím obrázku. [1], [2], [6]



Obr. 2 – Příklady rozvodů [1]

1.1.1 Přenosová soustava

PS je okružní vedení a potřebné zařízení (transformátory, rozvodny a jiné) spravované společností ČEPS, a.s. (dále jen „ČEPS“), která je 100% vlastněna Ministerstvem průmyslu a obchodu. V této části ES se nachází elektrické vedení a zařízení se zvláště vysokým napětím (dále jen „ZVN“) 400 kV (3 700 km), velmi vysokým napětím (dále jen „VVN“) 220 kV (1 900 km) a také vybrané vedení a zařízení s hodnotami 110 kV (přibližně 85 km vedení), které tvoří základní kámen ES. Mezi její hlavní funkce kromě přenosu EE patří vyvedení výkonu systémových elektráren, propojení se soustavami přilehlých států a dodávání EE do DS. Na následujícím obrázku je vykreslena PS na území ČR.



Obr. 3 – Přenosová soustava v ČR [7]

Společně s těmito funkcemi také samotný ČEPS, a.s., poskytuje tzv. systémové a podpůrné služby. Systémovými a podpůrnými službami provozovatel PS, ČEPS, zajišťuje stabilitu, spolehlivost a efektivitu dodávek EE a její kvalitu. Kvalitou EE se rozumí především hodnota napětí a frekvence, které jsou dané normou ČSN EN 50160 ED.3 – *Charakteristiky napětí elektrické energie dodávané z veřejných distribučních sítí*. Dodržování této kvality se dosahuje používáním technicko – organizačních prostředků jako například udržování souhrnné výkonové zálohy pro primární regulaci frekvence, sekundární regulace frekvence, činného výkonu a frekvence a jiné. Pomocí zmíněné sekundární regulace frekvence a činného výkonu, či terciární regulace výkonu také provozovatel PS udržuje výkonovou rovnováhu. Výkonová rovnováha musí být dodržena v každém momentu, aby byla veškerá vyrobená EE zároveň spotřebováána. Mezi další systémové služby patří obnovení provozu (obsahuje plány pro start ze tmy a plán obnovy) a dispečerské řízení (zahrnuje zajištění bezpečnosti provozu a řízení toků činných výkonů).

Podpůrné služby se používají k zajištění výše zmíněných systémových služeb, resp. udržení výkonové bilance. Tyto služby jsou vzhledem k faktu, že společnost ČEPS nemůže jako provozovatel PS vlastnit elektrárny, poskytovány samotnými výrobci EE, kteří se k nim zavazují skrze smlouvy. V ČR se jedná o 20 takovýchto poskytovatelů. Mezi samotné podpůrné služby patří např. primární regulace frekvence, sekundární regulace výkonu, minutová záloha, či sekundární regulace napětí a jalových výkonů. Nelze opomenout také nouzová opatření, která poskytují opatření pro případ krizových situací. [1], [2], [6], [7]

1.1.2 Distribuční soustava

DS slouží k přenosu EE z PS k samotným odběratelům s možností přímé výroby menších zdrojů do DS, tedy řádově o výkonech do desítek megawattů (znázorněno na Obr. 1). Na rozdíl od přenosové soustavy se nejedná o čistě okružní vedení, nýbrž o převážně kombinaci okružního (popřípadě mřížového) a paprskového, či průběžného vedení. V ČR jsou celkem tři provozovatelé DS – PREdistribuce, a.s., (pokrývající oblast Prahy a Rožtok U Prahy), EG. – D, a.s., Distribuce, a.s. (jih Čech a Moravy, na obrázku pod starým názvem E.ON Distribuce, a.s.) a ČEZ Distribuce, a.s., (zbytek ČR). Graficky je toto rozdělení znázorněno na následujícím obrázku.



Obr. 4 – Rozdělení DS v ČR [1]

Samotnou DS je možné rozdělit dle hodnoty napětí na 3 úrovně – DS 110 kV, DS vysokého napětí (dále jen „VN“) (3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV a 35 kV) a DS nízkého napětí (dále jen „NN“) (400/230 V). Důvodem tohoto rozdělení je především minimalizace ztrát a dodávka EE v požadovaném množství a kvalitě (kterou stále zajišťují systémové a podpůrné služby).

DS o hodnotě napětí 110 kV je navržena okružním rozvodem podobně jako PS, tudíž je zajištěna nízká poruchovost a nízká pravděpodobnost přerušení přenosu EE. Na území ČR tvoří tuto část DS 12 245 km venkovního (dále jen „VV“) a 13 km kabelového vedení (dále jen „KV“) (především na území Prahy a Brna). Do této části DS jsou přiváděny také zdroje EE, jakými jsou např. vodní elektrárna Slapy s instalovaným výkonem 144 MW, historické tepelné elektrárny, či větší teplárny. Také mohou přímo z této napěťové hladiny odebírat EE velkoodběratelé, kýmž mohou být např. větší průmysly, města, či samotné elektrárny.

Na úrovni VN je napětí 110 kV transformováno převážně na hladinu 22 kV a 35 kV, či v určitých případech 10 kV, 6 kV, či 3 kV. Poslední tři zmíněné napěťové hladiny jsou však nahrazovány vedením 22 kV. V této oblasti silně převládají paprskové, či průběžné rozvody s výjimkou městských oblastí, kde se vyskytují také rozvody dvojpaprskové a okružní. V ČR je tato úroveň DS reprezentována necelými 60 000 km venkovního a 20 000 KV, ze kterého odebírají převážně obchodní centra, nemocnice, veřejné instituce, či energetická zařízení.

V oblasti DS s úrovní NN je dále napětí transformováno na hladinu 3 x 230/400V, 50 Hz a je v silné většině případů realizována paprskovými a průběžnými rozvody. V hustých městských oblastech poté může být také realizována mřížovým rozvodem. Zde se jedná o přibližně 66 500 km venkovního a 94 800 km KV, které převládá vzhledem k využití NN především u jednotlivých domácností, či menších obchodů a průmyslů, kde se z estetických a praktických důvodů využívá právě KV.

V následující tabulce se nachází přehled přesných délek jednotlivých druhů vedení provozovatelů distribuční sítě. [1], [2], [6], [7]

Napěťová hladina	Venkovní vedení (km)	Kabelové vedení (km)	Celkem (km)
110 kV	12 245	13	12 258
VN	58 734	19 515	78 249
NN	65 764	71 706	137 470
Celkem (km)	136 743	91 234	227 977

Tab. 1 – Přehled délek druhů vedení DS [1]

1.2 Faktory ovlivňující návrh elektrického vedení vysokého napětí

Obdobně jako v předchozí kapitole se bude tato kapitola zabývat vedením VN zejména na území ČR, tudíž se bude řídit lokálními normami a informacemi. Řeč tedy bude o vedení, jehož napětí se pohybuje v rozmezí 1000 V až 52 kV. Tomuto vymezení odpovídají vedení uvedené v předchozí kapitole – 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV a 35 kV, ovšem jak již bylo řečeno, první tři hodnoty jsou spíše pozůstatkem minulosti a jsou v dnešní době nahrazovány zbylými dvěma napěťovými hladinami. Faktorů ovlivňující návrh elektrického vedení VN je široké spektrum a vzhledem k rozsahu této práce budou probrány relativně povrchově pouze ty nejpodstatnější. Tyto principy musejí zvažovat několik proměnných, které jsou většinou specifické pro daný úsek vedení. Kromě samozřejmých technických parametrů, které uvedeme níže, se totiž musí hledět také na klimatické, logistické, či topografické.

1.2.1 Napěťová úroveň a přenosová kapacita

Přednostní záležitost je stanovení napěťové hladiny navrhovaného vedení, což úzce souvisí s jeho plánovanou přenosovou kapacitou neboli schopností přenášet dostatečné množství elektrické energie v souladu s lokální poptávkou. Ve většině případů zde ovšem dochází k jistému omezení výběru vzhledem k napěťové úrovni již existující okolní sítě,

poloze rozvoden a transformačních stanic a jiných potřebných objektů. V ČR jsou stanoveny napěťové hladiny dle následující tabulky. [6]

Název	Napětí
Malé napětí	do 50 V
Nízké napětí	50–1000 V
Vysoké napětí	1–52 kV
Velmi vysoké napětí	52–300 kV
Zvláště vysoké napětí	300–800 kV

Tab. 2 – Přehled napěťových hladin v ČR [11]

1.2.2 Uzemnění soustavy a ochrana před přepětím

Jedním z hlavních faktorů, který je třeba zohlednit při návrhu je druh uzemnění transformátorů VVN/VN a celého zbytku soustavy neboli způsob propojení nulového bodu VN vinutí napájecího transformátoru a samotného vedení se zemnicí soustavou. Tento faktor následně definuje možnosti provozu soustavy z hledisek bezpečnostních, ochranných, dimenzování a mnoha dalších. Samozřejmě i výběr druhu uzemnění soustavy je ovlivněn několika faktory, kterými mohou být např. celkový kapacitní proud soustavy, úroveň poruchového proudu, ustálená poruchová napětí, ale také ekonomické, či bezpečnostní faktory. V současné době se využívají tři základní druhy uzemnění soustavy:

- Izolované soustavy
- Nepřímo uzemněné soustavy přes uzlový odporník
- Nepřímo uzemněné soustavy přes zhašecí tlumivku.

Poslední z uvedených druhů uzemnění se v ČR tradičně využívá v několika dalších způsobech:

- Tzv. „maďarský odporník“ – laděná zhašecí tlumivka s připínáním pomocného odporníku pro navýšení činné složky poruchového proudu na sekundární straně, popř. primární
- Zhašecí tlumivka s automatikou pro přizemnění postižené fáze v napájecí rozvodně
- Systém Swedish Neutral

Mimo jiné je také potřeba zohlednit druh sítě z hlediska charakteru sítě a způsobu použité ochrany, kvůli čemuž bylo zavedeno mezinárodní značení. První písmeno zde

označuje zapojení uzlu soustavy (T – uzel sítě je přímo uzemněný, I – uzel sítě je izolovaný, nebo uzemněný přes velkou impedanci). Druhé písmeno značí druh ochrany neživých částí (T – neživé části spotřebičů jsou přímo uzemněné, N – neživé části spotřebičů jsou spojené s ochranným vodičem). Zbylá písmena udávají provedení ochranného vodiče (C – spojení ochranného vodiče s nulovým, S – oddělení nulového vodiče od nulového, C-S – ochranný a nulový vodič jsou nejprve spojené a následně rozdělené v určitém místě). Na základě tohoto značení můžeme tedy rozlišovat 5 druhů sítí – TN-S, TN-C, TN-C-S, TT a IT. Každý z těchto druhů má specifické vlastnosti, které lze pomocí výše uvedeného vysvětlení značení odvodit. [1], [2]

1.2.3 Vodiče venkovních vedení

1.2.3.1 Umístění

Rozhodování mezi VV a KV je většinou závislé na více faktorech, ovšem mezi ty hlavní patří lokalita vedení, ochrana životního prostředí a náklady výstavby. V případě hustých městských oblastí je preferována volba KV vzhledem k nenarušení estetiky města a jeho celkové větší praktičnosti pro tyto oblasti. Ovšem je nutné si také uvědomit, že jakékoliv opravy a celková instalace KV, které jsou znatelně vyšší oproti VV. Právě i z tohoto důvodu se na přenos EE na delší vzdálenosti využívají přednostně VV. Ovšem i u VV lze najít několik problémů, jako např. riziko narušení přírody (estetické i praktické), nebo vysoká úroveň namáhání vodičů.

Právě namáhání je jedním z velkých faktorů, které je potřeba při návrhu zvážit. Vedení musí odolat nejen vlastní tíhové síle vodičů, ale také klimatickým podmínkám daného regionu, obzvláště poté extrémnímu počasí. Může se jednat o velmi nízké teploty, při kterých může vznikat námraza, která může společně se sněhem přesahovat hmotnost několika kilogramů na metr čtverečný. Ovšem se také může jednat o pravý opak a vedení bude vystavováno vysokým teplotám, při kterých hrozí zvýšení průhybu vedení a celkové urychlení stárnutí izolace. Při rychlých změnách teplot je také nutné počítat s mechanickým namáháním způsobeným právě prodlužováním a zkracováním vodičů. Nelze také opomenout povětrnostní podmínky, které mohou vodiče rozkmitat, což vede ke snížení pevnosti a možnosti lomu materiálu. Pro tyto případy jsou VV vybavena mechanickými tlumiči kmitů, či různými druhy výkyvných svorek. [3]

1.2.3.2 Materiál

Nejpoužívanějšími materiály pro výroby vodičů jsou měď, hliník a železo (resp. ocel), které mají každé trochu jiné vlastnosti. Při porovnání jednotlivých materiálů lze zjistit, že výběr závisí na třech parametrech – cena, elektrická vodivost (γ) a mechanická pevnost (σ). Zatímco měď se vyznačuje vysokou elektrickou vodivostí, je drahá a její mechanická pevnost není příliš vysoká. Hliník naráží na podobný problém jako měď, kdy se jedná sice o levnější materiál, ale z hlediska pevnosti velmi slabý, a navíc má horší vodivost. Železo má sice vysokou mechanickou pevnost a oproti mědi a hliníku se jeví levné, ovšem nedisponuje vysokou elektrickou vodivostí. Tabulkové hodnoty těchto veličin jsou uvedeny v tabulce níže.

Materiál	<i>Elektrická vodivost</i> γ ($\text{MS}\cdot\text{m}^{-1}$)	<i>Mechanická pevnost</i> σ ($\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$)	Cena kilogramu ($\text{Kč}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Měď	56	200	41
Hliník	37,7	45	160
Železo	9,9	520	4,2

Tab. 3 – Přehled vlastností materiálů vodičů [9], [10]

Z ekonomických a praktických důvodů se v dnešní době využívá převážně kombinace hliníku a oceli, která zajišťuje vysokou pevnost a zároveň kvalitní přenos EE. [3], [9], [10]

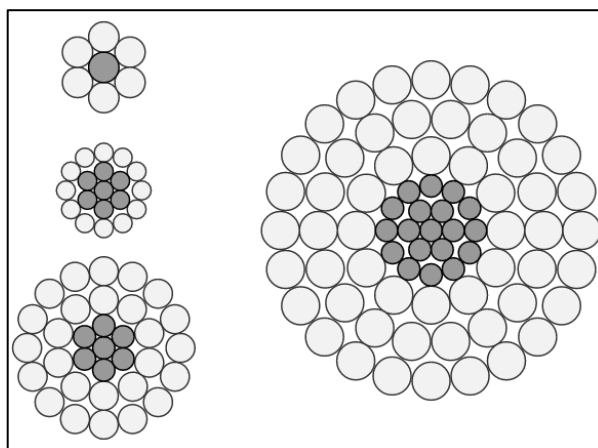
1.2.3.3 Vlastnosti

Jak již bylo v předchozí kapitole zmíněno, moderním trendem je používání kombinace hliníku a oceli z důvodu nejlepší optimalizace. Při používání těchto materiálů se vytvoří centrální ocelová nosná část, která je následně “obalena“ hliníkovým pláštěm o několika vrstvách, který se skládá z individuálních hliníkových vodičů. Při pohledu do Tab. 2 je nám potom jasné, že proud protéká hliníkovou částí vzhledem k zřetelně vyšší elektrické vodivosti. Ocelová nosná “duše“ má za úkol především zvýšit odolnost vedení vůči mechanickým a klimatickým vlivům. Těmto druhům vodičů se říká AlFe lana.

Kombinací těchto dvou materiálů je ovšem možné získat několik druhů vodičů, které jsou následně použitelné pro různé podmínky a potřeby. Pokud je například za potřebí vodiče s vyšší elektrickou vodivostí, lze navýšit poměr průřezu hliníkového pláště oproti průřezu ocelové duše. Při stavu, kdy bude naopak potřeba lana silnějšího a

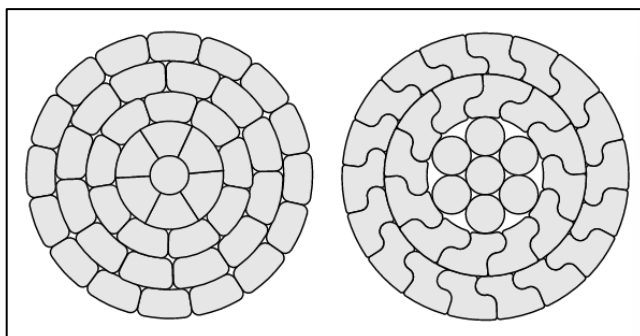
odolnějšího tento poměr lze snížit. Z tohoto důvodu se poměr plochy průřezu hliníkové části vůči ocelové udává v názvu vodiče. Např. lano AlFe6 značí poměr těchto ploch 6:1.

Samotná ocelová duše může být provedena především dvěma způsoby – plná, či složená. V dnešní době se pro přenos EE na úrovních NN a vyšších ovšem využívá v silné většině případů složená verze z důvodu minimalizace tzv. skin efektu. Tento jev je způsoben průchodem střídavého proudu vodičem, čímž se vytvoří magnetické pole, které indukují vířivé proudy. Tyto vířivé proudy následně vytvoří vlastní magnetické pole, které působí proti původnímu procházejícímu proudu a vytlačují jej k povrchu vodiče. Tím se zvyšuje odpor vodiče a dochází k zahřívání izolace, což vede ke zrychlení jejího opotřebení a riziku průrazu. Pro lepší představivost je na následujícím obrázku uvedeno, jak složený vodič vypadá v různých kombinacích poměrů průřezů.



Obr. 5 – Různé kombinace poměrů duše a pláště AlFe vodičů [3]

Ovšem jak je z Obr. 5 patrné, při tomto použití by se ve vodiči nacházelo velké množství vzduchových mezer a jeho povrch by byl nerovný, což by vedlo k značnému zhoršení jeho přenosových vlastností. Z tohoto důvodu se používají tzv. segmentovaná lana, kde každý drát má lichoběžníkový průřez, čímž se značně sníží velikost vzduchových mezer a vyhladí povrch vodiče. To vede ke zvýšení odolnosti vůči korozivním vlivům a zlepšení elektrických vlastností. Pro ještě lepší vlastnosti se poté může využít drátů s průřezem tvaru písmene “Z“, které do sebe lépe zapadají. Tento druh lan má kromě lepších vlastností také znatelně vyšší životnost. Oba druhy lan jsou uvedeny na následujícím obrázku.



Obr. 6 – Průřez segmentovaného vodiče a vodiče s dráty “Z“ [3]

Kromě výše uvedených vodičů s kruhovým průřezem je ovšem možné se také setkat s vodiči jiných tvarů, jako např. trubkové, obdélníkové či trolejové. Každý z těchto druhů má svůj druh využití v jiných vysokonapěťových odvětvích. [3], [12], [13]

1.2.3.4 Izolace

Na izolaci vodičů VV VN se lze podívat z dvou úhlů. Prvním je izolace samotných lan po celé jejich délce, zatímco druhým je použití izolátorů, které zamezují vodivému spojení vodičů s konstrukcí stožáru.

Z hlediska izolace samotných lan se vodiče základně dělí na izolované a holé (neizolované). Použití těchto variant záleží převážně na lokalitě vedení, kdy izolované vodiče budou používány v městských a obytných oblastech, kde je nutné minimalizovat riziko poruch a zranění a zajistit bezpečný provoz. Holé vodiče se naopak využívají ve venkovských a odlehlých oblastech, kde nehrozí riziko kontaktu. Velkou výhodou holých vodičů je snadnější a levnější instalace a možnost přenosu velkých výkonů EE, zatímco izolované vodiče mají výhody ve formě lepší ochrany proti dotyku, minimalizace rizika zkratu a lepší kontroly elektrických parametrů vedení. V případě VV jsou ovšem používány především vodiče holé. Materiály používané k izolaci vodičů vedení VN jsou především polyetylen (buď zesíťovaný, nebo polyetylen HDPE využívaný pro vnější vrstvu izolace), PVC, polymery, či epoxidová pryskyřice.

Popis a druhy izolátorů budou rozebrány v kapitole 3. 1. 4., poněvadž blíže souvisí s konstrukcí stožárů nežli samotnými vodiči. [3], [13]

1.2.3.5 Zemnicí lano

Kromě samotných fázových vodičů se na VV nejen vysokého napětí nachází také tzv. zemnicí lano (dále jen “ZL“). Toto lano je obvykle uchyceno na nejvyšším bodě

stožáru a je znatelně tenčí než fázové vodiče. Jeho primární funkcí je ochrana vedení před úderem blesku, který je vzhledem k vodivému spojení ZL se stožáry sveden bezpečně do země. V dnešní době se však využívá také kombinovaného zemního lana (dále jen “KZL“), které kromě ochranné a bezpečnostní funkce plní také funkci přenosu řídicích povelů a stavových informací mezi rozvodnami a dispečinkem. Funkci přenosu informací plní desítky optických vláken o průměru řádově jednotek milimetrů nacházejících se ve středu ZL v nerezové trubici.

Obdobně jako samotné fázové vodiče má ZL několik parametrů, které jsou závislé na faktorech daného vedení. Mezi tyto parametry patří např. materiál, konstrukce, připojení k zemi, ochrana proti korozi, zemnicí odpory, průřez a délka a jiné. Z bezpečnostních důvodů jsou zejména v okolí letišť také na ZL/KZL umístěny výstražné koule z důvodu optického zvýraznění pro piloty nízkoletících letadel, či vrtulníků. [3], [13]

1.2.4 Stožáry

Tato kapitola se bude zabývat funkcí a různými druhy podpěrných bodů VV VN, konzol a také izolátorů.

1.2.4.1 Podpěrné body

V případě vedení VN se jedná o 4 druhy podpěrných bodů – betonové sloupy, příhradové stožáry, dřevěné sloupy a ocelové plechové sloupy. Výběr z těchto variant je opět záležitostí několika proměnných ovšem převážně zde záleží na rozpočtu a lokalitě daného projektu.

Nejčastěji používanou variantou jsou v případě vedení VN betonové sloupy, které lze postavit v jednoduchém (jeden betonový sloup), či zdvojeném (dva betonové sloupy – dvojnásobné dovolené vrcholové namáhání) provedení, díky čemuž je lze využívat pro vedení jednoduchá i dvojité. Dle potřebné funkce se dimenzují 4 varianty betonových sloupů – nosné, rohové, odbočné a koncové. Dle daného typu a únosnosti základové zeminy jsou poté navrženy také základy jednotlivých sloupů, které jsou také vytvořeny z betonu. Nezbytnou součástí jsou také plastové čepičky umístěné na vrcholcích těchto sloupů pro zamezení zatékání vody.

Příhradové stožáry bývají častěji využívány pro dvojnásobná, či vícenásobná vedení holých vodičů, nebo izolovaných vodičů. Případy použití příhradových stožárů

pro jednoduchá vedení jsou výjimečné a dochází k nim zejména při potřebě vyššího podpěrného bodu. Tento druh stožáru je vyráběn dle zadaných specifikací a jeho základy jsou obdobně jako u betonových sloupů dané pevností základové zeminy a druhu příhradového sloupu, kterých je celkem 5 – rohový, odbočný, křížovatkový, výztužný a koncový.

Dřevěné sloupy se v dnešní době využívají jen ve specifických případech, kdy je jejich volba nutná buď z logistického hlediska, nebo pokud se vedení nachází v oblastech, kde územní orgány vyžadují dodržování rázu krajiny (národní parky, chráněné krajinné oblasti, obce a jiné). V silné většině případů se využívají jako součásti jednoduchých vedení, kdy jsou jednoduše vetknuty do země. Objevujícím problémem je poté trouchnivění podzemní části sloupu, kvůli čemuž je nutná hloubková impregnace, která ovšem nemůže trouchnivění zcela zabránit. Základy jsou v tomto případě tvořené kamenivem a obdobně jako u betonových sloupů jsou dřevěné sloupy opatřeny stříškami proti zatékání vody.

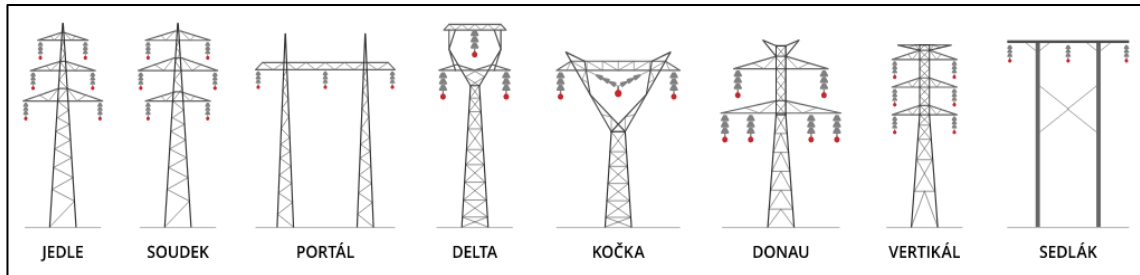
Ocelové plechové sloupy nacházejí uplatnění v oblastech, kde není přístup pro realizaci betonových, či dřevěných sloupů, popřípadě vzhledem k jejich malým rozměrům v příměstských oblastech. Jsou svařovány z ocelových plechů do konického tvaru a jsou zajištěny ochranou proti korozi pomocí žárového pozinkování. Mezi výhody těchto sloupů patří nízká váha a delší životnost než v případě betonových, či dřevěných sloupů. [1], [4], [13]

1.2.4.2 Konzoly

Na vrcholu každého podpěrného bodu uvedeného v předchozí kapitole se nachází takzvaná konzola, která slouží k uchycení samotných vodičů. Tyto konzole může dělit dle typu použitého vodiče na konzole pro holé vodiče, jednoduché izolované vodiče a slané závěsné kabely.

Konzoly pro holé vodiče lze dále rozdělit na konzoly pro jednoduché, dvojité a vícenásobné vedení. V případě jednoduchého vedení se používá buď rovinné uspořádání, kdy jsou vodiče v jedné rovině se vzdáleností krajních vodičů od osy vedení přibližně 1,5 m (např. typ Sedlák), nebo trojúhelníkové uspořádání, kdy je střední vodič vyvýšen (např. typ Delta, nebo Pařát) a krajní vodiče jsou ve vzdálenosti pouze 0,8 až 1 m od osy vedení. Dvojitá vedení jsou realizována především pomocí příhradových stožárech typu Soudek,

či v případě atypických konzol systémem dvou trojúhelníků, popřípadě jsou všechny vodiče v rovině. V případě betonových sloupů je v silné většině dvojitého vedení využívaný typ konzole Soudek. V případě vícenásobných vedení se poté využívá pouze příhradových stožárů s konzoly typu Dvojitý soudek, nebo v uspořádání 2x6 vodičů pod



sebou. Nejpoužívanější druhy konzol jsou uvedeny na následujícím obrázku.

Obr. 7 – Druhy nejpoužívanějších konzol [4]

U konzol pro jednoduché izolované vodiče je nutné dodržení minimální vzdálenosti mezi jednotlivými vodiči 30 cm u napětí 22 kV a 40 cm při napětí 35 kV. Ovšem v silné většině případů se pro obě napěťové hladiny využívají konzoly s mezifázovou vzdáleností 50 cm. Možnosti vedení u konzol izolovaných vodičů jsou pouze jednoduché, či dvojité. V případě jednoduchého vedení se využívá převážně rovinný systém, či případně konfigurace vodičů pod sebou. U dvojitého vedení jsou fázové vodiče vždy pod sebou a je nutné dodržet předpoklad, že vzdálenost vodičů různých vedení bude větší než vzdálenost vodičů stejného vedení. Také je potřeba dodržet stejnou konfiguraci pro celou délku vedení.

U konzol pro slané závěsné kabely se vodiče uchycují pomocí nosných a kotevních svore, které jsou na stožáry připevněny kotevními objímkami, konzoly, či nástavci na betonové sloupy. [1], [4], [13]

1.2.4.3 Izolátory

Funkce izolátorů byla již zmíněna v kapitole 3. 1. 3. 4., ovšem pro přehlednost zde bude připomenuta. Jedná se o součástku spojující konstrukci stožáru s jednotlivými vodiči s účelem zamezení vodivého propojení těchto dvou částí vedení. Přednostní požadavek na tyto součástky je neprůraznost. Izolátory lze podle upevnění vodičů rozdělit do tří skupin – podpěrné, závěsné a kotevní.

Podpěrné izolátory lze využít pro holé i jednoduché izolované vodiče na nosných a rohových podpěrných bodech. Obvykle jsou ke konzole přichyceny ocelovým roubíkem

a drží vodič nad úrovní samotné konzole. Jsou vyráběny z glazované keramiky, či porcelánu a obvykle mívají jednu, či více izolačních “sukýnek“ (talířovitá rozšíření) mezi vodičem a konzolí.

Závěsné izolátory jsou, jak již název napovídá, zavěšeny z konzole, kde se sestavují do jednoduchých, nebo dvojitých izolátorových řetězců tak, aby byly dodrženy bezpečné vzdálenosti od konstrukce stožáru. Obdobně jako podpěrné izolátory mohou nést holé i izolované vodiče. Výrobní materiál je zde opět převážně keramika, ale i keramika, či plast s dřikem (hlavní část izolátoru s izolačními sukýnkami) ze skleného vlákna.

Kotevní izolátory jsou podobné závěsným, ovšem na rozdíl od nich nenesou pouze tíhu vodičů, musí udržet také jejich natažení. Jsou umístěny na kotevní stožáry, kde se každý závěsný bod skládá z dvou kotevních izolátorových řetězců, které drží lana ze dvou směrů. [1], [4], [13]

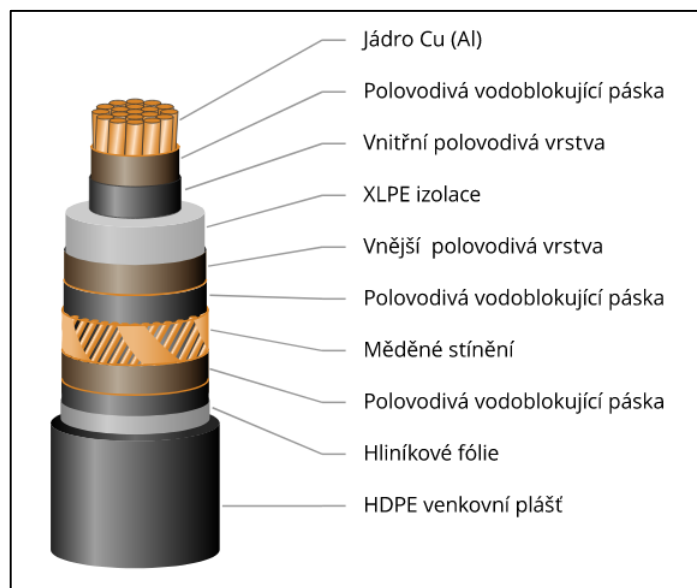
1.2.5 Kabelové vedení vysokého napětí

Podzemní KV se používají především pro sítě NN, ale často se s nimi lze setkat i u sítí VN, nebo dokonce i VVN. Nacházejí své využití v případech, kdy je distribuce elektřiny VV problémová, či nevýhodná. Jedná se o prostorově úspornější a bezpečnější variantu provedení vedení, která má ovšem na druhou stranu znatelně vyšší pořizovací náklady a je komplikovanější na provedení vzhledem k potřebě provedení samotných výkopů a průzkumných prací, aby nedošlo k poškození jiných podzemních infrastruktur, jako vodovodů, plynovodů a jiných. Kromě bezpečnosti a úspornosti je jejich výhodou také prakticky nulový zásah do vzhledu krajiny, díky čemuž jsou primárně využívány v městských a obecních zástavbách.

V případě KV VN se většinou jedná o propojení rozvodny s distribuční trafostanicí či transformátory VN/NN. Samotné uložení kabelů je poté provedeno formou natažení do výkopu, či do kabelových kanálů (neboli kabelovodů), nebo tunelů jiných infrastruktur, a to buď položením kabelů vedle sebe, nebo do trojúhelníku. Ovšem ve všech případech je nutné dodržet standartní hloubku umístění (1 m) a minimální vzdálenost mezi jednotlivými kabely (20 cm). Po uložení je vedení zasypáno a následně v určité hloubce označeno fólií, která má zamezit případným nehodám při vykonávání jiných zemních prací. V případě, že se KV má nacházet v okolí plynovodů, vodovodů apod. infrastruktur je potřeba dodržet normou dané vzdálenosti, či použít předepsané izolační přepážky. [8]

1.2.5.1 Kabelové vodiče

Vzhledem k podmínkám, kterým jsou kabelové vodiče vystaveny pod povrchem, je třeba znatelně větší ochrany než v případě VV. Z tohoto důvodu jsou kabely značně dražší než venkovní lana. Vodivé jádro tvořené z mědi, či hliníku je obvykle obaleno vodotěsnou páskou zamezující vznik vlhkosti. Další vrstvou je poté elektrická izolace, která je ve většině případů tvořena polyetylenem s vnitřní a vnější polovodivou vrstvou. Tato izolace je opět obalena vodotěsnou páskou a v následné vrstvě obemknuta kovovým stíněním, které je nejčastěji také měděné a blokuje působení vnějších elektromagnetických polí a zároveň chrání ostatní elektromagneticky citlivé objekty před polem samotného kabelu. Navíc se někdy stínění také využívá k umístění optických vláken. V další vrstvě je opět vodotěsná páska a vnější plášť, který je tvořen hliníkovou fólií a polyetylenem. Obrázek průřezu kabelového vodiče je uveden na následujícím obrázku. [8], [13]



Obr. 8 – Průřez kabelového vodiče [8]

2 NÁVRH VEDENÍ

Zadání obdržené od vedoucího práce pojednává o rekonstrukci a následné výstavbě nového vedení na trase Ratenice – Cerhenice v okrese města Kolín o délce vzdušné čáry 3001 m. Jedná se o nadzemní vedení 22 kV z 60. let minulého století, které se skládá z 30 betonových sloupů, které již nesplňují dnešní požadavky na provoz. Prvotně tedy bude provedena demontáž stávajícího VV a následně montáž nového VV, popř. KV 22 kV. Vzhledem k faktu, že se vedení nachází na distribučním území ČEZ Distribuce, a.s., se bude tato práce řídit především normami této společnosti.

2.1 Venkovní vedení

2.1.1 Výkresy

Situační výkres popisující trasu, po které bude vedení vystaven, podélný profil vyznačující profil terénu na trase navrhovaného vedení a katastrální výkres jsou uvedeny v příloze této práce (vypracováno v programu SPIDER-EN). [5]

2.1.2 Sloupy

Při výstavbě nového vedení budou použity betonové sloupy odpovídající podnikové normě PNE 34 8220 2. vydání *Odstřed'ované betonové sloupy pro elektrická venkovní vedení do 45 kV*. Použití betonových stožárů se jeví jako ideální kombinací spolehlivosti, efektivnosti a ekonomických aspektů. Dle dokumentů obdržných na internetovém portálu ČEZ Distribuce, a.s., pro standardy lze využít jednoho ze dvou dodavatelů betonových sloupů. Těmito dodavateli jsou společnosti SLOUPÁRNA Majdalena, s.r.o. a ELV Produkt, a.s. Jednotlivé typy betonových stožárů se poté vybírají na základě jejich celkové délky, jmenovité vrcholové síly, výkopu základů atd. Ovšem mezi přední parametry výběru je právě jmenovitá vrcholová síla, která nahrazuje všechny síly působící na stožár do jednoho bodu na vrcholu stožáru kolmo k podélné ose. Tuto sílu lze vypočítat pomocí následujícího vztahu.

$$F_v = p_c + \frac{1}{h} \sum_{i=3}^n (p_{\sigma i} + l_i) \quad (1)$$

Kde veličiny

$F_v (N)$ je vrcholová síla

p_c (N) je tlak větru na stožár

h (m) je délka celého stožáru and zemí

p_σ (N) je tlak větru působící na vodiče

V dnešní době jsou ovšem tyto výpočty prováděny projektantovými programy, jako např. SPIDER-EN. V následující tabulce jsou uvedeny typové betonové sloupy dodávané společností ČEZ Distribuce.

Typ (m/kN)	h (m)		F_v (kN)	z (m)		d_1 (mm)		d_2 (mm)		S_{sl} (m ²)	m (kg)	
9/3	9	9,1	3	1,6	1,6	180	180	302	309	1,8	884	870
9/6	9	9,1	6	1,6	1,6	222	220	332	349	2,1	1194	1170
9/10	9	9,1	10	1,8	1,8	222	220	332	349	2,1	1242	1190
9/12	9	9,1	12	1,8	2	222	220	332	349	2,1	1255	1290
9/15	9	9,1	15	1,8	2	222	220	332	349	2,1	1280	1300
9/20	9	9,1	20	2	2	222	220	332	349	2,1	1320	1330
10,5/3	10,5	10,6	3	1,8	1,8	180	180	317	330	2,2	1097	1140
10,5/6	10,5	10,6	6	1,8	2	222	220	347	370	2,6	1455	1420
10,5/10	10,5	10,6	10	2	2	222	220	347	370	2,6	1544	1450
10,5/12	10,5	10,6	12	2	2	222	220	347	370	2,6	1550	1490
10,5/15	10,5	10,6	15	2	2	222	220	347	370	2,6	1590	1550
10,5/20	10,5	10,6	20	2	2	222	220	347	370	2,6	1733	1670
10,5/25	10,5	10,6	25	2	2	224	250	348	408	2,8	2160	2230
12/3	12	12,1	3	2	2	180	180	332	352	2,7	1323	1360
12/6	12	12,1	6	2	2	222	220	363	392	3,1	1726	1790
12/10	12	12,1	10	2	2	222	220	363	392	3,1	1872	1820
12/12	12	12,1	12	2	2	222	220	363	392	3,1	1872	1830
12/15	12	12,1	15	2	2	222	220	363	392	3,1	1920	1880
12/20	12	12,1	20	2	2	222	220	363	392	3,1	1980	2000
13,5/6	13,5	13,6	6	2	2	222	220	378	413	3,7	2083	2150
13,5/10	13,5	13,6	10	2	2	222	220	378	413	3,7	2120	2180

Tab. 4 - Seznam vyráběných betonových sloupů pro ČEZ Distribuce, a.s. [13]

Kde veličiny

z (m) je hloubka založení sloupu do země

d_1 (mm) je průměr vrcholu

d_2 (mm) je průměr paty

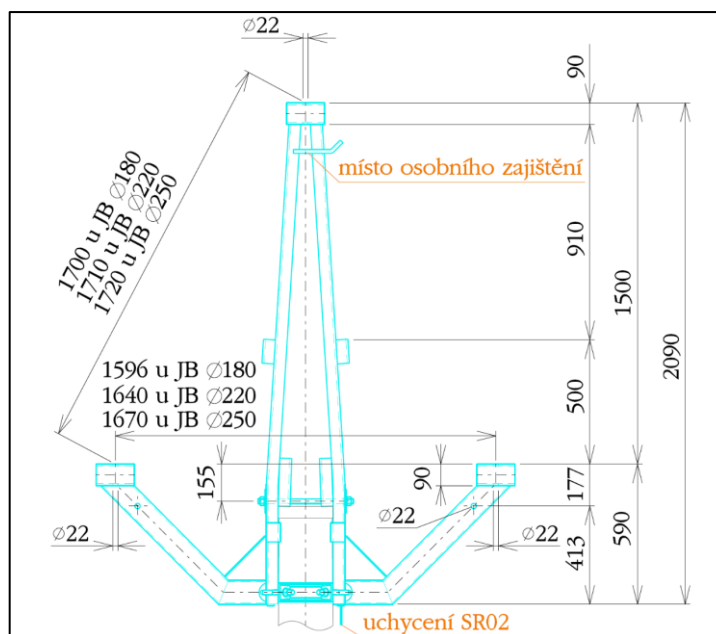
S_{sl} (m²) je plocha sloupu vystavená větru

m (kg) je hmotnost

Zelenou barvou jsou zvýrazněné sloupy od společnosti SLOUPÁRNA Majdalena a oranžovou barvou ELV Produkt. Hodnoty neoznačené ani jednou barvou jsou shodné pro oba dodavatele. Program SPIDER-EN, pomocí kterého byly vytvořeny výše uvedené výkresy, stanovil celkový počet sloupů na 30 ks. Jedná se od 26ks sloupů 12/10, 3ks 12/20 (sloupy č. 19, 28 a 39) a jeden sloup 13,5/10 (č. 3), které jsou v tabulce označeny žlutou barvou. Původní sloup č. 5 bude zachován a původní sloup č. 4 bud zrušen bez náhrady. Všechny sloupy budou také opatřeny plastovými čepičkami. [5], [13]

2.1.3 Konzole

Pro tento návrh budou použity konzole typu „Pařát“, která se skládá ze středního a dvou bočních ramen sloužících k držení vodičů. Konkrétně se bude jednat o 21 kusů typu 1xz, 7 kusů typu 2xz a 2 kusy kotevní. Rozdíl mezi typy 1xz a 2xz spočívá v praporcích pro uchycení vodičů. Kotevní konzole využívá k uchycení vodičů adaptéry, které jsou přivařeny na všechna ramena. Návrh konzole typu 1xz je uveden na následujícím obrázku. [5], [13]

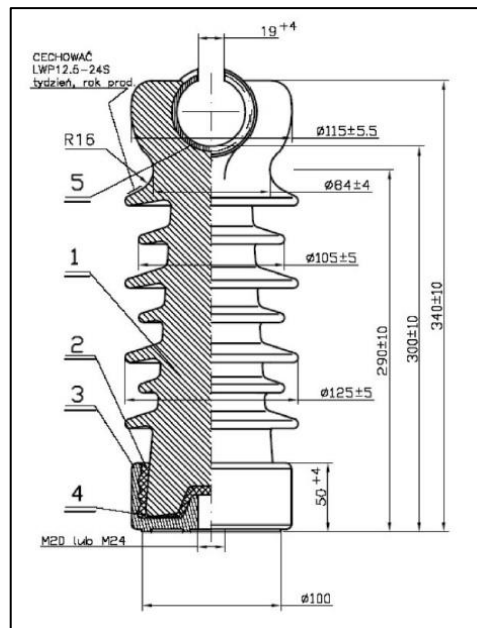


Obr. 9 – Použitá konzole [13]

2.1.4 Izolátory

V návrhu se využívá keramických podpěrných izolátorů pro 22 kV a 12 kN. Jedná se o plnojádrový izolátor z porcelánu odpovídajícímu ČSN EN 60672-3 – *Keramické a skleněné izolační materiály* v jehož hlavici se nachází otvor pro uchycení vodiče. Povrch

izolátoru je pokryt silikonovým tmelem, který pomáhá s odolností vůči vlhkosti. Tento izolátor bude zařazen do izolátorových řetězců se závěsným kloubem. Nákres tohoto izolátoru je uveden na následujícím obrázku. [5], [13]



Obr. 10 – Nákres použitých izolátorů [13]

2.1.5 Vodiče

Vodič vybrán projektujícím program je lano 42-AL1/7-ST1A, tedy lano s průřezem železné duše 7 mm² a hliníkového pláště 42 mm², skládajícího se z 6 hliníkových a 1 železného drátu. Určení přibližné délky vodiče se započtením průvěsů mezi jednotlivými stožáry lze přibližně stanovit pomocí následujícího výpočtu pomocí paraboly.

$$l_i = a + \frac{a^3}{24 \cdot c^2} \quad (2)$$

Kde veličina

l_i (m) je opravdová délka vodiče mezi dvěma podpěrnými body

a (m) je rozpětí dvou po sobě jdoucích sloupů

c (-) je parametr křivky, který lze spočítat následujícím vztahem

$$c = \frac{\sigma_H}{\delta \cdot \tau} \quad (3)$$

Kde veličina

σ_H (MPa) je vodorovné namáhání vodiče

δ ($N \cdot mm^{-2} \cdot m^{-1}$) je měrná tíha vodiče

τ (-) je přetížení vodiče námrazou

Měrnou tíhu vodiče lze dohledat v katalogovém listu každého lana. V případě lana 42AL-1/7-ST1 je tato hodnota rovna $0,033936 N \cdot mm^{-2} \cdot m^{-1}$. Další významné veličiny popisující vlastnosti tohoto vodiče je možné nalézt v následující tabulce.

Označení		S_v	d	m_v	μ	E_p	α	A
Podle EN 50182	Pův.	Celkový	Celkový	$(kg \cdot km^{-1})$	(kN)	(MPa)	$(1 \cdot K^{-1})$	$(\Omega \cdot km^{-1})$
		(mm^2)	(mm)					
42-AL1/7-ST1A	AlFe 42/7	49,48	9,00	171,20	15,27	79 000	1,86E-05	0,6593

Tab. 5 – Vlastnosti vodiče 42AL-1/7-ST1 [12]

Kde veličina

S_v (mm^2) je průřez vodiče

d (mm) je průměr vodiče

m_v ($kg \cdot km^{-1}$) je hmotnost vodiče na jeden kilometr

μ (kN) je jmenovitá pevnost vodiče

E_p (MPa) je modul pružnosti vodiče

α ($1 \cdot K^{-1}$) je součinitel dálkové roztažnosti

A ($\Omega \cdot km^{-1}$) je jmenovitý elektrický odpor vodiče na jeden kilometr

Hodnoty vodorovného namáhání vodiče a přetížení námrazou se odvíjejí od geografické oblasti, ve které s vodič nachází. Pro lokaci navrhovaného vedení budou použity hodnoty $\sigma_H = 40MPa$ a $\tau = 1,637$. Dosazením vztahu (3) do vztahu (2) je obdrženo konečný vztah pro výpočet opravdové délky vodiče mezi dvěma podpěrnými body.

$$l_i = \frac{a^3 \cdot \delta \cdot \tau}{24 \cdot \sigma_H} \quad (4)$$

Sečtením jednotlivých délek je obdržena celková délka jedné fáze. Pro obdržení konečného výsledku je u trojfázové vedení tedy nutno pouze vynásobit tuto sumu třemi. [5], [12], [13], [14]

$$l = 3 \cdot \sum l_i \quad (5)$$

Použitím výše uvedených rovnic je výsledkem následující tabulka.

Výpočet délky vedení			
Označení stožárů		a (m)	li (m)
13	14	74,83	74,86
14	15	75,30	75,33
15	16	73,27	73,30
16	17	92,83	92,89
17	18	96,97	97,04
18	19	96,61	96,68
19	20	75,74	75,77
20	21	91,35	91,41
21	22	106,92	107,02
22	23	102,02	102,11
23	24	100,09	100,17
24	25	105,03	105,12
25	26	104,88	104,97
26	27	105,42	105,51
27	28	100,95	101,03
28	29	93,92	93,99
29	30	100,06	100,14
30	31	94,96	95,03
31	32	100,01	100,09
32	33	100,54	100,62
33	34	100,09	100,17
34	35	100,45	100,53
35	36	99,68	99,76
36	37	97,64	97,71
37	38	100,37	100,45
38	39	101,54	101,62
39	40	36,41	36,41
39	1	69,81	69,84
1	2	70,17	70,20
2	3	91,00	91,06
3	5	111,70	111,81
5	6	64,51	64,53
6	TS	66,94	66,96
Celkem (m)			9012,54

Tab. 6 – Výpočet délky vodiče

2.1.6 Práce

Součástí rekonstrukce budou samozřejmě také demontážní práce původního vedení, zemní práce a následná montáž nově navrženého vedení. Tyto práce musí být vypočteny a uvedeny v celkovém rozpočtu projektu.

2.1.6.1 Demontážní práce

Mezi demontážní práce jsou zahrnuty demontáže původních betonových sloupů, konzol, vodiče, izolátorů a rozbourání betonových základů. Všechny tyto práce budou opět ohodnoceny pomocí vypsání sazby a počtu normovaných hodin. Následující tabulka obsahuje veškeré oceněné demontážní práce. [13]

Položka	Množství	Měrná jednotka	Sazba na NH (Kč)	NH celk.	Cena celkem (Kč)
Beton. sloup 10,5/3/180	25	ks	742	132,08	97 999
Beton. sloup 10,5/6/220	4	ks	742	21,13	15 679
Beton. sloup 10,5/10/220	6	ks	742	31,70	23 519
Podpěrný izolátor 22kV	120	ks	742	4,44	3 294
Rovinná konzole	31	ks	742	9,61	7 130
Lano 42-AL1/7-ST1A	9015	m	742	162,27	120 404
Rozbourání beton. základů	90	m ³	571	1044,54	596 432
Celkem					864 461

Tab. 7 – Přehled demontážní práce

2.1.6.2 Zemní práce

Zemní práce budou především spočívat ve výkopech základů nových sloupů. Tyto základy se liší pro jednotlivé typy sloupů a druhy zeminy. Druh zeminy nacházející se na ploše výstavby nového vedení nejvíce odpovídá popisu „Jemné, střední písky“, který spadá do 1–2 třídy těžitelnosti. Následující tabulka obsahuje informace potřebné pro stanovení celkového objemu zemních prací, které poté lze ocenit. [13]

Objem výkopu základů beton. sloupů – strojní práce			
Druh sloupu	Výkop na kus (m ³)	Počet sloupů	Celkový výkop (m ³)
12/10	3,38	26	87,9
12/20	5,78	3	17,3
13,5/10	5,12	1	5,1
Celkem (m³)			110,3

Tab. 8 – Objem výkopných prací

Ocenění těchto prací je poté uvedeno v tabulce níže.

Cena výkopu základů beton. sloupů				
Množství	Měrná jednotka	Sazba na NH (Kč)	NH celk.	Cena celkem
110,34	m ³	571	206,78	118 069

Tab. 9 – Ocenění výkopu základů sloupů

2.1.6.3 Montážní práce

Montážní práce se budou skládat z vytyčení nových betonových sloupů, montáže izolátorů a izolátorových řetězců, konzolí, plastových čepiček a samotného vodiče. Do montážních prací lze také zahrnout betonování základů sloupů, které lze určit obdobně jako zemní práce v kapitole 4.1.6.2. Následující tabulka uvádí výpis betonování základů.

[13]

Objem betonu pro základy sloupů			
Druh sloupu	Beton na kus (m ³)	Počet sloupů (ks)	Celkem betonu (m ³)
12/10	3,15	26	82
12/20	5,54	3	16,6
13,5/10	5,12	1	5,1
Celkem (m ³)			103,7

Tab. 10 – Objem betonování základů

Ocenění těchto prací je poté v následující tabulce.

Cena betonování základů				
Množství	Měrná jednotka	Sazba na NH (Kč)	NH celk.	Cena celkem (Kč)
103,72	m ³	571	129,75	74 090

Tab. 11 – Cena betonování základů

Výpis montážních prací a jejich ohodnocení je obsahem následující tabulky.

MONTÁŽ NOVÉHO VEDENÍ – VENKOVNÍ VEDENÍ					
Položka	Množství	Měrná jednotka	Sazba na NH (Kč)	NH celk.	Cena celkem
Beton. sloup 12/10	26	ks	742	274,74	203 858
Beton. sloup 12/20	3	ks	742	31,70	23 522
Beton. sloup 13,5/10	1	ks	742	10,57	7 840
Podpěrný izolátor 22kV	114	ks	742	8,32	6 174
Izolátor. řetězec 50/435	21	ks	742	25,37	18 823
Izolátor. řetězec 70/530	3	ks	742	3,62	2 689
Konzole Pařát 1xz	21	ks	742	21,34	15 831
Konzole Pařát 2xz	7	ks	742	7,63	5 661
Konzole Pařát kotevní	2	ks	742	3,17	2 353
Plast. Čepička	30	ks	742	3,72	2 760
Lano 42-AL1/7-ST1A	9 013	m	742	333,46	247 430
Vodičové spojky	30	ks	742	10,59	7 857
Celková cena montážních prací (Kč)					544 803

Tab. 12 – Výpis montážních prací venkovního vedení

2.1.7 Celkový rozpočet

Tabulka níže znázorňuje rozpis celkového rozpočtu. V tabulce jsou započítány krom prací uvedených v kapitole 4.1.6 také pořizovací ceny jednotlivých položek (ceny bez DPH). Přestože v kapitole 4.1.5 vyšla celková délka vodičů na 9012,54 metrů, jsem se rozhodl, že bude lepší pro případ nouze objednat vodiče o pár metrů více. Je nutné také podotknout, že v rozpočtu nejsou zahrnuty žádné projektové, zaměřovací, či průzkumné práce, které by jej mohly značně ovlivnit. [13]

CELKOVÝ ROZPOČET STAVBY – VENKOVNÍ VEDENÍ			
Položka	Množství	Cena za kus/metr	Celková cena
Beton. sloup 12/10	26	28 673	745 498
Beton. sloup 12/20	3	54 587	163 761
Beton. sloup 13,5/10	1	65 297	65 297
Podpěrný izolátor 22kV EWP	114	1 530	174 437
Izolátor. řetězec 50/435	21	2 570	53 983
Izolátor. řetězec 70/530	3	896	2 689
Konzole Pařát 1xz	21	14 637	307 390
Konzole Pařát 2xz	7	5 243	36 705
Konzole Pařát kotevní	2	18 718	37 437
Plast. čepička s držákem	30	267	8 023
Lano 42-AL1/7-ST1A	9 100	15	144 872
Vodičové spojky	30	580	17 407
Demontážní práce	-	-	864 461
Zemní práce	-	-	118 069
Betonování základů	-	-	74 090
Montážní práce	-	-	544 803
Celková cena stavby (Kč)			3 358 927

Tab. 13 – Celkový rozpočet návrhu venkovního vedení

2.2 Kabelové vedení

KV bude navrženo na stejné trase, jako VV. Tímto způsobem bude závěrečné porovnání co nejlépe vypovídající.

2.2.1 Kabel

Pro určení průřezu kabelu lze využít jednoduchého vzorce, pro výpočet jmenovitého proudu vedení I_n , který je běžně používán při projektování v praxi. Tento vztah je uveden níže.

$$I_n = P_n \cdot (\sqrt{3} \cdot U_n)^{-1} \quad (6)$$

Kde veličina

P_n (W) je jmenovitý výkon přenášený vedením

U_n (V) je jmenovité napětí vedení

Tento vztah je ovšem používán pouze pro prvotní odhad, který může být dále pozměněn. Přesné hodnoty jsou však v dnešní době obdobně jakou venkovního vedení určeny softwarovými programy. Pro účel této práce je však tento odhad dostačující.

Obdrženou hodnotu proudu lze následně porovnat s maximálním zátěžovým proudem jednotlivých druhů (průřezů) kabelů a určit výsledný průřez, který by měl být vyšší než vypočítaný I_n z důvodu rezervy v případě vyššího zatížení.

Hodnota jmenovitého výkonu přenášeného vedením byla obdržena od vedoucího práce. Výpočet jmenovitého proudu po dosazení obdržených hodnot je následující.

$$I_n = 2\,915\,041 \cdot (\sqrt{3} \cdot 22\,000)^{-1} = 76,5 \text{ A}$$

Při porovnání této hodnoty s kabely uvedenými v katalogovém listu ČEZ Distribuce byl pro použití stanoven kabel AXEKVCE s průřezem $S_k = 70 \text{ mm}^2$. [13], [24]

2.2.2 Práce

Demontážní práce budou shodné s návrhem VV, tudíž nebude potřeba jejich opětovné vypsání. Největší rozdíl návrhu KV a VV bude v zemních pracích, tedy výkopu rýhy pro samotný kabel a v ceně vodiče.

2.2.2.1 Zemní práce

Objem a hodnota zemních prací pro KV je určena obdobným způsobem, jako v případě návrhu VV. Naplánovaná rýha pro samotný kabel bude mít hloubku 1 m, šířku 1,2 m a délku 3001 m. Cena za výkop byla odvozena kombinací odborného odhadu a standardových cen uvedených v rozpisu ocenění prací na serveru standardů společnosti ČEZ Distribuce. Druhou složkou zemních prací bude poté následovný zásyp rýhy po uložení kabelů, jehož cena byla odvozena obdobně a objem byl vypočten odečtením objemu kabelů od celkového objemu vykopané rýhy. Následující tabulky popisují výpočet objemu a ocenění těchto prací. [13]

Výkop rýhy pro kabely			
Délka (m)	Šířka (m)	Hloubka (m)	Celkový objem (m ³)
3 001	1,2	1	3601,2
Zásyp rýhy po uložení			
Celkový objem (m ³)			3593,7

Tab. 14 – Objem výkopních prací kabelového vedení

Cena zemních prací – Výkop rýhy			
Množství	Měrná jednotka	Cena za kus (Kč/m ³)	Cena celkem (Kč)
3 601,2	m ³	390	1 404 468
Cena zemních prací – Zásyp rýhy			
Množství	Měrná jednotka	Cena za kus (Kč/m ³)	Cena celkem (Kč)
3593,731	m ³	320	1 149 994

Tab. 15 – Ocenění zemních prací kabelového vedení

2.2.2.2 Montážní práce

Montážní práce budou rovněž oceněny stejným způsobem, jako v případě VV. Tabulka níže uvádí soupis montážních prací pro KV. [13]

MONTÁŽ NOVÉHO VEDENÍ – KABELOVÉ VEDENÍ					
Položka	Množství	Měrná jednotka	Sazba za NH (Kč)	NH celk.	Cena celkem (Kč)
Kabel	9 003	m	742	558,19	414 174
Kabelová spojka	90	ks	742	33,48	24 842
Celková cena montážních prací (Kč)					439 016

Tab. 16 – Ocenění montážních prací kabelového vedení

2.2.3 Celkový rozpočet

Celkový rozpočet opět obsahuje demontážní, zemní a montážní práce společně s cenami jednotlivých položek. Obdobně jako u VV byla do rozpočtu započítána pro rezervu větší délka kabelu, než je potřeba. [13]

CELKOVÝ ROZPOČET STAVBY – KABELOVÉ VEDENÍ			
Položka	Množství (ks,m)	Cena za kus/metr (Kč)	Celková cena (Kč)
Kabel AXEKVCE 70 mm ²	9 050	158,1	1 430 805
Kabelová spojka AXEKVCE	90	65	5 850
Demontážní práce	-	-	864 461
Zemní práce	-	-	2 554 462
Montážní práce	-	-	439 016
Celková cena stavby (Kč)			5 294 594

Tab. 17 – Celkový rozpočet stavby kabelového vedení

3 EKONOMICKÁ ČÁST

Ekonomická část této práce se především věnuje výpočtu hospodárnému průřezu vodiče navrhovaného vedení. Průřezy obdržené těmito výpočty pro VV a KV budou následně porovnány s technickými návrhy uvedenými v kapitole 2.

3.1 Výpočet diskontu

V první řadě je pro následující ekonomické výpočty potřeba stanovit diskont, který vychází z teorie opportunity cost, neboli ceny ušlé příležitosti a charakterizuje časovou hodnotu peněz a riziko dané investice. Vzhledem k tomu, že u elektrických vedení se počítá s dobou životnosti (dále jen „DŽ“) okolo 30–40 let, lze očekávat, že hodnota peněz bude velmi odlišná při provedení samotné výstavby vedení a při jeho demontáži po dovršení DŽ. Z tohoto důvodu je diskont nezbytnou součástí ekonomických výpočtů tohoto charakteru.

Jako diskont bude v této práci použita tzv. vážená cena kapitálu neboli *WACC (%)*. *WACC* vyjadřuje vážený průměr nákladů na kapitál po zdanění za předpokladu, že poměr mezi vlastním a cizím kapitálem se nemění. Tento předpoklad lze u společnosti o rozměrech jako ČEZ Distribuce považovat za splněný. Vzorec, pomocí kterého lze *WACC* spočítat je uveden níže.

$$WACC = i_e \cdot E \cdot (E + D)^{-1} + i_d \cdot (1 - \varepsilon) \cdot D \cdot (E + D)^{-1} \quad (7)$$

Kde veličina

i_e (%) jsou náklady na vlastní kapitál

i_d (%) jsou náklady na cizí kapitál

E (tis. Kč) je hodnota vlastního kapitálu

D (tis. Kč) je hodnota cizího kapitálu

ε (%) je sazba daně z příjmu

Náklady na cizí kapitál lze obdržet ve výroční zprávě ČEZ Distribuce, a.s., kde jsou vypsány dlouhodobé úvěry, které si společnost vzala. Poslední úvěr byl součástí sedmého úvěrového rámce, který byl podepsán 30. 3. 2022 a jehož čerpání bylo realizováno v červenci 2022 a březnu 2023. Úrokovou sazbu tohoto úvěru, vzhledem k jejímu nedávnému vypsání, lze považovat za náklady na cizí kapitál. Tato sazba činila 5,01 %.

Hodnotu vlastního a cizího kapitálu lze rovněž obdržet z výroční zprávy ČEZ Distribuce, a.s. a to konkrétně z rozvahy. Pro větší přesnost byly zprůměrovány hodnoty za posledních 5 let. Tyto hodnoty včetně průměrů jsou uvedeny v tabulce níže.

Rok	Vlastní kapitál <i>E</i> (tis. Kč)	Cizí kapitál <i>D</i> (tis. Kč)	Celkový kapitál <i>E+D</i> (tis. Kč)
2023	94 713 151	64 016 871	158 730 022
2022	94 792 931	60 918 865	155 711 796
2021	92 384 321	57 045 752	149 430 073
2020	89 540 982	59 677 424	149 218 406
2019	86 961 708	51 214 640	138 176 348
Průměr	91 678 618	58 574 710	150 253 329

Tab. 18 – Vlastní a cizí kapitál ČEZ Distribuce, a.s. [15]

Sazba daně z příjmu právnických osob byla od roku 2024 zvýšena z původních 19 % na 21 %, tudíž veškeré výpočty budou provedeny s touto hodnotou.

Náklady na vlastní kapitál je nutno dopočítat pomocí modelu CAPM (Capital asset pricing model), který vypadá následovně.

$$i_e = i_f + \beta \cdot ERP \quad (8)$$

Kde veličina

i_f (%) je bezriziková výnosová míra

β (-) je koeficient míry tržního rizika

ERP (-) je prémie za systematické tržní riziko

Bezrizikovou výnosovou míru lze považovat za výnosovou míru státních obligací, která je aktuálně 5,2 %. Koeficient míry tržního rizika a prémii za systematické tržní riziko lze dohledat na internetových stránkách Damodaran, kde jsou přepočítávána data pro jednotlivá průmyslová odvětví a země za každý rok. Koeficient míry tržního rizika energetiky je pro evropský trh roven 0,56 a prémie za systematické tržní riziko pro Českou republiku je rovna 5,48 %. Dosazením těchto hodnot do vztahu (8) je získána výše nákladů na vlastní kapitál.

$$i_e = 0,0502 + 0,56 \cdot 0,0548 = \mathbf{8,27 \%}$$

Pomocí této a výše uvedených potřebných hodnot lze dosazením do vztahu (7) dopočítat výslednou váženou cenu kapitálu.

$$WACC = 0,0827 \cdot 91\,678\,618,60 \cdot (150\,253\,329)^{-1} + 0,0501 \cdot (1 - 0,21) \cdot 58\,574\,710,40 \cdot (150\,253\,329)^{-1} = \mathbf{6,59\%}$$

Pro usnadnění a přehlednost v následujících vzorečkách bude *WACC* označováno písmenem *r*. [15], [16], [17], [21]

3.2 Hospodárny průřez vedení

Při výpočtu hospodárneho průřezu se počítá s dvěma zásadními veličinami – investiční náklady a proměnné provozní náklady. Investičními náklady je myšleno především pořizovací náklady samotného vedení, zatímco provozní náklady symbolizují každoroční náklady zajišťující správný chod vedení. U větších průřezů vodičů se lze očekávat nižší činný odpor způsobující ztráty Joulovým teplem, což vychází z následujícího vztahu popisující závislost činného odporu na průřezu vodiče a vztahu definujícího Joulovo teplo.

$$R = \rho \cdot l \cdot S_v^{-1} \quad (9)$$

Kde veličina

ρ ($\Omega \cdot mm^2 \cdot m^{-1}$) je měrný elektrický odpor vodiče

l (m) je délka vodiče

S_v (mm^2) je průřez vodiče

R (Ω) je činný odpor vodiče

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \quad (10)$$

Kde veličina

Q (J) je Joulovo teplo

I (A) je proud procházející vodičem

t (s) doba, během které proud vodičem prochází

Technická výhoda většího průřezu se ovšem setkává se zásadním problémem vyšších investičních nákladů. U průřezů menších lze poté naopak očekávat logicky nižší investiční náklady, ale vyšší činný odpor, a tedy vyšší ztráty. Cílem výpočtu hospodárneho průřezu je tedy najít minimum součtu proměnných provozních a investičních nákladů, resp. průřez vodiče odpovídající tomuto minimu. Matematicky lze toto kritérium zapsat následujícím způsobem.

$$N_{vT_z} = \arg \min_{N_{pt}, N_{it}} \left[\sum_{t=0}^{T_z} (N_{pt} + N_{it}) \cdot (1+r)^{-t} \right] \quad (11)$$

Kde veličina

N_{vT_z} (Kč) jsou výrobní náklady

T_z (rok) je doba životnosti

N_{pt} (Kč) jsou provozní náklady v roce T

N_{it} (Kč) jsou investiční náklady v roce T

Toto kritérium lze ovšem může být použito při splnění dvou předpokladů – rozhoduje se výhradně o průřezu vodiče navrhovaného vedení a jednotlivé varianty se neliší z energetického hlediska (výkon a práce přenášené vedením). [18]

3.2.1 Investiční náklady

Investiční náklady je pro účel výpočtu hospodárneho průřezu lepší převést pomocí následující rovnici do formy investičních porovnávacích nákladů (N_{ip}).

$$N_{ip} = \sum_{t=1}^{T_v} [N_{it} \cdot (1+r)^{(T_v-t_r-T_\Delta)}] \quad (12)$$

Kde veličina

N_{ip} (Kč) jsou investiční porovnávací náklady

N_{it} (Kč) jsou investiční náklady

T_v (rok) je doba výstavby vedení

t_r (-) pořadové číslo roku výstavby

T_Δ (rok) je doba přesahu výstavby do provozu

Investiční porovnávací náklady poté lze vyjádřit pomocí jejich závislosti na průřezu vodiče.

$$N_{ip} = N_{za} + l \cdot (q + n \cdot S_v) \quad (13)$$

Kde veličina

N_{za} (Kč) jsou investiční náklady na zaústění vedení

q (Kč·m⁻¹) jsou měrné inv. náklady nezávislé na průřezu vodiče

n ($K\check{c}\cdot m^{-1}\cdot mm^{-2}$) jsou měrné inv. náklady závislé na průřezu vodiče

S_v (mm^2) je průřez vodiče

Vzhledem k faktu, že náklady na zaústění vedení jsou obvykle v porovnání s ostatními investičními náklady malé, budou pro účely této práce zanedbány. Měrné náklady nezávislé na průměru vodiče budou vypočítány z rozpočtů technických návrhů na jednotku délky vedení. Jakožto měrné investiční náklady závislé na průřezu vodiče budou použity ceny jednotlivých vodičů na jednotku délky. S touto znalostí poté lze rovnici (11) přepsat do následujícího tvaru. [18]

$$N_{vT_z} = \arg \min_{N_{pt}, N_{it}} \left\{ \sum_{t=1}^{T_z} [N_{pt} \cdot (1+r)^{-t} + l \cdot (q + n \cdot S_v)] \right\} \quad (14)$$

3.2.2 Provozní náklady

Lze uvažovat, že se provozní náklady vedení skládají z tří základních složek – náklady na ztráty ve vedení (N_z), náklady na údržbu vedení ($N_{úo}$) a náklady na nedodávku (N_{ned}) v jednotlivých letech provozu. Náklady na údržbu skládající se především z pravidelných měřících a vizuálních kontrol vedení nejsou na průřezu vodiče závislé a pro účel této práce budou u VV určeny jako 5 % z průměru investičních nákladů jednotlivých subvariant. Pro KV bude tato hodnota z důvodu nižšího počtu potřebných prohlídek a oprav snížena na 2 %. Náklady na nedodávku také nejsou závislé na průřezu vodiče a pro tuto práci byly určeny odborným odhadem. Náklady na ztráty jsou závislé na průřezu, o čemž vypovídá už vztah (9).

Tyto náklady (N_{zt}) lze spočítat následujícím vztahem:

$$N_{zt} = \frac{3 \cdot \rho \cdot l}{10^3 \cdot S_v} \cdot I_{mt}^2 \cdot n_{mt}(k_{mt}, j, T_{zt}) \quad (15)$$

Kde veličina

I_{mt} (A) je maximální proudové zatížení v roce t

n_m ($K\check{c}\cdot kW^{-1}$) jsou marginální náklady v roce t

k_{mt} (-) koeficient účasti maxima ztrát na maximum soustavy v roce t

j (-) je napěťová hladina

T_{zt} (h) je doba plných ztrát v roce t

Počáteční zlomek přenásobený maximálním proudovým zatížením zde znázorňuje ztrátový výkon na vedení ΔP (kW), který je poté oceněn marginálními náklady. Výše uvedené veličiny ve vztahu (15) budou blíže probrány v kapitole 3.2.3 popř. 3.2.4. I přesto však je však možné se znalostmi uvedenými výše a rovnicí (15) upravit výraz (11) následujícím způsobem tak, že výrobní náklady (N_{vTz}) budou definovány následovně:

$$N_{vTz} = \arg \min_{N_{pt}, N_{it}} \left\{ l \cdot (q + n \cdot S_v) + \sum_{t=1}^{T_z} [N_{úoT} \cdot (1+r)^{-t}] + \sum_{t=1}^{T_z} [N_{ned} \cdot (1+r)^{-t}] + \frac{3 \cdot \rho \cdot l}{10^3 \cdot S_v} \cdot \sum_{t=1}^{T_z} [I_{mT}^2 \cdot n_m(k_{mt}, j, T_{zt}) \cdot (1+r)^{-t}] \right\} \quad (16)$$

Tímto bylo dosaženo vyjádření počáteční rovnice (11) jako závislosti na průřezu vodiče. Vzhledem k faktu, který byl již výše zmíněn, a to že hospodárný průřez je minimem této závislosti, lze pro jeho obdržení položit derivaci podle průřezu této závislosti nule.

$$\frac{dN_{vTz}}{dS} = l \cdot n - \frac{3 \cdot \rho \cdot l}{10^3 \cdot S_v^2} \cdot \sum_{t=1}^{T_z} [I_{mT}^2 \cdot n_m(k_{mt}, j, T_{zt}) \cdot (1+r)^{-t}] = 0 \quad (17)$$

Z tohoto výrazu lze následně vyjádřit průřez, čímž bude obdrženo konečný vztah pro hospodárný průřez S_{ek} (mm^2).

$$S_{ek} = \sqrt{\frac{3 \cdot \rho \cdot \sum_{t=1}^{T_z} [I_{mT}^2 \cdot n_m(k_{mt}, j, T_{zt}) \cdot (1+r)^{-t}]}{10^3 \cdot n}} \quad (18)$$

V této práci bude ovšem hospodárný průřez určen graficky z vykreslené závislosti (N_i, N_p, N_{vTz}) = $f(S_v)$. Z výše uvedených vztahů lze očekávat, že závislost $N_i = f(S_v)$ bude mít lineární průběh, zatímco závislost $N_p = f(S_v)$ bude mít průběh hyperbolický. Průběh funkce $N_{vTz} = f(S_v)$ bude poté součtem těchto dvou funkcí. [18]

3.2.3 Marginální náklady

Marginální náklady budou v této práci vypočítány metodou reprezentantů. Pojem reprezentanti zde určuje takový typ závěrných elektráren, které jsou schopny v blízké budoucnosti pokrývat nárůst zatížení, či vyřazování dožitých prvků soustavy. Na území ČR jsou těmito reprezentanty především jaderné (dále jen „JE“) a přečerpávací vodní

elektrárny (dále jen „PVE“). Pro výpočet marginálních nákladů tedy bude zapotřebí vypočítat podíl JE $p_A (-)$ a podíl PVE $p_V (-)$.

Výpočet lze provést dvěma způsoby, kdy první, přesnější, varianta je počítána pomocí denního diagramu zatížení. Tato varianta ovšem přesahuje kapacitu této práce a obdržení denního diagramu zatížení odběratele připojeného přímo na vedení VN je v zadané lokalitě nemožné (vedení spojuje dvě vesnice, kde napájí především rodinné domy). Z tohoto důvodu bude využita varianta zjednodušeného určení, která se řídí následujícími vztahy.

$$p_A = 126,58 \cdot T_m \cdot 10^{-6}, \text{ když } T_m \leq 2\,555 \text{ h/r} \quad (19)$$

Nebo

$$p_A = 0,0448 + 109,041 \cdot T_m \cdot 10^{-6}, \text{ když } T_m > 2\,555 \text{ h/r} \quad (20)$$

Vzhledem k faktu, že tyto výpočty vychází z denního diagramu ztrát, bude jako T_m použita T_z , neboli doba plných ztrát. Dopocítání podílu PVE je poté určeno vztahem níže.

$$p_V = 1 - p_A \quad (21)$$

Další veličinou potřebnou k výpočtu marginálních nákladů je koeficient účasti maxima ztrát na maximu soustavy $k_m (-)$, který lze vypočítat jako podíl maximálního špičkového zatížení odběratele a jeho maximálního zatížení. Vzhledem k zadané oblasti, kde se nenachází velký počet akumulčních kamen, či tepelných čerpadel, lze považovat tento koeficient roven 1.

Vypočítané výše uvedené hodnoty lze následně dosadit do definičního vztahu pro výpočet marginálních nákladů odběratelů s denním cyklem odebírajících stejně každý den po celý rok.

$$n_m(k_m, j, T_z) = p_A \cdot (n_{pAj} + 8760 \cdot n_{wAj}) + p_V \cdot n_{pVj} + k_m \cdot n_{pSj} \quad (22)$$

Kde veličina

$n_{pAj} (-)$ jsou měrné stálé náklady na výkon v závěrné JE včetně ztrát do j -té napěťové hladiny

$n_{wAj} (-)$ jsou měrné proměnné náklady na práci v závěrné JE včetně ztrát do j -té napěťové hladiny

n_{pvj} (-) jsou měrné stálé náklady na výkon v závěrné PVE včetně ztrát do j -té napěťové hladiny

n_{psj} (-) jsou měrné proměnné náklady na práci v závěrné PVE včetně ztrát do j -té napěťové hladiny

p_A (-) je podíl jaderné elektrárny

p_V (-) je podíl přečerpávací vodní elektrárny

k_m (-) je koeficient účasti maxima ztrát na maximum soustavy

j (-) je napěťová hladina

T_z (hod-rok⁻¹) je doba plných ztrát

Koeficienty n_{pAj} , n_{wAj} , n_{pvj} , n_{psj} jsou závislé na napěťové hladině. Tyto hodnoty lze odečíst z následující tabulky, kde napětí 22 kV odpovídá $j = 5$ (tyto hodnoty jsou zvýrazněny tučným písmem).

j (-)	n_{pA} (-)	n_{pV} (-)	n_{wA} (-)	n_{pS} (-)
0	6201	1607	0,352	0
1	6279	1673	0,366	222
3	6436	1713	0,375	568
5	6634	1763	0,386	1172
7	7254	1922	0,421	2195

Tab. 19 – Tabulka pro výpočet marginálních nákladů [22]

Dosažením těchto hodnot společně s vypočítanými hodnotami p_A , p_V a k_m bude obdržena hodnota marginálních nákladů, kterou lze následně dosadit do vztahu (16), pomocí kterého bude následně graficky určen hospodárny průřez vedení. [18], [22]

3.2.4 Hospodárny průřez venkovního vedení

Vzhledem k rozsahu výpočtů potřebných k určení hospodárneho průřezu budou v této práci uvedeny pouze výchozí hodnoty, vypočtené hodnoty a postupy jejich dosažení. Samotné tabulky všech výpočtů jsou dostupné v příloze této práce.

Pro určení investičních nákladů je nejprve potřeba stanovit měrné investiční náklady závislé a nezávislé na průřezu vodiče. Nezávislé náklady lze určit z rozpočtu technického návrhu, kde od celkové ceny projektu lze po odečtení ceny samotného vodiče získat cenu projektu nezávislou na průřezu. Tuto cenu je poté potřeba vydělit celkovou délkou vedení, čímž je obdržena výsledná hodnota měrných investičních nákladů

nezávislých na průřezu na 1 metr vedení. Měrné investiční náklady závislé na průřezu lze poté stanovit jako jednotkovou cenu jednotlivých vodičů. Průřezy vodičů a jejich měrné elektrické odpory jsou tabulkovými hodnotami.

Výpočet marginálních nákladů odpovídá postupu uvedeném v kapitole 3.2.3. Hodnota doba využití maxima T_m ($hod \cdot rok^{-1}$) (byla dodána vedoucím práce a následně byla jejím použitím dopočítána doba plných ztrát T_z ($hod \cdot rok^{-1}$) použitím empirického vztahu uvedeného níže.

$$T_z = [0,8 \cdot (T_m \cdot 8760^{-1})^2 + 0,2 \cdot (T_m \cdot 8760^{-1})] \cdot 8760 \quad (23)$$

Pomocí doby plných ztrát lze obdržet pomocí rovnic (19) nebo (20), (21) a (22) hodnotu marginálních nákladů. Pomocí výpočtu ztrátového výkonu na vedení za jeden rok ΔP_r (kW) pro jednotlivé vodiče použitím vztahu (15) lze poté tyto dvě hodnoty vynásobit a následně diskontovat po celou DŽ (30 let), čímž budou získány náklady na ztráty v jednotlivých letech, které je možné sečíst a následně vydělit DŽ pro obdržení průměrných ročních nákladů na ztráty N_{zr} (Kč).

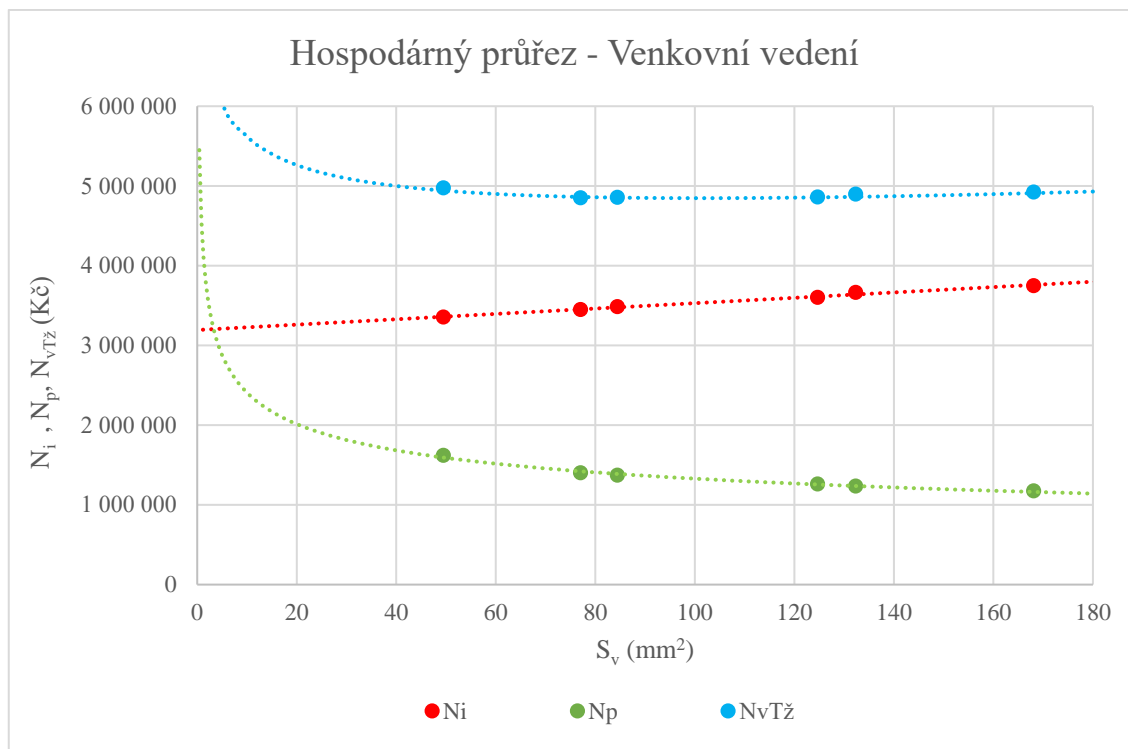
Obdržení hodnoty nákladů na údržbu a opravy již bylo popsáno v kapitole 3.2.2. Tato hodnota byla obdobně jako náklady na ztráty diskontována po DŽ a součet těchto hodnot byl následně opět vydělen DŽ, čímž byla obdržena hodnota průměrných ročních nákladů na údržbu a opravy $N_{úor}$ (Kč). Průměrné roční náklady na nedodávku N_{nedr} (Kč) byly vypočteny obdobným způsobem. Počáteční hodnota byla ovšem vypočtena jakožto součin počtu hodin nedodávky za rok t_h (hod), který byl obdržen od společnosti ČEZ Distribuce, a nákladů nedodávku za hodinu N_{nedh} (Kč), který byl určen vedoucím práce na základě hodnot z podobných reálných situací. Tabulka těchto hodnot je uvedena níže.

N_{nedh} (Kč/h)	77 922
t_h (hod)	1,75
N_{ned} (Kč)	136 364

Tab. 20 – Náklady na nedodávku

Sečtením průměrných ročních hodnot nákladů na nedodávku, opravy a údržbu a ztráty je možné získat hodnotu průměrných ročních provozních nákladů N_{pr} (Kč). Tuto hodnotu lze společně s hodnotou investičních a výrobních nákladů, které jsou dány součtem těchto dvou hodnot vynést v závislosti na průřezu vodiče do grafu. Odsud je poté možné odečíst minimum funkce $N_{vTz} = f(S_v)$, které značí hospodárný průřez vedení. V případě, kdy se hodnota hospodárného průřezu nachází na rozmezí dvou průřezů je

jako hospodárný určen ten, který má nižší hodnotu výrobních nákladů. Tento graf je uveden níže.



Graf 1 – Hospodárný průřez venkovního vedení

Pro lepší vykreslení závislosti $N_{vTz} = f(S_v)$ byl pomocí programu Wolfram Mathematica sestaven graf této funkce, ze kterého byly poté vypsány pomocné body nacházející se na křivce tohoto grafu. Také bylo v tomto programu vypočteno minimum této funkce, které je rovno hodnotě 101,39 mm², která nejlépe odpovídá lanu 72-AL1/11-ST1A s průřezem 84,45 mm². Tento průřez tedy lze určit jakožto výsledný hospodárný průřez venkovního vedení a bude použit v závěrečném porovnání. Přehled nejdůležitějších hodnot použitých k určení tohoto průřezu je uveden v následující tabulce.

Typ lana	S_v (mm ²)	ΔP_r (kW)	N_{zr} (Kč)	N_{pr} (Kč)	N_i (Kč)	N_{vTz} (Kč)
42-AL1/7-ST1A	49,48	34,74	641 796	1 620 240	3 353 981	4 974 221
66-AL1/11-ST1A	77,05	22,82	421 699	1 400 142	3 448 963	4 849 105
72-AL1/11-ST1A	84,45	21,22	392 106	1 370 550	3 484 615	4 855 164
100-AL1/25-ST1A	124,70	15,23	281 424	1 259 868	3 600 933	4 860 802
110-AL1/22-ST1A	132,33	13,79	254 849	1 233 293	3 662 874	4 896 167
143-AL1/25-ST1A	168,11	10,61	196 053	1 174 497	3 747 862	4 922 359

Tab. 21 – Přehled veličin pro hospodárný průřez pro venkovní vedení

Jak z této tabulky, tak z grafického znázornění jejích závislostí lze prohlásit, že očekávání uvedená na konci kapitoly 3.2.2. se potvrdila, poněvadž můžeme pozorovat

lineární závislost investičních nákladů a hyperbolickou závislost provozních nákladů. [13], [18], [22], [25]

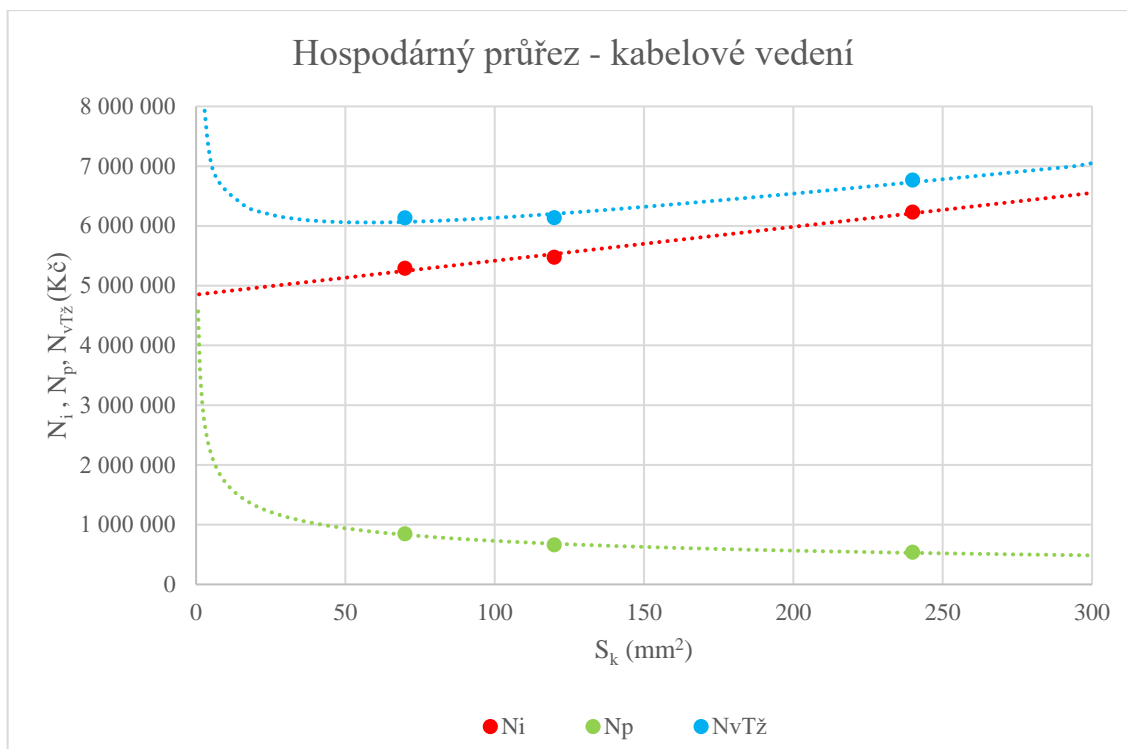
3.2.5 Hospodárný průřez kabelového vedení

Postup výpočtu hospodárného průřezu kabelového vedení je identický s výpočtem hospodárného průřezu venkovního vedení. Všechny veličiny byly obdrženy stejným způsobem, jak bylo uvedeno v předchozí kapitole. Ovšem tyto hodnoty nejsou stejné. Náklady na údržbu a opravy byly, jak již bylo zmíněno v kapitole 3.2.2 sníženy z 5 % průměrných investičních nákladů na 2 %. Obdobně byly sníženy také náklady na nedodávku, kde byly použity následující hodnoty.

N_{nedh} (Kč/hod)	77 922
t_h (hod)	0,25
N_{ned} (Kč)	19 481

Tab. 22 – Náklady na nedodávku kabelového vedení

Náklady na ztráty byly rovněž přepočítány pro hodnoty měrných elektrických odporů kabelů a jejich průřezů. Měrné investiční náklady nezávislé na průřezu kabelu byly přepočítány, aby odpovídaly rozpočtu technického návrhu KV. Měrné investiční náklady závislé na průřezu kabelu byly opět určeny z ceníku. Stejným postupem bylo poté vytvořeno grafické znázornění závislostí N_i , N_{pr} a $N_{VTz} = f(S_k)$, které jsou uvedeny na následujícím grafu.



Graf 2 – Hospodárný průřez kabelového vedení

V případě kabelového vedení bylo opět pomocí programu Wolfram Mathematica vypočítáno minimum funkce, které odpovídalo průřezu 57,47 mm². Tomuto průřezu nejvíce odpovídá kabel AXEKVCE s průřezem 70 mm². Vzhledem k faktu, že je tento kabel shodný s kabelem použitým v technickém návrhu, budou v závěrečném porovnání pouze tři varianty. Nejdůležitější hodnoty potřebné k určení hospodárného průřezu kabelového vedení jsou opět uvedeny v tabulce níže. [13], [18], [22], [25]

Typ kabelu	S_k (mm ²)	ΔP_r (kW)	N_{zr} (Kč)	N_{pr} (Kč)	N_i (Kč)	$N_{vTž}$ (Kč)
AXEKVCE 1x70 mm ²	70	23,34	431 238	845 081	5 287 192	6 132 273
AXEKVCE 1x 120 mm ²	120	13,33	246 283	660 126	5 474 364	6 134 490
AXEKVCE 1x 240 mm ²	240	6,59	121 681	535 524	6 228 726	6 764 250

Tab. 23 – Přehled veličin pro hospodárný průřez kabelového vedení

3.2.6 Porovnání variant

Pro porovnání všech čtyř variant návrhu (technický návrh VV a KV a ekonomický návrh VV a KV) bude vzhledem k faktu, že doba životnosti všech variant je shodná, použita čistá současná hodnota NPV, což je v oboru energetiky nejpoužívanější kritérium pro hodnocení investic. Toto kritérium vyjadřuje současnou hodnotu všech příjmů a výdajů souvisejících s investicí a zahrnuje časovou hodnotu peněz. Lze ji definovat

jakožto součet diskontovaných hotovostních toků po celou dobu životnosti investice, což vyjadřuje její definiční vztah.

$$NPV = \sum_{t=0}^{T_z} [CF_t \cdot (1 + r)^{-t}] \quad (24)$$

Kde veličina

CF_t (Kč) je hotovostní tok v daném roce

Hotovostní tok v daném roce bude získán sečtením investičních (v roce 0) a provozních nákladů (v letech 1 až 30). Pro účely této práce nebudou v tomto porovnání uvedeny výnosy získané tímto vedením, protože by pro všechny varianty byly stejné a tím pádem by kritérium neovlivnili. Je nutné také podotknout, že v rámci této práce se bude porovnávání provádět s konstantní diskontní sazbou, která se však může v praktických případech během doby životnosti měnit. Provozní a investiční náklady budou odečteny z výpočtů provedených pro určení hospodárného průřezu v kapitolách 3.2.4 a 3.2.5. Veškeré ekonomické výpočty a cenové údaje jsou v této práci uvedeny bez daně z přidané hodnoty. Provozní náklady tedy budou brány jako konstantní po celou DŽ vedení. Tímto způsobem lze obdržet následující tabulku včetně výpočtu čisté současné hodnoty.

VENKOVNÍ VEDENÍ – TECHNICKÝ NÁVRH						
Rok	0	1	2	...	29	30
N_i (Kč)	-3 358 927	0	0	...	0	0
N_p (Kč)	0	-1 620 240	-1 620 240	...	-1 620 240	-1 620 240
CF (Kč)	-3 358 927	-1 620 240	-1 620 240	...	-1 620 240	-1 620 240
NPV (Kč)	-24 321 166					
KABELOVÉ VEDENÍ – TECHNICKÝ NÁVRH						
Rok	0	1	2	...	29	30
N_i (Kč)	-5 287 192	0	0	...	0	0
N_p (Kč)	0	-845 081	-845 081	...	-845 081	-845 081
CF (Kč)	-5 287 192	-845 081	-845 081	...	-845 081	-845 081
NPV (Kč)	-16 220 633					
VENKOVNÍ VEDENÍ – EKONOMICKÝ NÁVRH						
Rok		1	2	...	29	30
N_i (Kč)	-3 484 615	0	0		0	0
N_p (Kč)	0	-1 370 550	-1 370 550	...	-1 370 550	-1 370 550
CF (Kč)	-3 484 615	-1 370 550	-1 370 550	...	-1 370 550	-1 370 550
NPV (Kč)	-21 216 429					

Tab. 24 – Závěrečné porovnání jednotlivých variant

Z výše uvedené tabulky lze usoudit, že z hlediska kritéria čisté současné hodnoty, kdy je nejlepší variantou ta nejcennější (tedy nejhodnotnější), bude nejlepší variantou kabelové vedení. Tato varianta má oproti variantám venkovního vedení zdatelně vyšší investiční náklady, ovšem její provozní náklady jsou téměř poloviční. Pro výstavbu je tedy z hlediska této práce doporučena právě tato varianta. [23]

4 ZÁVĚR

Projektování elektrického vedení je komplexní disciplína, která zahrnuje jak technické, tak ekonomické aspekty. Tato práce se zabývala návrhem vysokonapěťového elektrického vedení 22 kV ve dvou hlavních variantách – venkovním a kabelovým vedením. Obě varianty byly hodnoceny z hlediska technických parametrů a ekonomické efektivnosti.

Technická část práce se zaměřila na analýzu faktorů ovlivňujících návrh elektrického vedení, jako jsou napěťová úroveň, přenosová kapacita, druh vodičů, typy stožárů a izolátorů. Byly vypracovány návrhy pro oba typy vedení, které zahrnovaly technické výkresy, specifikace materiálů a montážní postupy. Pro obě varianty byly rovněž stanoveny rozpočty, které se skládaly z demontážních, zemních a montážních prací společně s oceněním samotných použitých materiálů.

Ekonomická část práce hodnotila náklady spojené s investicí a provozem obou variant vedení. Byly provedeny výpočty diskontu, investičních a provozních nákladů, a rovněž byla analyzována efektivnost průřezu vodičů pomocí hospodárného průřezu. Pro vypočítání provozních nákladů byly zohledněny náklady na údržbu a opravy, náklady na ztráty a náklady na nedodávky. Výsledné varianty – tedy technické návrhy kabelového a venkovního vedení a ekonomické varianty vytvořené pro vodiče obdržené výpočtem hospodárného průřezu byly na závěr porovnány z hlediska čisté současné hodnoty.

Na základě provedených analýz a srovnání lze prohlásit, že z ekonomického hlediska je kabelové vedení s průřezem 70 mm², jehož investiční náklady činí 5 287 192 Kč a roční průměrné provozní náklady jsou rovny 845 081 Kč nejvýhodnější variantou pro realizaci projektu. Tato varianta nabízí lepší celkovou ekonomickou efektivitu a nižší provozní náklady, což je klíčové pro dlouhodobou udržitelnost a spolehlivost elektrické sítě i přes vysoké investiční náklady.

Celkově tato práce přispěla k hlubšímu porozumění problematice projektování elektrického vedení a poskytla ucelený pohled na technické a ekonomické aspekty, které je třeba zvážit při rozhodování o nejvhodnějším řešení pro přenos elektrické energie. Výsledky této práce mohou sloužit jako základ pro další studie a projekty v oblasti

elektroenergetiky, přispívající k efektivnějšímu a udržitelnějšímu rozvoji energetických soustav.

5 LITERATURA

- [1] TOMAN, Petr. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [2] TLUSTÝ, Josef. *Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04939-6.
- [3] ČEZ, A.S. Nadzemní vedení VVN, VN a NN. ČEZ, A.S. *Svět energie* [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/distribuce-elektřiny/distribuce-elektrické-energie-podrobně/nadzemní-vedení-vvn-vn-a-nn/vyklad>
- [4] ČEZ, A.S. Stožáry linek VVN, VN a NN. ČEZ, A.S. *Svět energie* [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/distribuce-elektřiny/distribuce-elektrické-energie-podrobně/stožary-linek-vvn-vn-a-nn/vyklad>
- [5] SPIDER-EN – projektování energetických sítí. *Gisoft.cz* [online]. [cit. 2021-07-06]. Dostupné z: www.gisoft.cz/SPIDER-EN/SPIDER-EN
- [6] ČEZ, A.S. Elektrizací a přenosová soustava. ČEZ, A.S. *Svět energie* [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/distribuce-elektřiny/distribuce-elektrické-energie-podrobně/elektrizací-a-prenosova-soustava/vyklad>
- [7] PROGRAM EFEKT 2. Elektrické sítě a vodiče. PROGRAM EFEKT 2. *Informační portál energetické gramotnosti* [online]. 2018 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://www.informacni-portal.cz/clanek/prenosova-soustava#article-top>
- [8] ČEZ, A.S. *Kabelová vedení*. Online. ČEZ, A.S. Svět energie. 2020, 2024. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/distribuce-elektřiny/distribuce-elektrické-energie-podrobně/kabelova-vedení/vyklad>. [cit. 2024-05-09].
- [9] WIKIMEDIA FOUNDATION. *Wikipedie Otevřená encyklopedie* [online]. 2001 [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Hlavn%C3%AD_strana
- [10] BARKO. Ceník kovů. BARKO. *Druhotné suroviny* [online]. [cit. 2024-01-08]. Dostupné z: <https://druhotnesuroviny.cz/cenik>

- [11] *Elektroenergetika 1*. 1. VOŠ a SPŠ elektrotechnická Františka Křížíka: Ing. Anna Mudruňková, 2016. ISBN 978-80-88058-81-6.
- [12] PNE 34 7509 *Holé vodiče pro venkovní vedení ze soustředně slaněných kruhových drátů*. Praha: České sdružení regulovaných elektroenergetických společností, 2007. [cit. 2024-05-20]
- [13] ČEZ DISTRIBUCE, A.S. *Standardy – katalog*. Online. ČEZ DISTRIBUCE, A.S. ČEZ Distribuce. 2024. Dostupné z: https://www.standardy.cezdistribuce.cz/standardy/standardy-katalog.html?PARENTID_IN_FK=4697. [cit. 2024-05-09].
- [14] *PROJEKTOVÁNÍ ELEKTRICKÉHO VEDENÍ VYSOKÉHO NAPĚTÍ*. Online, Bakalářská, vedoucí Mgr. Ing. Vít Klein, Ph.D. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta Elektrotechnická, 2022. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/101394/F3-BP-2022-Paulovic-Michal-Bakalarska%20prace.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. [cit. 2024-05-09].
- [15] ČEZ DISTRIBUCE, A.S. *Výroční zpráva*. Online. ČEZ DISTRIBUCE, A.S. ČEZ Distribuce. 2024. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/o-spolecnosti/vyrocnizpravy>. [cit. 2024-05-09].
- [16] MINISTERSTVO FINANCÍ ČESKÉ REPUBLIKY. *Výnosy SDD*. Online. MINISTERSTVO FINANCÍ ČESKÉ REPUBLIKY. MFČR. 2024. Dostupné z: <https://www.mfcr.cz/cs/rozpocetova-politika/rizeni-statniho-dluhu/emise-statnich-dluhopisu/vynosy-sdd>. [cit. 2024-05-09].
- [17] DAMODARAN. *Data: Current*. Online. DAMODARAN. Damodaran Online. 1998, 2024. Dostupné z: <https://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>. [cit. 2024-05-09].
- [18] VÍTEK, Miroslav. *Ekonomika dopravních energetických systémů*. Vyd. 2. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04181-9.
- [19] ČSN EN 50341-1. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1kV – Část 1: Obecné požadavky - Společné specifikace*. Ed. 2. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013[cit. 2024-05-20]
- [20] ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT. ČSN 12843, *Betonové prefabrikáty - Stožáry a sloupy*. 2005. [cit. 2024-05-20]

- [21] Základy finančního managementu: Zadlužení, WACC. Online. In: . 2024, s. 10. Dostupné z: <https://moodle.fel.cvut.cz/course/view.php?id=8549>. [cit. 2024-05-20].
- [22] *Ekonomika dopravy energie v příkladech*. Online. Fakulta elektrotechnická, ČVUT, Praha, 2018. [cit. 2024-05-20].
- [23] MOODLE. *Kritéria ekonomické efektivnosti*. Online. FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ, ČVUT. Moodle. 2024. Dostupné z: https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/466284/mod_resource/content/3/05ZFM_kriteria%20ekonomicke%20efektivnosti.pdf. [cit. 2024-05-20].
- [24] NKT. *Silové kabely s izolací ze zesíťného polyetylenu*. Online. NKT. 2024. Dostupné z: https://nkt.widen.net/content/tlg00rmu8x/pdf/22-AXEKVCEYDSCZENAPP_MV_DS_CS-EN.pdf?u=gj0n1y. [cit. 2024-05-21].
- [25] WOLFRAM. *Wolfram Mathematica 14*. Online. Dostupné z: <https://www.wolfram.com/mathematica/>. [cit. 2024-05-21].

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Výpočetní tabulky

Příloha 2 – Situační výkres návrhu venkovního vedení

Příloha 3 – Podélný profil návrhu venkovního vedení

Příloha 4 – Katastrální výkres venkovního vedení

Pozn. Příloha č. 1 (Excelový soubor s výpočty) je k práci přiložen pouze v elektronické formě v systému závěrečných prací ČVUT v Praze (<https://dspace.cvut.cz/>)