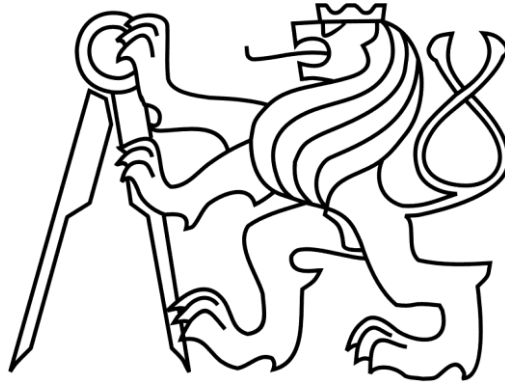


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA EKONOMIKY, MANAŽERSTVÍ A HUMANITNÍCH VĚD



Ekonomická optimalizace průřezu vodičů a opce

Economic optimization of power lines sizes and options

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Obor: Ekonomika a řízení energetiky

Vedoucí práce: Prof. Ing. Oldřich Starý, CSc.

Bc. Ondřej Kovář

Praha

2015

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Ondřej Kovář

Studijní program: elektrotechnika, energetika a management
Obor: ekonomika a řízení energetiky

Název tématu: Ekonomická optimalizace průřezu vodičů a opce

Pokyny pro vypracování:

- dimenzování vodičů
- vstupní parametry
- identifikace opcí
- upravený vzorec hospodárného průřezu
- vzorový výpočet

Seznam odborné literatury:

Vítek, Miroslav: Ekonomika dopravních energetických systémů, Praha, ČVUT, 2008, ISBN 978-80-01-04181-9

Starý, Oldřich: Reálné opce, Praha, A plus, 2003, ISBN 80-902514-6-3

Vedoucí diplomové práce: Prof.Ing. Oldřich Starý, CSc. – ČVUT FEL, K 13116

Platnost zadání: do konce letního semestru akademického roku 2015/2016

Doc.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.
vedoucí katedry




Prof.Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 4.11.2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů pro vypracování závěrečných prací, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje

V Praze dne 5. 5. 2015

.....
Bc. Ondřej Kovář

Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kteří mě podporovali při psaní této práce. Zejména pak děkuji svému vedoucímu prof. Ing. Oldřichovi Starému, CSc. za cenné rady a čas věnovaný konzultacím.

Abstrakt

Náplní této práce je vysvětlení rozkolu teorie dimenzování vodičů a běžné praxe, která využívá průřezů silnějších. Tento rozdíl je reprezentován reálnou opcí na nerealizovanou investici v případě zvýšení zatížení, které by při využití hospodárného průřezu vedlo k nutnosti výměny vodiče. V práci jsou nejprve vysvětleny veškeré teoretické předpoklady a postupy týkající se jak dimenzování vodičů, tak oceňování opcí a následně jsou tyto postupy demonstrovány na konkrétním příkladu.

Klíčová slova

dimenzování vodičů, hospodárný průřez, reálné opce, oceňování, kabel

Abstract

The aim of this thesis is explanation of the split between theory conductors dimensioning and commonly used practice that uses the thicker sections. This difference is represented by a real option for non-investment in case of increased load, thus making use of economic advantage through non-necessity of cable replacement. In the beginning of this work are explained theoretical conditions and procedures regarding power lines sizing and options pricing, then these procedures are demonstrated on a specific example.

Key words

dimensioning of conductors, economical cross section, real options, pricing, cable

Obsah

| | |
|---|----|
| Prohlášení | 3 |
| Poděkování | 4 |
| Abstrakt | 5 |
| Klíčová slova | 5 |
| Abstract | 5 |
| Key words | 5 |
| Obsah | 6 |
| Úvod | 9 |
| 1 Dimenzování vodičů | 10 |
| 1.1 Technická kritéria | 11 |
| 1.1.1 Kontrola přípustného oteplení | 11 |
| 1.1.2 Kontrola Jouleových ztrát | 12 |
| 1.1.3 Kontrola účinků zkratových proudů | 14 |
| 1.1.4 Kontrola mechanických účinků | 17 |
| 1.1.5 Kontrola úbytku napětí | 21 |
| 1.1.6 Porovnání vlastností kabelových a venkovních vedení | 26 |
| 1.2 Ekonomická kritéria – hospodárny průřez | 27 |
| 1.2.1 Investiční náklady | 29 |
| 1.2.2 Provozní náklady | 30 |
| 1.2.3 Odvození hospodárneho průřezu | 31 |
| 2 Vstupní parametry | 33 |
| 2.1 Průřez | 33 |
| 2.2 Délka | 33 |
| 2.3 Materiál | 34 |
| 2.4 Pronájmy těžké techniky | 34 |
| 2.5 Lidská práce | 35 |
| 3 Opce a jejich identifikace pro hospodárny průřez | 36 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1 | Základní druhy opcí..... | 36 |
| 3.1.1 | Pozice zisků a ztrát a hodnota opce | 37 |
| 3.1.2 | Určení cen opcí | 39 |
| 3.2 | Další druhy opcí | 46 |
| 3.2.1 | Straddle..... | 47 |
| 3.2.2 | Strangle | 48 |
| 3.2.3 | Bear spread | 49 |
| 3.2.4 | Bull spread | 50 |
| 3.2.5 | Butterfly spread | 52 |
| 3.3 | Reálné opce | 52 |
| 3.4 | Opce v hospodárném průřezu | 53 |
| 3.4.1 | Náklady na zásoby | 53 |
| 3.4.2 | Výkopové práce a uzavírky | 54 |
| 3.4.3 | Nárůst zatížení | 54 |
| 4 | Upravený vzorec hospodárneho průřezu | 56 |
| 4.1 | Směrodatná odchylka σ | 57 |
| 4.2 | Doba životnosti | 58 |
| 4.3 | Bezrizikový výnos..... | 59 |
| 4.4 | Investice - Průměrná cena metru trasy | 59 |
| 4.5 | Rozdíl investičních nákladů pro průřezy 120 mm ² a 240 mm ² | 59 |
| 4.6 | Roční průběh zatížení a jeho vývoj v čase | 60 |
| 4.7 | Určení ztrát a jejich ocenění | 60 |
| 4.8 | Další vstupní parametry..... | 62 |
| 4.8.1 | Výpočet hodnoty opce..... | 62 |
| 5 | Vzorový výpočet na vybraných kabelových vedeních PREdistribuce, a.s..... | 64 |
| 5.1 | Zkoumaná kabelová vedení | 64 |
| 5.1.1 | Nové Město, ul. Štěpánská | 65 |
| 5.1.2 | Háje, ul. Kupeckého | 66 |

| | | |
|-------|--|----|
| 5.1.3 | Vokovice, ul. Vokovická | 67 |
| 5.1.4 | Uhřetěves, ul. Přátelství | 68 |
| 5.1.5 | Hradčany, ul. Milady Horákové | 69 |
| 5.1.6 | Jinonice, ul. Na Vidouli | 70 |
| 5.2 | Výsledky výpočtů | 71 |
| 5.3 | Citlivostní analýzy | 72 |
| 5.3.1 | Citlivostní analýza směrodatné odchylky | 72 |
| 5.3.2 | Citlivostní analýza bezrizikového výnosu | 73 |
| 5.3.3 | Citlivostní analýza doby životnosti | 74 |
| 5.3.4 | Citlivostní analýza měrných investičních nákladů | 75 |
| | Závěr | 77 |
| | Seznam tabulek | 79 |
| | Seznam obrázků | 79 |
| | Seznam grafů | 80 |
| | Seznam použité literatury | 81 |

Úvod

Ve své diplomové práci bych se rád zaměřil na určitý rozkol mezi teorií dimenzování vodičů a běžně používanou praxí v oboru. Konkrétně se bude jednat o pokus potvrzení, či naopak vyvrácení, filozofie PREDistribuce, která uvádí, že na napěťové hladině 22 kV se jí nevyplatí instalovat jiné kabely než 22-AXEKVCEY 1X240/25, totiž kabely s průřezem 240 mm², ačkoliv až doposud na této napěťové hladině využívala kabely s průřezem 120 mm² a to bez zjevných problémů. Toto rozhodnutí pražského distributora elektřiny se budu snažit vysvětlit pomocí reálné opce.

První kapitola je věnována dnes běžně používaným zásadám dimenzování průřezů vodičů a to jak z hlediska technických, tak ekonomických kritérií. Jedná se tedy o rešerši již známých faktů. Ve druhé kapitole se pak snažím rozebrat jednotlivé vstupní parametry, které by dle mého názoru měly mít na průřez vedení vliv, a zjišťuji, zda jsou již zohledněny v běžném vztahu pro výpočet hospodárného průřezu. Třetí kapitola je poslední teoretickou kapitolou a je věnována úvodu do opcí, opčních strategií a oceňování opcí. Právě oceňování opcí následně využiji v praktické části své práce, kde budu rozhodovat o výhodnosti instalace silnějšího průřezu.

Poslední kapitola je pak věnována výpočtu hodnoty opce na uspořenou investici v případě zvýšení proudového zatížení vedení. Situaci lze totiž interpretovat tak, že pokud investuji již na začátku výstavby vedení do vyššího průřezu, ušetřím si tím případné investice, jež bych musel vynaložit v případě, že se zvýší odběr elektřiny natolik, že slabší kabel by již nestačil. Popsaná situace pak odpovídá kupní opci, kterou budu oceňovat pomocí trinomické metody popsané v kapitole o opcích. Výpočet bude tedy konstruován jako rozdíl dvou variant, totiž varianty s kabelem o průřezu 120 mm² a varianty s kabelem o průřezu 240 mm². Jestliže cena této opce vyjde vyšší, než rozdíl pořizovacích nákladů porovnávaných kabelů, pak se domnívám, že PREDistribuce se chová pochopitelně a nejedná se tak o zbytečně vynaložené prostředky, které se projeví v cenách za distribuci pro koncového zákazníka. V případě, že cena opce vyjde nižší, pak bude předmětem dalších diskuzí, zda neexistují i jiné důvody k instalaci vyššího průřezu.

1 Dimenzování vodičů

První kapitola bude věnována dimenzování vodičů. Elektrické vedení přenášející elektřinu je nedílnou součástí všech zařízení, která ke svému provozu potřebují dodávku elektrické energie. Při výstavbě nových vedení, jak venkovních, tak kabelových, je třeba zajistit bezpečný a zároveň co nejspolehlivější provoz. Průřez vodiče a případné izolace musejí být dimenzovány s ohledem na následující požadavky:

- kontrola přípustného oteplení
- kontrola Jouleových ztrát
- kontrola tepelných účinků zkratových proudů
- kontrola mechanických účinků
- kontrola úbytku napětí
- kontrola hospodárnosti provozu

Před vlastní výstavbou vedení je třeba nejprve určit maximální odběrový proud resp. maximální zatížení, na které mají být vedení i další prvky v síti, např. transformátory a jističí přístroje navrženy. Zde se nabízí určit maximální zatížení jako součet jmenovitých výkonů všech předpokládaných zařízení připojených na vedení. V takovém případě by však byla hodnota tohoto teoretického zatížení zbytečně velká, neboť pravděpodobnost, že všechna zařízení budou současně v chodu, a navíc na jmenovitý výkon, je minimální. Proto se určuje tzv. výpočtové zatížení P_V :

$$P_V = \beta \cdot \sum_{i=1}^n P_i \quad [W] \quad (1.1)$$

kde: β činitel náročnosti dané skupiny spotřebičů
(0,2 – 1) [–]

P_i jmenovité výkony jednotlivých připojených
spotřebičů [W]

Následně můžeme určit výpočtový proud I_V :

Pro jednofázový rozvod

$$I_V = \frac{P_V}{U \cdot \cos \varphi} \quad [A] \quad (1.2)$$

kde: U napětí v napájecí síti [V]

$\cos \varphi$ střední účinník pro danou skupinu odběrových zařízení [-]

Pro trojfázový rozvod

$$I_V = \frac{P_V}{\sqrt{3} \cdot U_S \cdot \cos \varphi} \quad [A] \quad (1.3)$$

kde: U_S sdružené napětí v napájecí síti [V]

$\cos \varphi$ střední účinník pro danou skupinu odběrových zařízení [-]

Následující kapitoly budou věnovány jednotlivým kritériím, která jsem rozdělil do dvou kategorií: technická a ekonomická.

1.1 Technická kritéria

Nejprve se zaměřím na to, jaké technické parametry musí každé elektrické vedení splňovat, chceme-li jej připojit k elektrizační soustavě (ES). Tato kritéria jsou dána normami, které vychází z teoretických výpočtů, jež jsou ověřeny dlouholetou praxí.

1.1.1 Kontrola přípustného oteplení

Dimenzování s ohledem na přípustné oteplení vedení spočívá v porovnání výpočtového proudu I_V s velikostí dovoleného proudu I_{DOV} . Tuto přípustnou hodnotu proudu zjistíme vynásobením jmenovité proudové zatížitelnosti I_{NV} , již udává výrobce, a součinu pře počítačích koeficientů. Tyto koeficienty jsou uvedeny v normě a jejich významem je respektování možnosti odvodu tepla. Jedná se tedy o způsob uložení, teplotu okolí, seskupení více vodičů atd.

$$I_{DOV} = I_{NV} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdots k_n = I_{NV} \cdot \prod_{i=1}^n k_i \quad [A] \quad (1.4)$$

kde: I_{DOV} přípustná hodnota proudu [A]

I_{NV} jmenovitá proudová zatížitelnost [A]

k_i přepočítací koeficienty [-]

1.1.2 Kontrola Jouleových ztrát

Tato kontrola velmi úzce souvisí s kritériem přípustného oteplení, neboť prochází-li vodičem proud, pak dochází ke vzniku Jouleových ztrát, které se projeví ohřátím vodiče, potažmo celého vedení. Z tohoto důvodu musí být každý vodič dimenzován tak, aby při trvalém přenosu jmenovitého proudu nedocházelo k přílišnému přehřívání vodiče, resp. jeho izolace, která má zpravidla výrazně nižší tepelnou odolnost.

Velikost Jouleových ztrát P_{JZ} určíme podle vztahu (1.5):

$$P_{JZ} = \int_{(V)} j^2 \rho dV \quad [W] \quad (1.5)$$

kde: j proudová hustota [Am⁻²]

ρ měrný odpor [Ωmm²/m]

Vzhledem k tomu, že v reálném životě jsou dlouhé úseky vedení vyrobeny z jednoho materiálu o konstantním průřezu a parametry vedení jsou tak po celé jeho délce neměnné, můžeme vztah (1.5) upravit pro jednotlivé druhy vedení, jak uvádí literatura [12].

Jednoduchá stejnosměrná vedení napájená z jedné strany

$$P_{JZ} = \frac{2 \cdot \rho}{s} \cdot \sum_{i=1}^n l_i \cdot \left(\sum_{j=i}^n I_j \right) \quad [W] \quad (1.6)$$

kde: ρ měrný odpor [Ωmm²/m]

s průřez vodiče [mm²]

l_i délka i -tého úseku [m]

I_j j -tý odběr [A]

n počet úseků [-]

Jednoduchá stejnosměrná vedení napájená ze dvou stran

V takovémto případě je třeba nejprve zjistit, jaké proudy procházejí jednotlivými úseky vedení, a teprve následně lze určit velikost Jouleových ztrát.

$$P_{JZ} = \frac{2 \cdot \rho}{s} \cdot \sum_{i=1}^n l_i \cdot I_i \quad [W] \quad (1.7)$$

| | | | |
|------|--------------|-----------------------|-------------------|
| kde: | ρ | měrný odpor | $[\Omega mm^2/m]$ |
| | s | průřez vodiče | $[mm^2]$ |
| | l_i | délka i -tého úseku | $[m]$ |
| | I_i | proud i -tého úseku | $[A]$ |
| | n | počet úseků | $[-]$ |

Jednofázová střídavá vedení

$$P_{JZ} = R \cdot I^2 = \frac{\rho \cdot l}{s} \cdot I^2 \quad [W] \quad (1.8)$$

| | | | |
|------|--------------|------------------------------------|-------------------|
| kde: | R | ohmický odpor | $[\Omega]$ |
| | ρ | měrný odpor | $[\Omega mm^2/m]$ |
| | s | průřez vodiče | $[mm^2]$ |
| | l | délka vodiče | $[m]$ |
| | I | zdánlivý proud protékající vodičem | $[A]$ |

Trojfázová střídavá vedení

$$P_{JZ} = 3 \cdot R \cdot I^2 = \frac{3 \cdot \rho \cdot l}{s} \cdot I^2 \quad [W] \quad (1.9)$$

| | | | |
|------|--------------|------------------------------------|-------------------|
| kde: | R | ohmický odpor | $[\Omega]$ |
| | ρ | měrný odpor | $[\Omega mm^2/m]$ |
| | s | průřez vodiče | $[mm^2]$ |
| | l | délka vodiče | $[m]$ |
| | I | zdánlivý proud protékající vodičem | $[A]$ |

Pro všechny typy vedení však platí, že v ustáleném stavu musí být zachována rovnost mezi energií dodávanou vedení (tepelné Jouleovy ztráty) a energií vyzařovanou vedením. Rovnicí lze tuto rovnost zapsat následovně:

$$P_{JZ} = \frac{\Delta\vartheta_m}{T} \quad [W] \quad (1.10)$$

$$\Delta\vartheta_m = \vartheta_m - \vartheta_0 \quad [K] \quad (1.11)$$

$$T = T_1 + T_2 + \dots + T_n = \sum_{i=1}^n T_i \quad [K/W] \quad (1.12)$$

kde: $\Delta\vartheta_m$ maximální dovolené oteplení vedení [K]

T tepelný odpor [K/W]

ϑ_m maximální přípustná provozní teplota vedení (resp. izolace) [K]

ϑ_0 teplota okolí [K]

T_i tepelný odpor jednotlivých vrstev vedení (jádro, izolace, stínění, plášť) [K/W]

1.1.3 Kontrola účinků zkratových proudů

Každé vedení je třeba dimenzovat s vědomím, že může dojít ke zkratu a návrh tedy musí brát v úvahu případné následky. Ty jsou v zásadě dva a oba jsou způsobeny prudkým nárůstem proudu (i několikanásobně vyšším než je jmenovitý). Za prvé se jedná o prudké zvýšení teploty vodiče. Za druhé se jedná o mechanické namáhání (ohyb) v důsledku nárůstu magnetické indukce resp. intenzity magnetického pole. Než budou oba následky blíže rozebrány, je třeba znát hodnotu počátečního rázového zkratového výkonu S_k'' proudu I_k'' , ze kterého je pak dále možné dopočítat velikosti ekvivalentního oteplovacího proudu I_{ke} popř. I_{th}^1 a nárazového zkratového proudu I_{km} . [9],

$$I_k'' = k \cdot \frac{U_{výp}}{Z_k} \quad [A] \quad (1.13)$$

$$U_{výp} = c \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3}} \quad [V] \quad (1.14)$$

$$S_k'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k'' \quad [VA] \quad (1.15)$$

$$I_{ke} = k_e \cdot I_k'' \quad [A] \quad (1.16)$$

¹Jedná se o to, podle které normy je ekvivalentní oteplovací proud určován. ČSN 33 3020 používá I_{ke} , zatímco I_{th} používá norma ČSN 33 3040

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m + n} \quad [A] \quad (1.17)$$

$$I_{km} = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad [A] \quad (1.18)$$

| | | | |
|------|-------------|--|--------------|
| kde: | k | koeficient respektující druh zkratu | [–] |
| | c | napěťový součinitel pro výpočet zkratových proudů | [–] |
| | Z_k | impedance vedení v závislosti na druhu zkratu | [Ω] |
| | U_n | jmenovité (sdružené) napětí | [V] |
| | k_e | koeficient respektující dobu zkratu | [–] |
| | m | koeficient respektující vliv stejnosměrné složky, (0; 1,8) | [–] |
| | n | koeficient respektující zánik střídavých složek, (0; 1) | [–] |
| | K | koeficient nárazového zkratového proudu | [–] |

Tepelné účinky zkratových proudů

Jak již bylo zmíněno výše, během zkratu dochází ke skokovému nárůstu proudu a proto i průběh změny teploty je velmi strmý. Vzhledem k rychlosti celého děje ho lze považovat za děj adiabatický, tedy děj, při kterém nedochází k výměně tepla (energie) s okolním prostředím. Z tohoto důvodu lze předpokládat, že veškeré uvolněné teplo bude absorbováno vodičem (kovem). Vedení se tedy oteplí z provozní teploty ϑ_z maximálně na dovolenou teplotu vedení po zkratu ϑ_k .

K určení oteplení vodiče způsobeného zkratem jsou normativně předepsány následující předpoklady: [9]

- neuvažuje se vliv magnetického pole vlastního vodiče (skinefekt) ani vliv magnetického pole blízkých paralelních vodičů (proximityefekt)
- závislost elektrického odporu na teplotě je lineární
- měrné teplo vodiče je konstantní
- nepočítá se s odvodem tepla (adiabatický ohřev)

Z těchto předpokladů lze odvodit vztah pro minimální průřez vodiče s_{min} . Celé odvození je blíže popsáno v literatuře [9].

$$s_{min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0 \cdot (\vartheta_f + 20)}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_z}}} \quad [mm^2] \quad (1.19)$$

$$\vartheta_f = \frac{1}{\alpha_0} \quad [K] \quad (1.20)$$

| | | | |
|------|---------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| kde: | I_{ke} | ekvivalentní oteplovací proud | [A] |
| | t_k | doba zkratu | [s] |
| | c_0 | specifické teplo vodiče při 0 °C | [Jm ⁻³ K ⁻¹] |
| | ρ_{20} | specifický měrný odpor při 20 °C | [Ωmm ² /m] |
| | ϑ_f | fiktivní teplota | [K] |
| | ϑ_k | přípustná teplota vodiče po zkratu | [K] |
| | ϑ_z | provozní teplota vodiče | [K] |
| | α_0 | teplotní součinitel odporu | [K ⁻¹] |
| | I_{ke} | ekvivalentní oteplovací proud | [A] |

Mechanické (dynamické) účinky zkratových proudů

Průchod elektrického proudu vodičem vytváří magnetické pole o intenzitě H v závislosti na vzdálenosti od vodiče a . Spolu s intenzitou pak roste i magnetická indukce B , jež vyvolává sílu F , kterou na sebe vzájemně působí dva vodiče. Pro rozvody trojfázové soustavy je pak uváděn vztah pro výpočet síly F_m působící mezi vodiči.

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot a} \quad [A/m] \quad (1.21)$$

$$\vec{B} = \mu_0 \cdot H \quad [T] \quad (1.22)$$

$$\vec{F} = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha \quad [N] \quad (1.23)$$

$$\vec{F}_m = 2 \cdot k \cdot \frac{I_{km}^2}{a_m} \cdot l \cdot 10^{-7} \quad [N] \quad (1.24)$$

| | | | |
|------|---------------|---------------------------|-------|
| kde: | I | proud protékající vodičem | [A] |
| | a | vzdálenost od vodiče | [m] |
| | μ_0 | permeabilita vakua | [H/m] |
| | l | délka vodiče | [m] |

| | | |
|----------------|---|-----|
| α | úhel svíraný vodičem a směrem magnetické indukce | [°] |
| k | koeficient respektující uspořádání vodičů ² | [-] |
| a_m | účinná vzdálenost mezi vodiči respektující uspořádání a tvar průřezu vodiče | [m] |

Z předešlých vztahů se dále odvozují ohybové síly působící na vedení, které opět nesmějí překročit přípustnou mez. Touto problematikou se blíže zabývá literatura [9] resp. normy ČSN 33 3040 Zkratové proudy – Výpočet účinku – část 1: Definice a výpočetní metody, ČSN 38 1754 Dimenzování elektrického zařízení podle účinku zkratových proudů a ČSN 33 3020 Výpočet poměru při zkratech v trojfázové elektrizační soustavě. V normách jsou pak uvedeny i tabulky a grafy, z nichž lze odečíst přesné hodnoty jednotlivých koeficientů.

1.1.4 Kontrola mechanických účinků

Při projektování veškerých nových vedení je třeba brát do úvahy i jejich mechanické vlastnosti a místní klimatické podmínky. V tomto směru mají určitou výhodu kabelová vedení, která nejsou po uložení do země prakticky vůbec mechanicky namáhána a i klimatické podmínky jsou po celou dobu roku, resp. životnosti, téměř neměnné. Proto je u těchto vedení zohledňována především zátěž, jíž je kabel vystaven při pokládce.

U venkovních vedení je však situace úplně jiná, neboť vodiče jsou vystaveny nejen zatížení způsobenému tíhovou silou, ale i namáhání v podobě klimatických podmínek.

Při počítání účinků tíhové síly na venkovní vedení lze za průhybovou křivku uvažovat řetězovku³, nebo parabolu⁴. Celá mechanika výpočtu působení sil na jednotlivé dílčí segmenty vodiče je poměrně komplikovaná a její odvození lze nalézt ve skriptech doc. Ing. Jaroslavy Orságové, Ph.D.[9]

² Pro trojfázovou soustavu platí: v uspořádání rovinném pro krajní vodiče $k = 0,81$ a pro prostřední vodič $k = \sqrt{3}/2$; v uspořádání do rovnostranného trojúhelníka $k = 0,85$; pro výpočet síly mezi vodiči jedné fáze $k = 1$.

³ Toto nahrazení je nejpřesnější a využívá se v případech větších rozestupů stožárů, nebo při velkých sklonech terénu.

⁴ Tento postup je snazší pro výpočet a využívá se pouze u menších vzdáleností s malým sklonem.

Mezi klimatické podmínky, mající největší vliv na mechanické vlastnosti venkovních vedení, jsou pak řazeny zejména tyto:

- teplota vzduchu (minimální, maximální)
- námraza
- vítr
- bouřky

Teplota

Během oteplování vodiče dochází k prodlužování vodiče, což vede ke zvětšování průhybu a tím i ke snižování namáhání vodiče v tahu. Při teplotách nad 80 – 90 °C, v závislosti na použitých materiálech, se navíc snižuje i pevnost vodiče. Naopak pokud teplota klesá, délka vedení se zkracuje a průhyb se zmenšuje, tedy napětí v tahu roste.

Z klimatického hlediska má na teplotu vodiče vliv především sluneční záření, teplota vzduchu a proudění vzduchu. V našich klimatických podmínkách je rozpětí teploty udáváno v rozsahu –30 až +40 °C.

Námraza

K tvorbě námrazy dochází při teplotní inverzi, což způsobuje značné přídavné zatížení vodičů. Rozlišujeme několik druhů námrazy a podle složení je označujeme: jíní, jinovatka, krystalická námraza, zrnitá námraza a ledovka. Jejich měrná hmotnost se pohybuje v rozsahu 200 – 900 kg/m³. Českou republiku rozděluje norma ČSN 33 3300 do čtyř tzv. námrazových oblastí (L, S, T, K) a určuje standardní tloušťku námrazku t spolu s přídavným zatížením g_2 v závislosti na průměru vodiče d . Dále norma určuje tzv. zvětšenou námrazu g_{2Z} , a to v závislosti na velikosti g_2 . Velikost námrazku se statisticky sleduje na měřící tyči o průměru $d = 30 \text{ mm}$. Výpočet hmotnosti námrazku vychází z předpokladu, že námraza na vodiči má tvar soustředného mezikruží o tloušťce t , jež není závislá na průřezu vodiče. Navíc je počítáno s měrnou hmotností námrazku $\gamma_2 = 400 \text{ kg/m}^3$.

Při výpočtech zatížení vodičů se místo hmotnosti na metr délky vedení využívá přetížení z , které je definováno jako poměr hmotnosti vodiče zatíženého námrazou a vodiče bez námrazy.[12]

$$z = \frac{g_1 + g_2}{g_1} \quad [-] \quad (1.25)$$

kde: g_1 váha čistého vodiče [kg]

g_2 váha námrazku [kg]

Vítr

Vítr působí na vodiče, stožáry a základny stožárů. Síly, které jsou vytvářeny větrem, jsou v čase velmi proměnlivé a závisí na mnoha faktorech, především pak na geometrickém tvaru a poloze předmětu vůči směru větru. Tlakové síly působící na vodiče a stožáry jsou pak určeny následujícím vztahem. [12]

$$\vec{F} = a \cdot c \cdot \frac{v^2}{16} \cdot S \cdot \sin \beta \quad [N] \quad (1.26)$$

kde: a součinitel proměnlivosti tlaku větru [-]

c aerodynamický součinitel [Ns²/m⁴]

v rychlost větru [m/s]

S plocha, na niž vítr působí [m²]

β úhel mezi plochou S a směrem větru [°]

Současné působení více vlivů

Při návrhu vedení je třeba brát zřetel i na to, že jednotlivé klimatické vlivy mají náhodný charakter a jejich součinnost pak tvoří počasí v daném místě a čase. Z těchto důvodů jsou normou ČSN 33 3300 stanoveny základní stavy počasí, na které je třeba provést kontrolu vedení. Jsou to: [12], [9]

- $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, bezvětří, normální námraza. Pro tento stav počasí se počítá namáhání a průhyb, jedná se o základní stav počasí.
- $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, vítr, bez námrazy. Pro tento stav počasí se počítá namáhání, průhyb a vychýlení vodičů větrem, jedná se o základní stav počasí.
- $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, bez větru. Pokud je trvalé proudové zatížení větší než 80 % proudové zatížitelnosti I_{dov} podle ČSN 34 1020, uvažuje se též oteplení vodiče proudem - uvažuje se teplota $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro tento stav počasí se počítá maximální průhyb.

- $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, bez větru, bez námrazy. Pro tento stav počasí se počítá namáhání a síly působící na izolátory při největším zkrácení vodiče.
- $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, vítr, normální námraza. Pro tento stav počasí se počítá namáhání a vzdálenosti vodičů.
- $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, bez větru, zvětšená námraza. Pro tento stav počasí se počítá maximální namáhání vodičů při rozpětí větším než 50 m .

Pro tyto případy se dále kontroluje namáhání a průhyb vodičů, přičemž namáhání vodičů σ nesmí překročit maximální přípustné hodnoty σ_{dov} , uvedené v normě ČNS 33 3300.

Vibrace

V důsledku vzdušných vírů vznikají vibrace na vodiči, které mohou mít za následek únavové lomy. U spletených lan používaných na venkovních vedeních se postupně lámou jednotlivé vodiče.

Vibrace vznikají v závislosti na více faktorech. Rychlost větru je pro výskyt vibrací nejpříznivější v rozmezí $0,5 - 10\text{ m/s}$. Úhel, pod kterým vítr působí na vodič, musí být $45 - 90^{\circ}$, aby se vibrace dlouhodobě udržely. Naopak pokud je tento úhel menší než 30° , k vibracím nedochází. Dalším parametrem je charakter terénu. Pro vznik vibrací jsou ideální volná rovinná prostranství (např. pole, louky atd.), zatímco kopcovitý, zarostlý terén vibracím brání. Zásadní roli hraje také délka úseku lana, na němž vibrace zkoumáme. Čím delší je rozpětí stožárů, tím větší je pravděpodobnost výskytu vibrací.

Je jasné, že vibracím na vodiči se snažíme zabránit, a proto zavádíme dva druhy ochrany: aktivní a pasivní.

Mezi aktivní ochrany řadíme jednak antivibrační lana, jednak tlumiče. Účelem těchto ochrany je zabraňovat tvorbě vibrací. Antivibrační lana jsou založena na principu složení dílčích vodičů, které jsou nataženy různými silami. Proto jsou pak jejich vlastní kmitočty rozdílné a nemůže dojít ke společnému kmitání celého lana. Takováta lana jsou však velmi drahá a nákladná je i jejich montáž. Naproti tomu tlumiče jsou jednoduchá přídatná zařízení, která kmitají se stejnou frekvencí jako vlastní vodič, ale s fázovým posunem. Tím dochází k zeslabení vibrací. Nejčastějšími konstrukcemi tlumičů jsou kývavá, pružinová, pneumatická, páková. [12]

Pasivní ochrany zmírňují nepříznivé dopady, jež jsou vibrováním způsobeny. Do této kategorie spadají: lehké svorky, festony, pomocná lana a tlumící obaly. Lehké svorky z hliníku lépe snášejí dopady vibrací než klasické těžké svorky. Volně zavěšeným lanům kolem svorek a upevněných v místech kmitny se říká festony. Ty zmírňují kmitání především u svorek. Pomocná lana připojená k vedení v různých délkách jsou vhodná zvláště u dlouhých rozpětí. Poslední z pasivních ochranných opac jsou tlumící obaly, které se skládají z pružných drátů a přejímají na sebe část namáhání svorek.

1.1.5 Kontrola úbytku napětí

Jedná se o kontrolu rozdílu napětí vedení na jeho začátku a konci. De facto můžeme říci, že je to napětí na svorkách zdroje, od kterého odečteme napětí na svorkách spotřebiče. Vzhledem k tomu, že velikost napětí je jedním z ukazatelů kvality elektrické energie, nesmí úbytek napětí přesáhnout přípustnou mez, jež je stanovena pro jednotlivé druhy koncových zařízení. Tato dovolená hodnota je zpravidla udávána jako procentuální vyjádření vzhledem k napětí zdroje (začátku vedení). Konkrétně jsou úbytky napětí stanoveny normou ČSN 33 0120. Výpočet úbytku se pak odvíjí od typu rozvodu.

1.1.5.1 Vedení stejnosměrného napětí

Jednoduché vedení napájené z jedné strany

Pro jednoduchá vedení s odběrem na konci můžeme napsat: [12]

$$\Delta U = U_1 - U_2 = R \cdot I \quad [V] \quad (1.27)$$

kde: ΔU úbytek napětí na vedení [V]

U_1 napětí na začátku vedení [V]

U_2 napětí na konci vedení [V]

R odpor vedení [Ω]

I proud procházející vedením [A]

Jsou-li však odběry rozmístěny po celé délce vedení, musíme počítat s proudovými momenty a výsledná rovnice bude vypadat následovně:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot \rho}{s} \cdot \sum_{i=1}^n l_i \cdot \left(\sum_{j=i}^n I_j \right) \quad [V] \quad (1.28)$$

| | | | |
|------|------------------|--|-----------------------------------|
| kde: | ΔU | úbytek napětí na vedení | [V] |
| | ρ | měrný odpor | $[\Omega \text{mm}^2 / \text{m}]$ |
| | s | průřez vodiče | $[\text{mm}^2]$ |
| | l_i | délka i -tého úseku vedení (mezi odběry) | [m] |
| | I_j | j -tý odběr | [A] |

Jednoduché vedení napájené ze dvou stran

V případě vedení napájeného ze dvou stran, je situace o něco složitější. Je totiž třeba nejprve určit napájecí proudy a následně nalézt místo, kde se oba proudy střetávají. V tomto bodě bude maximální úbytek napětí. Pak můžeme pro výpočet použít vztah (1.28) a sečíst tak od jednoho z konců úbytky vzniklé na jednotlivých částech vedení. Je zřejmé, že ať začneme úbytky napětí sčítat z kterékoli strany, výsledný maximální úbytek bude stejný.

Paprskově rozvětvené sítě napájené z jednoho bodu

Počítáme-li maximální úbytky napětí v paprskové síti, musíme určit úbytky ve všech koncových bodech, neboť z logiky věci vyplývá, že právě v jednom⁵ z koncových uzlů bude nejvyšší hodnota úbytku. Výpočet pak můžeme provádět přímo, tedy opět sčítat úbytky na dílčích částech vodiče, nebo využít zjednodušujících metod. Více lze nalézt v [12].

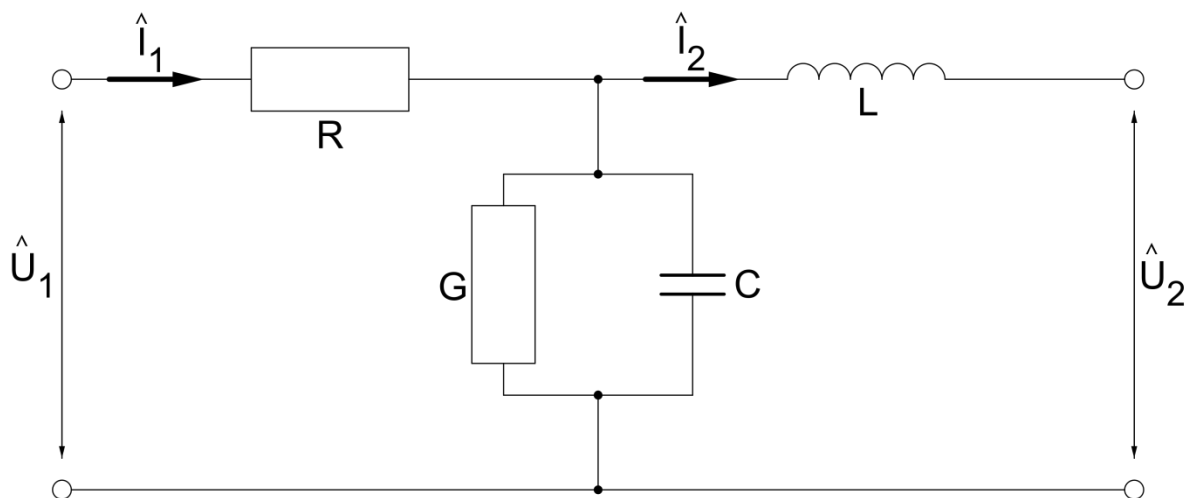
Sítě s mnoha odběry a více napájecími uzly

Při řešení složitějších sítí, kdy topologie není zcela ryzí, ale je kombinovaná, nám nezbyvá nic jiného, než spočítat úbytky ve všech uzlech a nalézt maximum.

1.1.5.2 Vedení střídavého napětí

Při výpočtu úbytků napětí v soustavách střídavého napětí je třeba vycházet z náhradního schématu vedení. To můžeme nahradit čtyřpólem, jenž musí zohledňovat činný odpor R , indukčnost L , kapacitu C a svod G . Dílčí část vedení tedy znázorníme jako T-článek.

⁵ Teoreticky může nastat situace, kdy maximální úbytek napětí bude shodný pro více koncových bodů, nicméně v praxi je pravděpodobnost takové možnosti téměř nulová.



Obrázek 1 - Náhradní schéma vedení jako T-článek

Vedení nízkého napětí

V rozvodech nn můžeme počítat pouze s činným odporem, protože ostatní parametry se téměř neprojeví. Jediný rozdíl oproti vedení stejnosměrnému je tak pouze v tom, že zátěž způsobuje určitý fázový posun mezi napětím a proudem. Tento posun je většinou induktivního charakteru (např. motory, žárovky, svářečky aj.), ale není to pravidlem. Typickými spotřebiči kapacitního charakteru jsou zářivky a výbojky.

Výsledný vztah pro výpočet je tedy:[5]

$$\Delta U_f = R \cdot I \cdot \cos \varphi = \frac{\rho \cdot l}{s} \cdot I \cdot \cos \varphi \quad [V] \quad (1.29)$$

$$\Delta U_s = \sqrt{3} \cdot R \cdot I \cdot \cos \varphi = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot l}{s} \cdot I \cdot \cos \varphi \quad [V] \quad (1.30)$$

| | | | |
|------|----------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| kde: | ΔU_f | fázové napětí | [V] |
| | ΔU_s | sdužené napětí | [V] |
| | R | činný odpor | [Ω] |
| | I | zdánlivý proud tekoucí vodičem | [A] |
| | ρ | měrný odpor vodiče | [$\Omega \text{mm}^2 / \text{m}$] |
| | l | délka vodiče | [m] |
| | s | průřez vodiče | [mm^2] |
| | $\cos \varphi$ | účinník | [-] |

Vedení vysokého napětí

U vedení vn je třeba brát v úvahu už i velikost induktivní reaktance. Úbytek napětí určíme jako součin celkové impedance a zdánlivého proudu, nebo jako rozdíl absolutních hodnot fázorů napětí na začátku a na konci vedení.

$$\Delta U_f = Z \cdot I \quad [V] \quad (1.31)$$

$$\Delta U_f = Z \cdot I = (R + jX) \cdot (I_\xi - jI_j) \quad [V] \quad (1.32)$$

$$\Delta U_f = R \cdot I_\xi + X \cdot I_j + j(X \cdot I_\xi - R \cdot I_j)$$

| | | | |
|------|--------------------|--------------------------------|--------------|
| kde: | ΔU_f | fázové napětí | [V] |
| | Z | impedance | [Ω] |
| | I | zdánlivý proud tekoucí vodičem | [A] |
| | R | činný odpor | [Ω] |
| | X | induktivní reaktance | [Ω] |
| | I_ξ | činný proud tekoucí vodičem | [A] |
| | I_j | jalový proud tekoucí vodičem | [A] |
| | j | imaginární jednotka | [–] |

Vzhledem k tomu, že jalové úbytky způsobené činným odporem a induktivní reaktancí působí proti sobě, jejich účinky se téměř vyruší.[12] Proto je můžeme ve výpočtu zanedbat a vztah (1.32) zjednodušit na tvar:[5]

$$\Delta U_f = R \cdot I_\xi + X \cdot I_j = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi \quad [V] \quad (1.33)$$

| | | | |
|------|--------------------|-----------------------------------|--------------|
| kde: | ΔU_f | fázové napětí | [V] |
| | I | zdánlivý proud tekoucí vodičem | [A] |
| | R | činný odpor | [Ω] |
| | X | induktivní reaktance | [Ω] |
| | I_ξ | činný proud tekoucí vodičem | [A] |
| | I_j | jalový proud tekoucí vodičem | [A] |
| | φ | fázový posun proudu oproti napětí | [°] |

Vedení velmi vysokého napětí

Při dimenzování vvn vedení je již potřeba pracovat nejen s činným odporem a indukční reaktancí, ale i s kapacitou a svodem. Z těchto důvodů zavádíme tzv. podélnou impedanci \hat{Z} a příčnou admitanci \hat{Y} . [12]

$$\hat{Z} = R + jX \quad [\Omega/km] \quad (1.34)$$

$$\hat{Y} = G + jB \quad [S/km] \quad (1.35)$$

kde: R činný odpor $[\Omega/km]$

X induktivní odpor $[\Omega/km]$

G svod $[S/km]$

B kapacitní vodivost $[S/km]$

Dále určujeme míru přenosu \hat{p} :

$$\hat{p} = \sqrt{\hat{Z} \cdot \hat{Y}} = \sqrt{(R + jX) \cdot (G + jB)} \quad [km^{-1}] \quad (1.36)$$

kde: \hat{p} míra přenosu $[km^{-1}]$

R činný odpor $[\Omega/km]$

X induktivní odpor $[\Omega/km]$

G svod $[S/km]$

B kapacitní vodivost $[S/km]$

Parametr \hat{p} je obecně komplexní číslo, a proto jej můžeme zapsat ve tvaru:

$$\hat{p} = a + jb \quad [km^{-1}] \quad (1.37)$$

kde: a činitel útlumu $[km^{-1}]$

b fázový činitel $[km^{-1}]$

Ještě je třeba určit vlnovou impedanci \hat{Z}_v :

$$\hat{Z}_v = \sqrt{\frac{\hat{Z}}{\hat{Y}}} = \sqrt{\frac{R + jX}{G + jB}} \quad [\Omega] \quad (1.38)$$

kde: \hat{Z}_v vlnová impedance $[\Omega]$

R činný odpor $[\Omega/km]$

X induktivní odpor $[\Omega/km]$

G svod $[S/km]$

B kapacitní vodivost

[S/km]

Nyní již můžeme pomocí předchozích vztahů stanovit parametry vedení na začátku resp. na konci vedení.

$$\hat{U}_1 = \hat{U}_2 \cdot \cosh(\hat{p} \cdot l) + \hat{Z}_v \cdot \hat{I}_2 \cdot \sinh(\hat{p} \cdot l) \quad [V] \quad (1.39)$$

$$\hat{I}_1 = \hat{I}_2 \cdot \cosh(\hat{p} \cdot l) + \frac{\hat{U}_2}{\hat{Z}_v} \cdot \sinh(\hat{p} \cdot l) \quad [A] \quad (1.40)$$

$$\hat{U}_2 = \hat{U}_1 \cdot \cosh(\hat{p} \cdot l) - \hat{Z}_v \cdot \hat{I}_1 \cdot \sinh(\hat{p} \cdot l) \quad [V] \quad (1.41)$$

$$\hat{I}_2 = \hat{I}_1 \cdot \cosh(\hat{p} \cdot l) - \frac{\hat{U}_1}{\hat{Z}_v} \cdot \sinh(\hat{p} \cdot l) \quad [A] \quad (1.42)$$

kde: \hat{U}_1 napětí na začátku vedení [V]

\hat{I}_1 proud na začátku vedení [A]

\hat{U}_2 napětí na konci vedení [V]

\hat{I}_2 proud na konci vedení [A]

\hat{p} míra přenosu [km⁻¹]

l délka vedení [km]

\hat{Z}_v vlnová impedance [Ω]

Detailnější rozbor této problematiky lze nalézt v [12].

1.1.6 Porovnání vlastností kabelových a venkovních vedení

V České republice jsou využívána především venkovní vedení, a to i přes stále větší snahu o zachování původního rázu přírody, jež je v jednoznačném rozporu s vytvářením liniových staveb. Toto „zadrátování“ naší republiky je dáno především z historických důvodů, nicméně ani dnes není přílišná snaha tento trend měnit. Důvodem jsou především dva argumenty. Za prvé venkovní vedení je levnější na stavbu, a to především kvůli velmi drahým výkopovým pracím. A druhým důvodem pro stavbu venkovních vedení je relativně jednoduchý přístup ke všem částem v případě poruchy. Dříve pak mohly být ještě potíže s přenosem velkých proudů, ale v dnešní době již není problém vyrobit kabel navržený pro použití na napěťové hladině 400 kV, což je nejvyšší používané napětí v ČR.

Kabelová vedení jsou užívána téměř výhradně ve městech, kde by venkovní provedení překáželo, ať už z důvodů estetických či praktických.

Obecně je pak možné říci, že z hlediska elektrických vlastností je hlavním rozdílem mezi venkovním a kabelovým vedením geometrickém uspořádání vodičů. Jedním z důsledků, které z tohoto vyplývají, je, že venkovní vedení je induktivního charakteru, zatímco kabelová vedení jsou charakteru kapacitního. Indukčnost venkovního vedení se pohybuje přibližně v rozmezí $0,9 - 1 \text{ mH/km}$, kdežto u kabelů je tato hodnota přibližně třetinová $0,3 - 0,4 \text{ mH/km}$. Naopak provozní kapacita je u venkovních vedení velmi malá, zhruba $0,012 - 0,013 \text{ }\mu\text{F/km}$, což je dvacetkrát méně v porovnání s provozní kapacitou $0,2 - 0,25 \text{ }\mu\text{F/km}^6$ u kabelového vedení.

1.2 Ekonomická kritéria – hospodárny průřez

V předchozích kapitolách byla rozebrána technická kritéria, která jsou na vedení, a to ať už venkovní či kabelová, vyžadována. Nyní se zaměřím na ekonomickou efektivitu výstavby a provozu nových sítí.

Při výstavbě nových úseků vedení je třeba dbát na minimalizaci nákladů při současném zachování kvality a příslušných norem.

Klíčovým parametrem při dimenzování je materiál, z něhož má být vedení vyrobeno, a spolu s ním i průřez a uspořádání vodičů. Kvalitnější materiály s nižším odporem, vyšší mechanickou odolností a dalšími lepšími vlastnostmi jsou dražší. Průřez ovlivňuje potřebné množství vybraného materiálu, tudíž náklady na materiál jsou přímo úměrné průřezu vodiče. Na druhou stranu se zvyšujícím se průřezem klesá činný odpor a tím i ztráty vzniklé Jouleovým teplem⁷.

Při výpočtu hospodárneho průřezu vycházíme z následujících předpokladů:[12]

- Nerozhodujeme o tom, zda posuzované vedení má, či nemá být postaveno, ale rozhodujeme pouze o velikosti průřezu \Rightarrow vyloučení nulové varianty.
- Varianty se neliší přenášeným výkonem a prací.

⁶ Všechny velikosti indukčností a kapacit jsou zde uvedeny pro vedení 400 kV . Hodnoty jsou přeřaty ze zdroje [2].

⁷ Ztráty jsou ovlivněny napětovou hladinou, na níž bude přenos elektřiny probíhat. Čím vyšší bude napětí, tím nižší bude přenášený proud a tedy i ztráty tímto proudem způsobené. Zároveň však budou větší náklady na izolaci. V praxi se však volba napětí řeší jen výjimečně, protože existují doporučené napětové hladiny v závislosti na přenášeném výkonu a délce vedení.

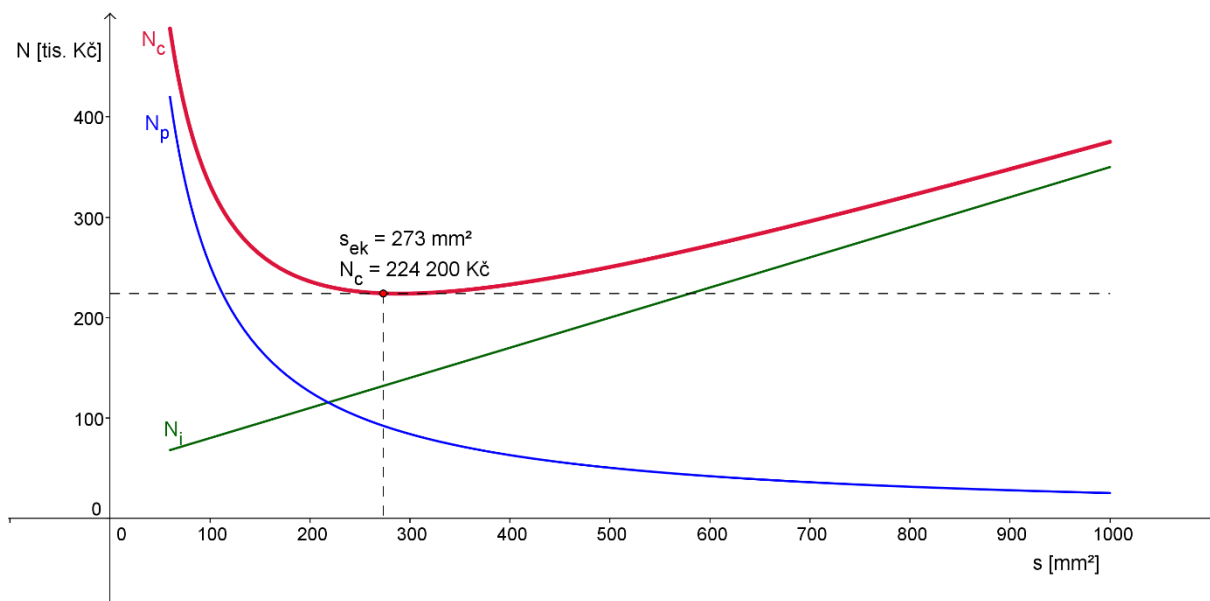
- Varianty posuzujeme ze systémového hlediska bez ohledu na subjekt investování, jeho vztah ke státnímu rozpočtu a způsob financování projektu. Ekonomické hodnocení je tedy provedeno se zahrnutím veškerého vloženého kapitálu, jehož cena představuje tzv. opportunity cost, tedy náklady ušlé příležitosti investovaných prostředků, bez ohledu na jejich původ.
- Ekonomické životnosti všech posuzovaných variant jsou si rovny, tudíž dobu porovnání můžeme uvažovat stejnou jako dobu životnosti a jako kritérium použít minimum diskontovaného toku výdajů kumulovaného za dobu životnosti.

Základní dělení výdajů je na investiční a provozní. Proto kritérium při odvozování hospodárného průřezu vypadá následovně: [12]

$$N_{vT_{\dot{z}}} = \sum_{t=1}^{T_{\dot{z}}} \frac{N_{pt}}{(1+r)^t} + N_{ip} = MIN \quad [K\check{c}] \quad (1.43)$$

| | | | |
|------|--------------------------|---|-------|
| kde: | $N_{vT_{\dot{z}}}$ | diskontovaný součet výdajů za životnost | [Kč] |
| | N_{ip} | porovnávací investiční výdaje (viz (1.44)) | [Kč] |
| | N_{pt} | provozní náklady vynaložené v t -tém roce | [Kč] |
| | $T_{\dot{z}}$ | doba životnosti | [rok] |
| | t | pořadová čísla let doby životnosti | [-] |
| | r | diskont | [-] |

Hledání minima součtu provozních a investičních výdajů dobře ilustruje obrázek 2.



Obrázek 2 - Závislost nákladů na průřezu vodiče

1.2.1 Investiční náklady

Vlastní výstavba může trvat několik let a investiční náklady jsou pak v těchto letech rozloženy. Navíc může nastat situace, že doba výstavby přesahuje do provozu, tedy vedení je v provozu, ačkoliv ještě nejsou dokončeny všechny činnosti, které s projektem souvisejí. Z tohoto důvodu se pro výpočet využívá tzv. investičních porovnávacích výdajů, které vyjadřují diskontovaný součet výdajů jednotlivých let k určitému časovému okamžiku (roku), nejčastěji k roku uvedení vedení do provozu. Tyto investiční porovnávací výdaje N_{ip} tedy lze vypočítat jako: [12]

$$N_{ip} = \sum_{T=1}^{T_v} \frac{N_{iT}}{(1+r)^{T+\Delta T-T_v}} \quad [\text{Kč}] \quad (1.44)$$

| | | | |
|------|------------------|--|-------|
| kde: | N_{iT} | investiční výdaje vynaložené v t -tém roce | [Kč] |
| | T_v | doba výstavby | [rok] |
| | ΔT | přesah doby výstavby do provozu | [rok] |
| | T | pořadová čísla let doby výstavby | [–] |
| | r | diskont | [–] |

Využitím předchozího vztahu (1.44) lze kritérium (1.43) převést na následující tvar:

$$N_{vT_z} = \sum_{t=1}^{T_z} \frac{N_{pt}}{(1+r)^t} + N_{ip} = MIN \quad [Kč] \quad (1.45)$$

| | | | |
|------|------------------|---|-------|
| kde: | N_{vT_z} | diskontovaný součet výdajů za životnost | [Kč] |
| | N_{pT} | provozní náklady vynaložené v t -tém roce | [Kč] |
| | N_{ip} | investiční porovnávací výdaje | [Kč] |
| | T_z | doba životnosti | [rok] |
| | t | pořadová čísla let | [-] |
| | r | diskont | [-] |

Investiční výdaje pak lze rozdělit na tři hlavní komponenty. Jedná se o výdaje na zaústění, které nejsou závislé ani na průřezu, ani na délce vedení, a o výdaje na vlastní výstavbu. Ty jsou závislé na délce vedení a dělí se na výdaje závislé na průřezu vedení, např. množství potřebného materiálu a výdaje nezávislé na průřezu, např. výkopové práce. Z těchto úvah můžeme zapsat následující rovnost: [12]

$$N_{ip} = N_{za} + l \cdot (m + n \cdot s) \quad [Kč] \quad (1.46)$$

| | | | |
|------|----------------|---|--|
| kde: | N_{za} | výdaje na zaústění | [Kč] |
| | l | délka vedení | [m] |
| | m | měrné investiční náklady na vedení, nezávislé na průřezu | [Kč/m] |
| | n | měrné investiční náklady na vedení, závislé na průřezu | $\left[\frac{Kč}{m \cdot mm^2} \right]$ |
| | s | průřez vedení | [mm ²] |

1.2.2 Provozní náklady

Podobně jako investiční náklady, můžeme rozdělit na části i provozní výdaje. Provozní výdaje lze v jednotlivých letech rozdělit na stálé a proměnné, resp. fixní a variabilní. Stálými náklady jsou náklady na opravu a údržbu, zatímco pod pojmem variabilních nákladů jsou myšleny náklady na ztráty, tedy:[12]

$$N_{pt} = N_{out} + N_{zt} \quad [Kč] \quad (1.47)$$

kde: N_{pt} provozní náklady v t -tém roce [Kč]

N_{out} náklady na opravu a údržbu v t -tém roce [Kč]

N_{zt} náklady na ztráty v t -tém roce [Kč]

Výdaje na opravu a údržbu považujeme za nezávislé na průřezu, zatímco náklady na ztráty jsou nepřímo úměrné průřezu.[12]

$$N_{zt} = \frac{3 \cdot \rho \cdot l}{10^3 \cdot s} \cdot I_{mt}^2 \cdot n_{mt}(k_{mt}, j, T_{zt}) \quad [Kč] \quad (1.48)$$

kde: I_{mt} maximální zdánlivý proud tekoucí vodičem v t -tém roce [A]

ρ měrný odpor vodiče [$\Omega mm^2/m$]

l délka vodiče [m]

s průřez vodiče [mm^2]

n_{mt} marginální náklady k ocenění ztrát na vedení jako funkce (k_{mt}, j, T_{zt}) [Kč/kW]

k_{mt} koeficient účasti maxima ztrát na maximu soustavy [-]

j napěťová hladina [-]

T_{zt} doba plných ztrát [h]

1.2.3 Odvození hospodárného průřezu

Jak již bylo zmíněno výše, volba hospodárného průřezu by měla zajistit minimalizaci celkových nákladů, tedy minimalizaci součtu investičních a provozních nákladů. Dosadíme-li vztahy (1.46), (1.47) a (1.48) do kritéria (1.45), získáme závislost celkových nákladů na průřezu.

$$N_{vT_z} = \sum_{t=1}^{T_z} \frac{N_{out} + \frac{3 \cdot \rho \cdot l}{10^3 \cdot s} \cdot I_{mt}^2 \cdot n_{mt}}{(1+r)^t} + N_{za} + l \cdot (m + n \cdot s) = MIN \quad [Kč] \quad (1.49)$$

Vzhledem k tomu, že hledáme minimum, musí být první derivace rovna nule:

$$\frac{dN_{vT_z}}{ds} = l \cdot n - \frac{3 \cdot \rho \cdot l}{10^3 \cdot s^2} \cdot \sum_{t=1}^{T_z} \frac{I_{mt}^2 \cdot n_{mt}}{(1+r)^t} = 0 \quad [Kč/mm^2] \quad (1.50)$$

Je zřejmé, že délka vedení l bude nenulová, a proto jí můžeme celou rovnici vydělit. Odsud pak lze snadno vyjádřit hospodárny průřez:

$$s_{ek} = \sqrt{\frac{3 \cdot \rho \cdot \sum_{t=1}^{T_z} \frac{I_{mt}^2 \cdot n_{mt}}{(1+r)^t}}{10^3 \cdot n}} \quad [mm^2] \quad (1.51)$$

Tento výraz můžeme zjednodušit za předpokladu, že doba plných ztrát a koeficient účasti maxima na maximu soustavy se v průběhu doby životnosti nebudou měnit. Tím totiž zajistíme konstantní marginální náklady k ocenění ztrát. A budeme-li navíc predikovat maximální zatížení exponenciálním trendem⁸, můžeme náklady na ztráty za celou dobu životnosti vyjádřit následovně:

$$\begin{aligned} N_{zT_z} &= \sum_{t=1}^{T_z} \frac{\frac{3 \cdot \rho \cdot l}{10^3 \cdot s} \cdot I_{mt}^2 \cdot n_m}{(1+r)^t} = \frac{3 \cdot \rho \cdot l \cdot n_m}{10^3 \cdot s} \cdot \sum_{t=1}^{T_z} \frac{I_{mt}^2}{(1+r)^t} = [Kč] \quad (1.52) \\ &= \frac{3 \cdot \rho \cdot l \cdot n_m}{10^3 \cdot s} \cdot I_{m1}^2 \cdot k_N \end{aligned}$$

kde: k_N ⁹ složený zásobitel druhého řádu [-]

Výpočet (1.51) pro hospodárny průřez se pak zjednoduší a můžeme psát:[12]

$$s_{ek} = I_{m1} \sqrt{\frac{3 \cdot \rho \cdot n_m \cdot k_N}{10^3 \cdot n}} \quad [mm^2] \quad (1.53)$$

Pokud by byl roční nárůst zatížení nulový, neboli bylo by maximální zatížení konstantní v průběhu let, pak by výsledný vztah byl:

$$s_{ek} = I_{m1} \sqrt{\frac{3 \cdot \rho \cdot n_m}{10^3 \cdot n \cdot a_{T_z}}} \quad [mm^2] \quad (1.54)$$

kde: a_{T_z} annuity za dobu životnosti (převrácená [-]
hodnota zásobitele)

⁸ Předpokládáme, že zatížení poroste o x % ročně.

⁹ Složený zásobitel druhého řádu vyplývá ze součtu geometrické řady:

$$\sum_{t=1}^{T_z} \frac{I_{mt}^2}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^{T_z} \frac{I_{m1}^2 \cdot (1+x)^{2t-2}}{(1+r)^t} = I_{m1}^2 \cdot \frac{\frac{(1+x)^{2T_z} - (1+r)^{T_z}}{(1+r)^{T_z}}}{\frac{(1+x)^2 - (1+r)}{1+r}} = I_{m1}^2 \cdot k_N$$

2 Vstupní parametry

V předchozí kapitole bylo ukázáno, jak se odvozuje vzorec pro hospodárný průřez vedení. Z tohoto vztahu jednoznačně vyplývá, které vstupy jsou zohledněny při jeho výpočtu. V dalších podkapitolách budu rozebírat jednotlivé parametry, jež mají vliv na cenu vedení, a to ať už se jedná o náklady investiční nebo provozní. Dále se pokusím rozklíčovat, zda daný parametr je zahrnut ve výpočtu pro ekonomický průřez, či nikoliv.

U parametrů, které dle mého názoru nebudou nedostatečně zakomponovány, nebo dokonce vůbec uváženy ve výpočtech pro hospodárný průřez vedení, se následně v kapitole *Opce a jejich identifikace* pokusím jejich vliv dodatečně ocenit pomocí reálných opcí.

2.1 Průřez

Průřez je pochopitelně základní parametr, jenž se odvíjí od technických požadavků, které jsou na vodič kladeny a byly již blíže popsány v předchozích kapitolách. Nicméně se nemohu oprostít od myšlenky, že klíčovou roli pro správný výběr požadovaného průřezu hraje predikce budoucího vývoje proudového zatížení. V této oblasti se domnívám, že existuje ještě velký potenciál ke zlepšení a tím pádem i k úsporám.

Podle mého názoru by velmi prospělo šetření, jehož cílem by byla co nejpřesnější predikce nárůstu zatížení v oblastech, které budou napájeny ze zamýšleného vedení. K tomuto účelu bych doporučil stochastický odhad na základě několika faktorů. Tyto faktory bych rozdělil do těchto tematických skupin: demografické, geografické a sociální.

Tyto podrobnější pohledy mi v obecně rozšířeném vztahu pro hospodárný průřez chybí, proto se jimi budu dále zabývat v další části své práce, kde je budu započítávat ve formě reálných opcí.

2.2 Délka

Délka je bezesporu parametrem nejvíce ovlivňujícím cenu vedení. Je tedy zajímavé, že ji hospodárný průřez vůbec nebere do úvahy. Proto je vždy třeba provést kontrolu na dovolený úbytek napětí. Obecně je třeba vypočítat všechny minimální průřezy, myšleno podle technických norem (viz kapitoly 1.1.1 až 1.1.5), a dále určit hospodárný průřez. Následně je z těchto hodnot vybráno maximum, které již určuje onen neekonomičtější

a zároveň technicky přípustný průřez. V praxi se pak ukazuje, že hospodárný průřez je prakticky vždy větší, než průřezy které jsou dány technickými předpisy. Výjimku tvoří kontrola dovoleného úbytku napětí.

Jak jsem uvedl výše, zásadním problémem je odhad budoucího vývoje odběrů, proto jsem přesvědčen o tom, že zejména u krátkých úseků by mohla chyba této predikce, a tím způsobené zvýšení provozních nákladů, převýšit nad úsporami, jež byly ušetřeny instalací menšího průřezu.

2.3 Materiál

Vedení spadá do kategorie tzv. liniových staveb, tak jako například silnice, železnice, plynovody aj. U všech těchto staveb je třeba vypořádat se s problematikou materiálů. V dnešní době již existuje řada materiálů, jež mohou být využity při řešení konkrétních projektů.

U venkovních vedení je dnes využíváno různých velikostí AlFe lan, tedy vodičů, které mají uprostřed ocelovou duši a kolem ní jsou namotány hliníkové svazky. Ocel zde hraje roli nositele, který má mnohem lepší mechanické vlastnosti, zatímco hliník plní funkci vodiče díky svým vynikajícím elektrotechnickým parametrům.

U kabelových vedení, která nepodléhají tak vysokému mechanickému namáhání bývá materiálem buď hliník, nebo měď. Existují však i další materiály, kterých je k výstavbě vedení třeba. U venkovních se jedná především o stožáry a jejich betonové základy. U kabelových pak musíme započítat písek, jímž se vedení obvykle obsypává z důvodu ochrany před mechanickým poškozením.

Cena materiálu by měla být již zahrnuta v měrných investičních nákladech, tedy i ve výpočtu hospodárného průřezu.

2.4 Pronájmy těžké techniky

Nedílnou součástí všech velkých stavebních projektů, mezi něž výstavba vedení nepochybně patří, je těžká technika. Snadno si můžeme představit, že k postavením stožárů venkovního vedení a natažení vodičů jsou zapotřebí velké síly. Je tedy jasné, že jeřáby, bagry, ale třeba i nákladní automobily jsou základem každého plánovaného rozvoje sítě. Proto je již

při projektování třeba brát zřetel na to, jaká technika bude k realizaci výstavby nezbytná a kolik finančních prostředků si její zajištění vyžádá. Tato úvaha je pochopitelně základem zdrojové analýzy, nicméně by na to nemělo být zapomínáno ani při prvotních výpočtech ekonomické efektivity.

Je otázkou do jaké míry a zda vůbec jsou náklady spojené s pronájemy těžké techniky zahrnuté do vztahu pro výpočet hospodárného průřezu, neboť tyto náklady budou zcela jistě nelineárně závislé na délce budovaného vedení.

2.5 Lidská práce

V neposlední řadě je třeba do celkových nákladů výstavby a provozu zakomponovat cenu lidské práce. Každý, kdo bude na projektu pracovat, bude také chtít za svou práci zaplatit. Domnívám se, že při výpočtech ekonomické efektivity je tento parametr poněkud podceňován. Můžeme si sice představit, že platy zaměstnancům a vnějším dodavatelům jsou zakomponovány v měrných investičních nákladech, avšak to by znamenalo, že tyto platy jsou lineárně závislé na délce vedení, což by dávalo smysl, jednalo-li by se např. o výkopové práce. Existuje ale celá řada pracovních pozic, jejichž honorář bude na délce buď zcela nezávislý, nebo závislý, nicméně naprosto nelineárně. Příkladem takového pracovního postu může být projektant, který bude nepochybně chtít určitý fix a k tomu částku závislou na rozsahu projektu.

3 Opce a jejich identifikace pro hospodárny průřez

Ze všeho nejdříve bych zde rád rozebral, co to vlastně opce jsou a jaké základní druhy opcí rozlišujeme. Dále zde ukáži, jaké známe odvozené druhy opcí a jak vzniknou. Vždy se totiž jedná o kombinaci dvou opcí základních.

Na závěr kapitoly pak ještě nadefinuji reálné opce, které se od těch běžných výrazně liší svou podstatou.

3.1 Základní druhy opcí

Slovo opce vzniklo z anglického option, tedy možnost. Původně se tedy jednalo o finanční derivát, který dával právo (možnost) koupit či prodat určité množství daného aktiva za předem stanovenou cenu. Podkladovým aktivem bývají nejčastěji akcie, akciové indexy, zahraniční měny, dluhopisy, komodity a dokonce i jiné finanční deriváty jako futures a swapy [8].

Rozlišujeme dva základní typy opcí: call opce (kupní) a put opce (prodejní). Call opce dává držiteli právo koupit za stanovenou cenu k určitému datu podkladové aktivum. Put opce dává naopak svému držiteli právo prodat podkladové aktivum za stanovenou cenu k určitému datu. Toto datum se nazývá datem expirace nebo dobou splatnosti a domluvené ceně se říká realizační cena.

Opce můžeme dělit na typ evropský a americký. Toto pojmenování nesouvisí s geografickou polohou obchodování, ale s dobou, kdy mohou být uplatněny. Evropské opce mohou být uplatněny pouze k datu expirace, zatímco opce amerického typu mohou být uplatněny kdykoliv od její koupě až do doby splatnosti.

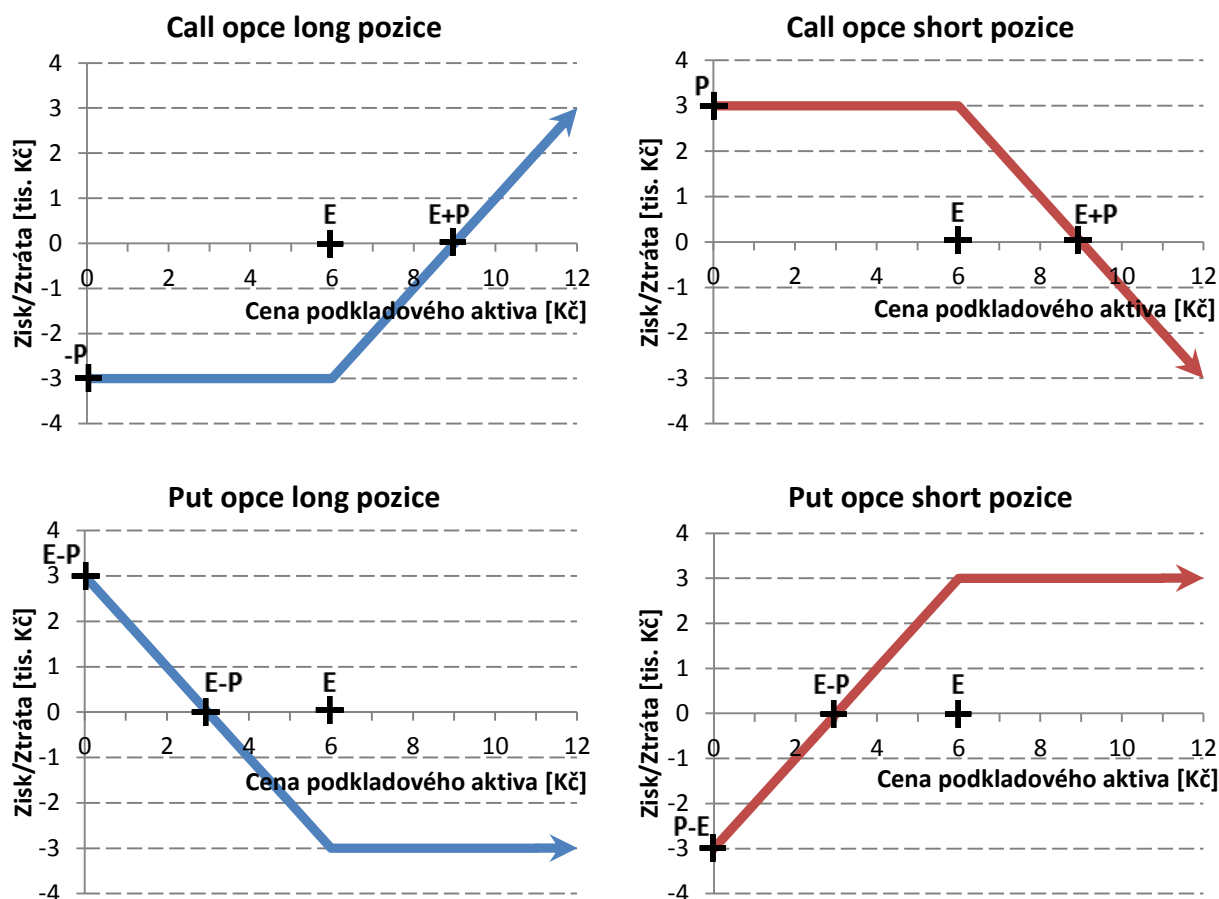
Při opčním obchodování jsou vždy dvě strany: Kupující (držitel opce) a prodávající (vypisovatel opce). Pozice držitele se nazývá dlouhá (long) pozice, naopak vypisovatel se nachází v tzv. krátké (short) pozici [8].

Při opčních obchodech se tak objevují čtyři základní pozice, vzniklé možnými kombinacemi výše uvedených dvou dělení. Jsou to:

- long pozice v call opci,
- short pozice v call opci,

- long pozice v put opci,
- short pozice v put opci.

Na obrázku níže jsou zachyceny výnosy jednotlivých pozic v závislosti na ceně podkladového aktiva (S_T) k datu expirace.



Graf 1 - Zisk/ztráta v závislosti na ceně podkladového aktiva pro základní druhy opcí

3.1.1 Pozice zisků a ztrát a hodnota opce

Pro jednotlivé pozice v opčním obchodování můžeme vyjádřit zisk, resp. ztrátu v závislosti na ceně podkladového aktiva (S_T), realizační ceně (E) a opční prémii (P), což je cena, za níž jsme opci koupili, resp. prodali.

Pozice zisků a ztrát z pozice držitele (long) call opce: [11]

$$Z = -P + \max(0; S_T - E) \cdot n \quad [Kč] \quad (1.55)$$

kde: Z celkový zisk nebo ztráta [Kč]

P opční prémie [Kč]

S_T okamžitá cena podkladového aktiva [Kč/ks]

v čase splatnosti T

E sjednaná realizační cena opce [Kč/ks]

n počet kusů podkladového aktiva, na [ks]

které je opce uplatňována

Pozice zisků a ztrát z pozice vypisovatele (short) call opce:

$$Z = P - \max(0; S_T - E) \cdot n \quad [Kč] \quad (1.56)$$

Pozice zisků a ztrát z pozice držitele (long) put opce:

$$Z = -P + \max(0; E - S_T) \cdot n \quad [Kč] \quad (1.57)$$

Pozice zisků a ztrát z pozice vypisovatele (short) put opce:

$$Z = P - \max(0; E - S_T) \cdot n \quad [Kč] \quad (1.58)$$

Vnitřní hodnota opce¹⁰ (V_c resp. V_p) je potřebná pro výpočet její ceny a je adekvátní pozici zisků a ztrát z pohledu držitele opce, kde opční prémie je nulová, tedy: [11]

$$V_c = \max(0; S_T - E) \quad [Kč] \quad (1.59)$$

kde: V_c hodnota call (kupní) opce [Kč]

$$V_p = \max(0; E - S_T) \quad [Kč] \quad (1.60)$$

kde: V_p hodnota put (prodejní) opce [Kč]

¹⁰ Obvykle se používá pouze výraz *hodnota opce*.

3.1.2 Určení cen opcí

Metodik k určení cen opcí je hned několik.

Metoda založená na zabezpečené pozici

Tato metoda je založena na nákupu takového portfoliového mixu skládajícího se z podkladového aktiva (zpravidla akcií) a kupních opcí, který vlastníkově zajišťuje výnos zcela nezávisle na ceně podkladového aktiva. Hodnota tohoto výnosu odpovídá hodnotě bezrizikového výnosu. Základní vztah lze zapsat v následujícím tvaru: [11]

$$x \cdot S_0 - y \cdot P_c = \frac{x \cdot H_{a1} - y \cdot H_{o1}}{1 + r_f} = \frac{x \cdot H_{a2} - y \cdot H_{o2}}{1 + r_f} \quad [K\check{c}] \quad (1.61)$$

| | | | |
|------|----------------|--------------------------------|---------|
| kde: | x | počet akcií | [ks] |
| | y | počet vypsanych call opcí | [ks] |
| | S_0 | aktuální cena akcie | [Kč/ks] |
| | P_c | cena call opce | [Kč/ks] |
| | H_{a1} | hodnota akcie pro stav okolí 1 | [Kč/ks] |
| | H_{a2} | hodnota akcie pro stav okolí 2 | [Kč/ks] |
| | H_{o1} | hodnota opce pro stav okolí 1 | [Kč/ks] |
| | H_{o2} | hodnota opce pro stav okolí 2 | [Kč/ks] |
| | r_f | bezrizikový výnos | [-] |

V této rovnici jsou známé všechny vstupní veličiny, až na cenu opce, kterou tak můžeme snadno vyjádřit:

$$P_c = h \cdot S_0 - \frac{h \cdot H_{a1} - H_{o1}}{1 + r_f} \quad [K\check{c}/ks] \quad (1.62)$$

| | | | |
|------|----------------|--|---------|
| kde: | P_c | cena call opce | [Kč/ks] |
| | h | zajišťovací poměr $\left(h = \frac{x}{y} = \frac{H_{o1} - H_{o2}}{H_{a1} - H_{a2}} \right)$ | [-] |
| | S_0 | aktuální cena akcie | [Kč/ks] |
| | H_{a1} | hodnota akcie pro stav okolí 1 | [Kč/ks] |
| | H_{o1} | hodnota opce pro stav okolí 1 | [Kč/ks] |
| | r_f | bezrizikový výnos | [-] |

Metoda neutrality proti riziku

Vychází z teoretického předpokladu, že každou investici lze zajistit proti riziku, tudíž výnos každé takovéto investice bude roven bezrizikovému výnosu. K odvození pak použijeme stejné parametry jako u předchozí metody. [11]

$$r_f = p_1 \cdot \frac{H_{a1} - S_0}{S_0} + p_2 \cdot \frac{H_{a2} - S_0}{S_0} \quad [-] \quad (1.63)$$

| | | | |
|------|----------------|--------------------------------|---------|
| kde: | r_f | bezrizikový výnos | [-] |
| | p_1 | pravděpodobnost stavu okolí 1 | [-] |
| | p_2 | pravděpodobnost stavu okolí 2 | [-] |
| | H_{a1} | hodnota akcie pro stav okolí 1 | [Kč/ks] |
| | H_{a2} | hodnota akcie pro stav okolí 2 | [Kč/ks] |
| | S_0 | aktuální cena akcie | [Kč/ks] |

Součet pravděpodobností p_1 a p_2 musí být roven 1. Proto můžeme za p_1 dosadit $1 - p_2$, resp. za p_2 dosadit $1 - p_1$ a dopočítat obě pravděpodobnosti. [11]

$$p_1 = \frac{S_0 \cdot (1 + r_f) - H_{a2}}{H_{a1} - H_{a2}} \quad [-] \quad (1.64)$$

$$p_2 = \frac{H_{a1} - S_0 \cdot (1 + r_f)}{H_{a1} - H_{a2}} \quad [-] \quad (1.65)$$

Očekávaná budoucí hodnota opce pak bude dána součtem svých budoucích hodnot vynásobených příslušnými pravděpodobnostmi. Matematický zápis vypadá následovně:

$$P_{Fc} = p_1 \cdot H_{o1} + p_2 \cdot H_{o2} \quad [-] \quad (1.66)$$

| | | | |
|------|----------------|-------------------------------------|-----|
| kde: | P_{Fc} | očekávaná budoucí hodnota call opce | [-] |
| | H_{o1} | hodnota opce pro stav okolí 1 | [-] |
| | H_{o2} | hodnota opce pro stav okolí 2 | [-] |

Nyní stačí za pravděpodobnosti p_1 a p_2 dosadit vztahy (1.64) a (1.65) a dále pomocí diskontování bezrizikovým výnosem nalézt současnou hodnotu této opce.

$$P_c = \frac{p_1 \cdot H_{o1} + p_2 \cdot H_{o2}}{1 + r_f} = \dots = h \cdot S_0 - \frac{h \cdot H_{a1} - H_{o1}}{1 + r_f} \quad [-] \quad (1.67)$$

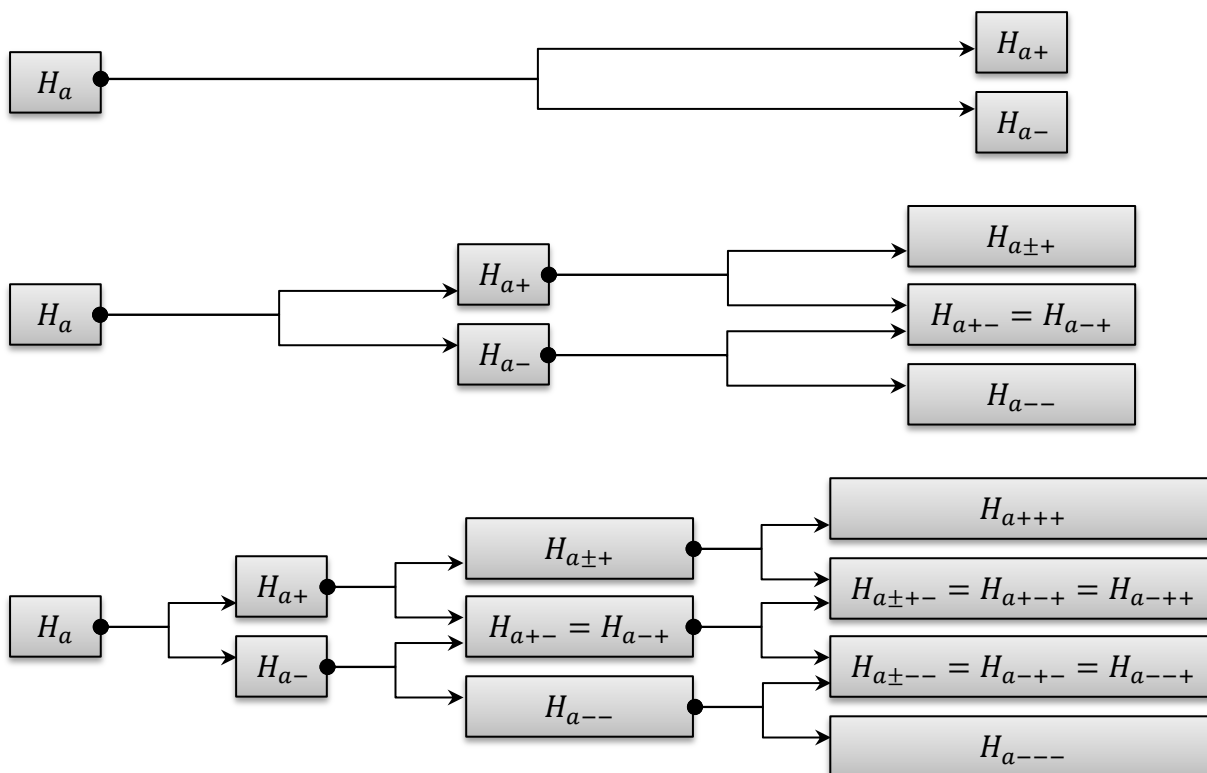
kde: P_c cena call opce [Kč/ks]

h zajišťovací poměr $\left(h = \frac{x}{y} = \frac{H_{o1} - H_{o2}}{H_{a1} - H_{a2}} \right)$ [-]

Jak je vidět, výsledný vztah je shodný s výrazem (1.62).

Obecná binomická metoda

Až doposud jsme pracovali pouze se dvěma stavy světa. Předpokládali jsme, že hodnota aktiva se změní jednou za dobu expirace opce. Binomické modelování ceny opce však dovoluje tento pohled poněkud rozšířit. Umožňuje nám totiž vícekrát měnit hodnotu akcie do doby splatnosti a tím pádem může akcie nabývat v době expirace výrazně vyšší variability hodnot.



Obrázek 3 - Vývoj hodnot aktiva pro stále kratší časové úseky

Jak je patrné z obrázku 3, předpokládáme, že nárůsty a poklesy ceny akcie jsou symetrické. Nezávisí tedy na pořadí poklesů a vzrůstů, ale pouze na jejich celkovém počtu. Toto zjednodušení se zavádí kvůli dramatickému snížení počtu možných výsledných stavů¹¹ a tedy pro zjednodušení výpočtů.

Díky těmto zjednodušujícím podmínkám můžeme psát následující vztahy: [11]

$$1 + \frac{H_{a+} - H_a}{H_a} = \frac{H_{a+}}{H_a} = u \quad [-] \quad (1.68)$$

$$1 + \frac{H_{a-} - H_a}{H_a} = \frac{H_{a-}}{H_a} = d \quad [-] \quad (1.69)$$

$$u = \frac{1}{d} \quad [-] \quad (1.70)$$

| | | | |
|------|----------------|---|------|
| kde: | H_a | současná cena akcie | [Kč] |
| | H_{a-} | cena akcie po jednom časovém intervalu – pokles | [Kč] |
| | H_{a+} | cena akcie po jednom časovém intervalu – vzrůst | [Kč] |
| | u | poměrové vyjádření vzrůstu hodnoty akcie (up) | [-] |
| | d | poměrové vyjádření poklesové hodnoty akcie (down) | [-] |

Je-li třeba vypočítat hodnoty akcií pro různě dlouhé časové intervaly, můžeme využít následující vztah:

$$u = e^{\sigma\sqrt{dt}} \quad [-] \quad (1.71)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{dt}} \quad [-] \quad (1.72)$$

| | | | |
|------|----------------|--|-----|
| kde: | e | Eulerovo číslo | [-] |
| | σ | směrodatná odchylka ročních výnosů akcie | [-] |
| | dt | interval jako poměrová část roku | [-] |

¹¹ Redukce je z původních 2^n na $n + 1$; kde n je počet časových intervalů.

Pravděpodobnost, že dojde ke vzrůstu, resp. poklesu ceny akcie, vychází z předpokladu, že součin vzrůstu, resp. poklesu hodnoty akcie s příslušnými virtuálními pravděpodobnostmi musí být roven bezrizikovému výnosu. Matematicky lze tuto rovnost zapsat následovně:

$$p_u \cdot u + p_d \cdot d = 1 + r_f \quad [-] \quad (1.73)$$

$$p_d = 1 - p_u \quad [-] \quad (1.74)$$

$$p_u = \frac{1 + r_f - d}{u - d} \quad [-] \quad (1.75)$$

kde: p_u pravděpodobnost vzrůstu ceny akcie [-]

p_d pravděpodobnost poklesu ceny akcie [-]

r_f bezrizikový výnos [-]

Obecná trinomická metoda

Velmi podobně jako binomická metoda funguje i trinomická metoda. Jediným rozdílem je to, že v každém uzlu příslušného rozhodovacího stromu existuje kromě možností poklesu a vzrůstu ještě třetí varianta, a to, že stav zůstane beze změny.

Hodnoty u a d jsou určeny následujícími vztahy: [7]

$$u = e^{\sigma\sqrt{2\Delta t}} \quad [-] \quad (1.76)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{2\Delta t}} \quad [-] \quad (1.77)$$

Podobně je třeba obměnit i virtuální pravděpodobnosti p_u a p_d , s nimiž příslušné stavy nastanou. V tomto případě pak ještě do výpočtu zasahuje pravděpodobnost p_m , tedy pravděpodobnost, že stav zůstane beze změny. [7]

$$p_u = \left(\frac{e^{\frac{r_f \Delta t}{2}} - e^{-\sigma \cdot \sqrt{\frac{\Delta t}{2}}}}{e^{\sigma \cdot \sqrt{\frac{\Delta t}{2}}} - e^{-\sigma \cdot \sqrt{\frac{\Delta t}{2}}}} \right)^2 \quad [-] \quad (1.78)$$

$$p_d = \left(\frac{e^{\sigma \cdot \sqrt{\frac{\Delta t}{2}}} - e^{-\frac{r_f \Delta t}{2}}}{e^{\sigma \cdot \sqrt{\frac{\Delta t}{2}}} - e^{-\sigma \cdot \sqrt{\frac{\Delta t}{2}}}} \right)^2 \quad [-] \quad (1.79)$$

$$p_m = 1 - p_u - p_d \quad [-] \quad (1.80)$$

kde: p_m pravděpodobnost nezměněné ceny akcie [-]

Black-Scholesův vzorec

Ekonomové Fischer Black a Myron Scholes publikovali v roce 1973 článek, kde uvedli cenu opce v závislosti na spojitě očekávané budoucí hodnotě podkladového aktiva. [11] Jde v podstatě o binomický model, kde se délka intervalu limitně blíží nule.

Odvození Black-Scholesova vzorce vychází z následujících předpokladů: [11]

- Jsou známé krátkodobé úrokové míry, které jsou konstantní.
- Ceny akcií jsou naprosto náhodné, mění se spojitě v čase s rozptylem výnosů, který je úměrný druhé mocnině ceny. Potom je distribuční funkce očekávaných cen akcie pro každý konečný časový interval lognormální s konstantní hustotou pravděpodobnosti.
- Z akcie nejsou vypláceny žádné dividendy ani jiné výnosy.
- Opce je evropského typu.
- Transakční náklady jsou nulové.
- Je možné si vypůjčit jakoukoliv částku pro koupi cenného papíru či jeho zlomku za krátkodobou úrokovou míru.
- Krátkodobé prodeje nejsou nijak omezeny. Prodávající, který nevlastní příslušný cenný papír, obdrží od kupujícího částku ve výši aktuální ceny cenného papíru a v určeném časovém budoucím okamžiku zaplatí kupujícímu částku rovnou aktuální ceně cenného papíru v tomto budoucím okamžiku.

Vlastní vzorec pak vypadá takto:

$$V_c = N(d_1) \cdot S_0 - N(d_2) \cdot E \cdot e^{-r_f \cdot (T-t)} \quad [Kč/ks] \quad (1.81)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{E}\right) + \left(r_f + \frac{\sigma^2}{2}\right) \cdot (T-t)}{\sigma \cdot \sqrt{T-t}} \quad [-] \quad (1.82)$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{E}\right) + \left(r_f - \frac{\sigma^2}{2}\right) \cdot (T - t)}{\sigma \cdot \sqrt{T - t}} \quad [-] \quad (1.83)$$

kde: $N(d_1)$ kumulativní pravděpodobnostní rozdělení normované náhodné proměnné [-]

$N(d_2)$ kumulativní pravděpodobnostní rozdělení normované náhodné proměnné [-]

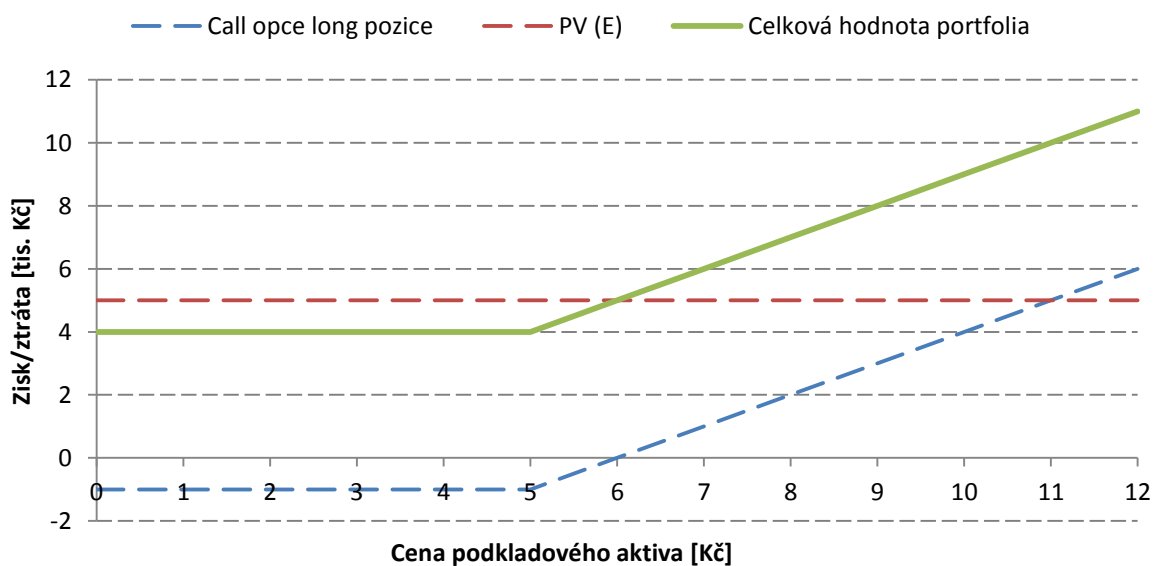
$T - t$ čas do expirace [-]

Parita kupní a prodejní opce

Až doposud byla vždy určována pouze cena kupní opce. Pro opce evropského typu však platí vztah, který převádí hodnotu kupní opce na hodnotu opce prodejní a bývá označován jako parita kupní a prodejní opce.

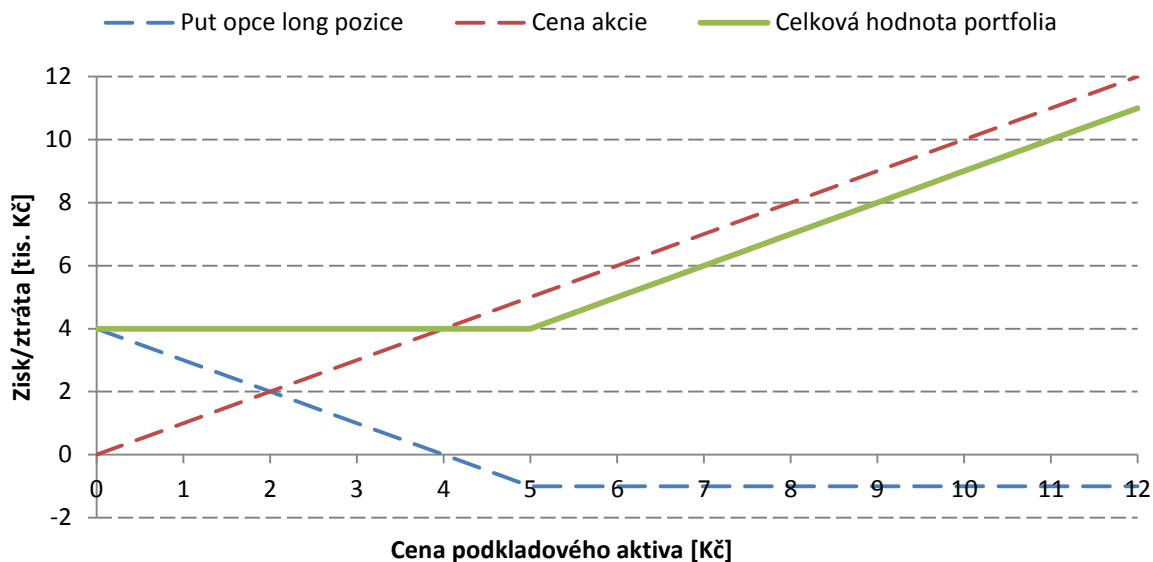
Tento vztah vychází z úvahy, že stejného ekonomického výtěžku lze dosáhnout pomocí dvou různých složení portfolia. [11]

V prvním případě je portfolio tvořeno kupní opcí na akcii a úloškou s bezrizikovým výnosem (např. formou dluhopisu). Velikost této úločky odpovídá současné hodnotě realizační ceny. K datu expirace kupní opce bude tedy hodnota této úločky rovna realizační ceně E . Situace je demonstrována v grafu 2.



Graf 2 - Parita kupní a prodejní opce - složení portfolia 1

V druhém případě je pak portfolio tvořeno samotným podkladovým aktivem (nejčastěji akcií) a prodejní opcí. Toto složení je zachyceno v grafu 3.



Graf 3 - Parita kupní a prodejní opce - složení portfolia 2

Z uvedených grafů již přímo vyplývá vzorec pro evropské opce:

$$V_c + PV(E) = V_p + S_0 \quad [K\check{c}] \quad (1.84)$$

$$V_p = V_c + PV(E) - S_0 \quad [K\check{c}] \quad (1.85)$$

- kde:
- V_c hodnota kupní opce [Kč]
 - V_p hodnota prodejní opce [Kč]
 - $PV(E)$ současná hodnota realizační ceny kupní i
prodejní opce, které jsou shodné, kde je [Kč]
diskont roven bezrizikovému výnosu
 - S_0 cena podkladového aktiva [Kč]

3.2 Další druhy opcí

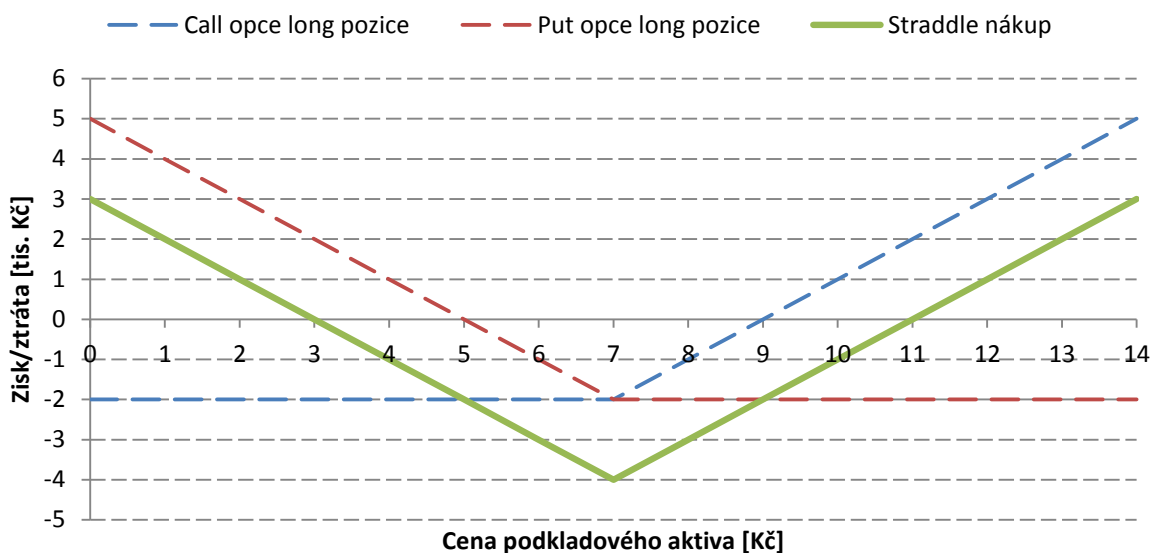
V předchozí kapitole jsem ukázal základní druhy opcí a na obrázcích demonstroval průběhy jednotlivých pozic. Nyní se však nabízí otázka, jestli by nebylo možné nějakým

způsobem se pojistit proti přílišným ztrátám. Samozřejmě to jde a v následujících kapitolách rozeberu různé kombinace opcí.

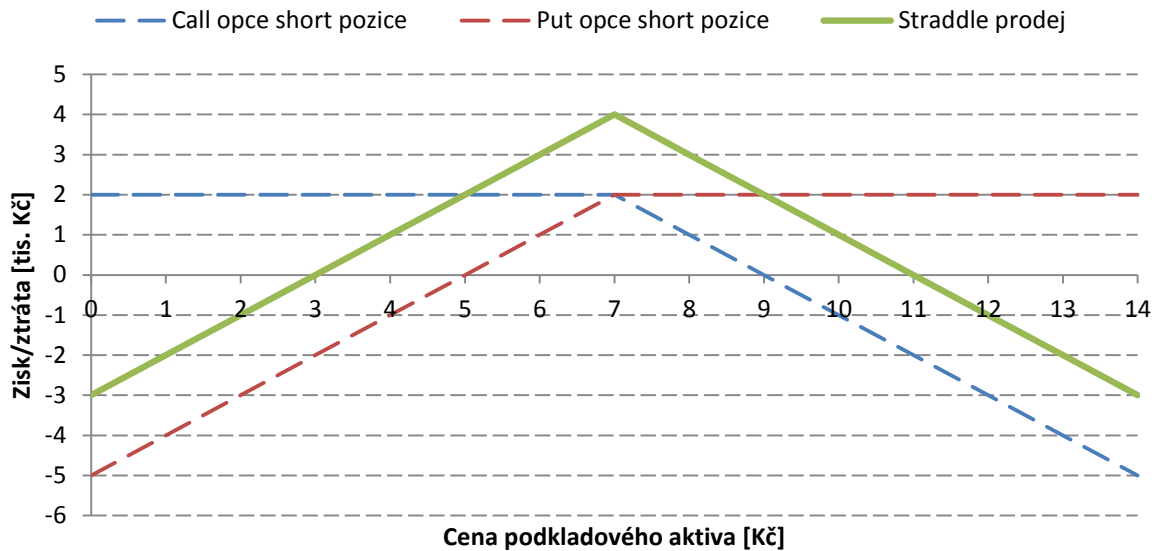
Při psaní těchto podkapitol jsem vycházel z publikace profesora O. Starého. [11]

3.2.1 Straddle

Polici straddle je označována kombinace rovnocenného počtu kupních a prodejních opcí na jedno podkladové aktivum, přičemž obě opce mají stejnou realizační cenu i opční prémii. Je nutné zmínit, že tuto kombinaci lze použít jak v long pozici (spekulace na to, že cena podkladového aktiva se bude lišit od realizační ceny), tak v short pozici (spekulace na to, že cena podkladového aktiva bude realizační ceně co nejbližší). Situace je zachycena na obrázcích níže.



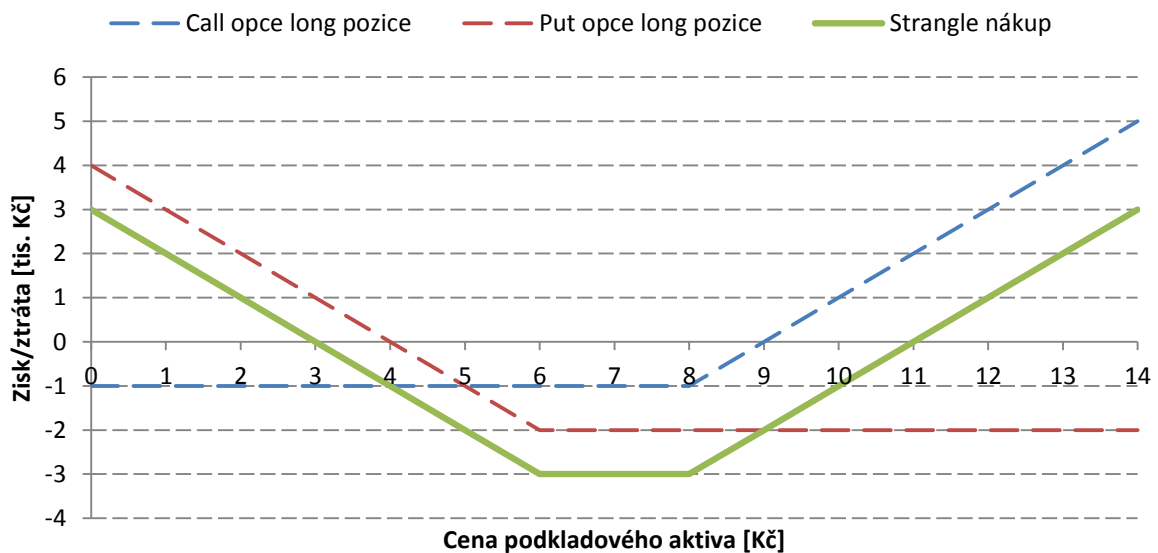
Graf 4 - Strategie straddle - nákup



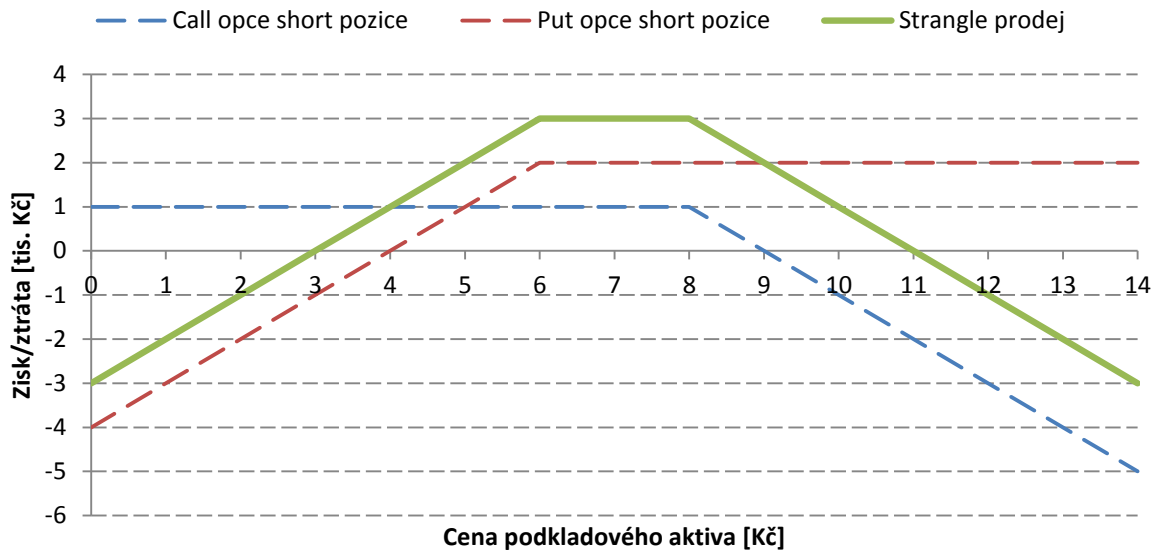
Graf 5 - Strategie straddle - prodej

3.2.2 Strangle

Při strategii strangle je princip podobný jako u strategie straddle. Jediným rozdílem je to, že příslušná dvojice opcí tvořících výsledný mix má odlišnou realizační cenu a opční prémii (stačí, když se liší alespoň jeden z těchto parametrů).



Graf 6 - Strategie strangle - nákup

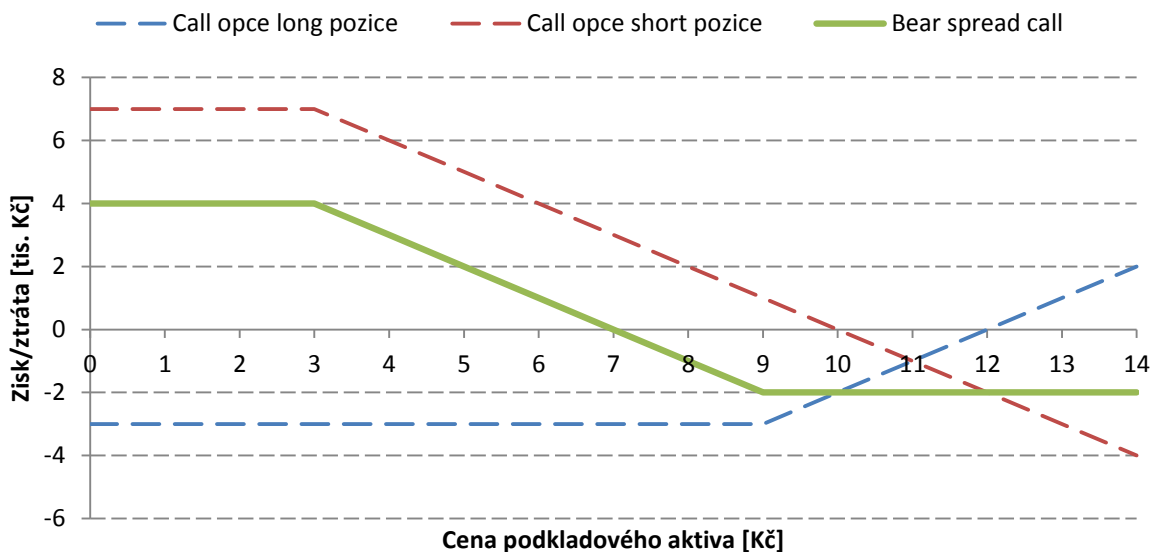


Graf 7 - Strategie strangle – prodej

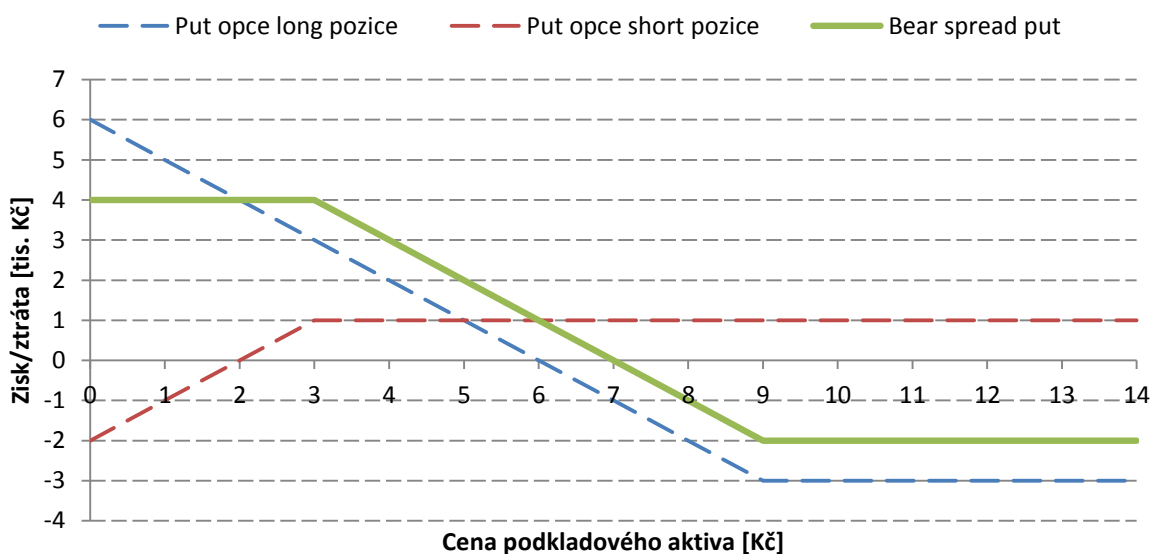
3.2.3 Bear spread

Jedná se o strategii, kdy je nakoupena a prodána opce na tutéž akcii, avšak s rozdílnou realizační cenou. Rozlišujeme zde tedy dva případy. Buď se jedná o kombinaci koupě kupní opce (long call pozice) s vysokou realizační cenou a prodeje kupní opce (short call pozice) na totéž aktivum s nižší realizační cenou. Nebo lze stejného výsledku dosáhnout koupí prodejní opce (long put pozice) s vysokou realizační cenou a prodeje prodejní opce (short put pozice) s nižší realizační cenou. Nezbytností je pochopitelně vždy shodná doba splatnosti.

Jedná se tedy o spekulaci na nízkou cenu podkladového aktiva.



Graf 8 - Bear spread - call



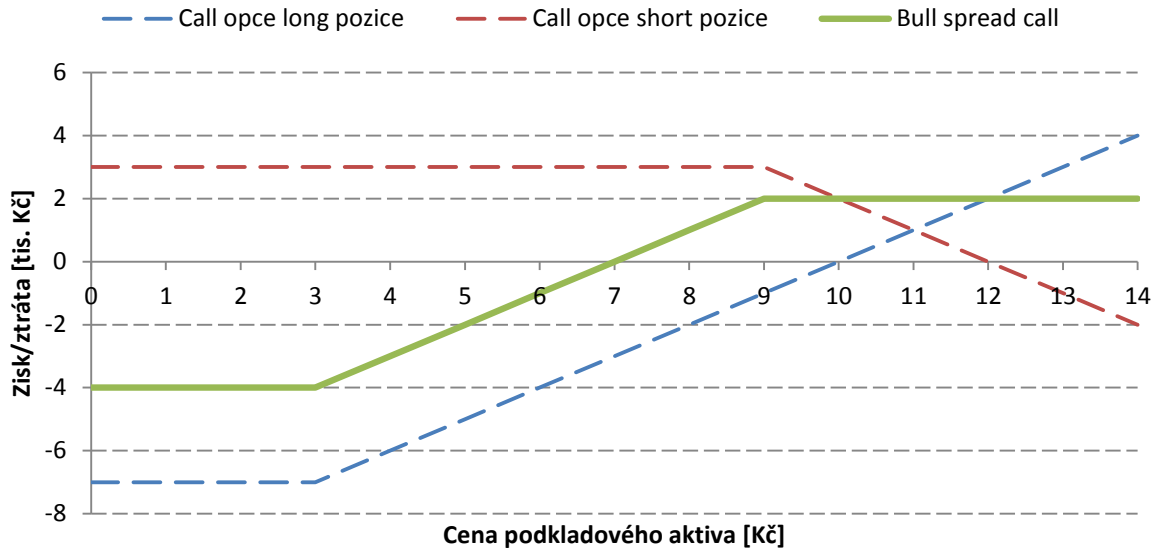
Graf 9 - Bear spread - put

3.2.4 Bull spread

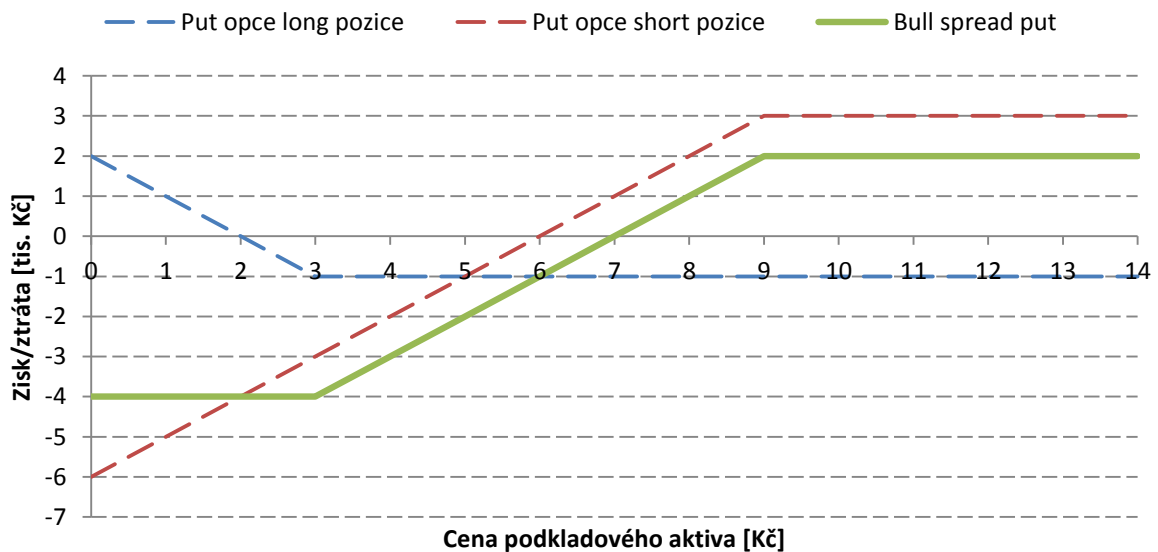
Bull spread je opakem bear spreadu a jde tak o spekulaci na vysokou cenu podkladového aktiva. Opět zde existují dvě možnosti jak dosáhnout téhož výsledku.

První variantou je koupě call opce s nízkou sjednanou cenou a současný prodej téže opce s vysokou realizační cenou. Druhou variantou je koupě prodejní opce s nízkou sjednanou cenou a současný prodej téže opce s vysokou sjednanou cenou.

Platí zde tatáž podmínka jako u bear spreadu, a to že obě akcie mají stejnou dobu expirace.



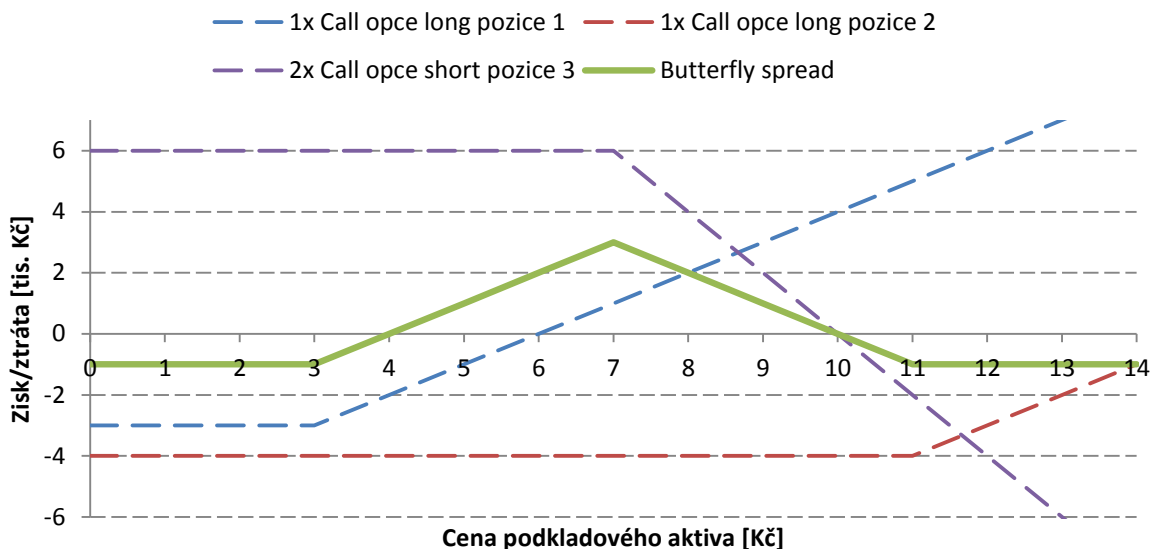
Graf 10 - Bull spread - call



Graf 11 - Bull spread - put

3.2.5 Butterfly spread

Strategie butterfly je vlastně jen kombinací předešlých dvou strategií. Výsledná pozice zisků a ztrát je pak podobná jako u strategií straddle a strangle s tím rozdílem, že v tomto případě je investor chráněn proti příliš vysokým ztrátám. Jedna z možných výsledných závislostí zisků na hodnotě podkladového aktiva je uvedena níže.



Graf 12 - Butterfly spread

3.3 Reálné opce

Reálné opce jsou ve své podstatě nástroj k pojmenování a následnému ocenění určité reálné možnosti. Klasickým příkladem může být situace, kdy podnik, který hledá stavební pozemek k výstavbě nové továrny, zakoupí parcelu záměrně výrazně větší, než jaká by mu v danou chvíli stačila, s tím, že v případě příznivých podmínek na trhu bude moci na volném pozemku postavit další výrobní halu, rozšířit tak výrobu, zvýšit prodeje a tím dosáhnout na vyšší zisky. Z hlediska opcí můžeme takovou situaci nazvat call opcí v long pozici, neboť nyní si firma musí připlatit za větší pozemek (v podstatě se tak jedná o opční prémii), ale existuje tu nenulová pravděpodobnost, že v budoucnu se společnost rozhodne tuto parcelu využít ke svému podnikání. Ukázkou této situace je elektrárna v Počeradech,

kde v areálu starší uhelné elektrárny ze 70. let vyrostla mezi lety 2011 až 2013 nová paroplynová elektrárna¹².

Reálné opce bývají velmi složité, resp. jejich nalezení a zařazení je komplikované. V reálném životě je totiž nespočet možností, jak se zachovat, a je tedy někdy náročné odhadnout, která možnost je reálnou opcí, a která nikoli. Dále je třeba rozhodnout, zda příslušnou opcí má pouze jeden subjekt nebo jestli mají tutéž opcí i ostatní konkurenti na trhu. V neposlední řadě si hodnotitel musí rozmyslet, zda se případně identifikované opce vzájemně ovlivňují a jak. Resp. musí určit všechny předpoklady ovlivňující realizaci dané opce. V případě, že identifikovaná opce vede pouze k získání další opce, hovoříme o tzv. složené opcí. Pokud je výsledkem zkoumané opce přímo zisk, popř. ztráta, označujeme ji jako jednoduchou opcí.

3.4 Opce v hospodárném průřezu

V následujícím textu bych rád rozebral identifikované opce, jež se mi zdají zásadní a měly by tak být podle mého názoru zahrnuty při vlastních výpočtech hospodárního průřezu.

Ve své práci tak budu vždy posuzovat dvě varianty. První variantou bude klasický přístup, kdy budu hledat ekonomický průřez tak, jak je popsán teorií. Druhá varianta pak bude zkoumat velikost hospodárního průřezu se zahrnutím identifikovaných opcí.

3.4.1 Náklady na zásoby

V dnešní době používá distributor elektrické energie na území Prahy (PREdistribuce, a.s.) prakticky pouze jediný průřez. Díky tomu nemusí mít na skladě širokou škálu průřezů a tedy své finanční prostředky, které by jinak musely být vázány v různých velikostech průřezu, může využívat jinak. Proto se domnívám, že tuto opcí lze ocenit pomocí opportunity costs, tedy cenou ztracené příležitosti. Zde se totiž nabízí, že provozovatel distribuční soustavy může peníze uvolněné ze zásob zhodnotit svým obvyklým výnosem.

¹² Kvůli neočekávanému vývoji cen zemního plynu se však společnosti ČEZ tuto novou paroplynovou elektrárnu nevyplatí provozovat.

Dá se předpokládat, že tento výnos bude zcela srovnatelný s hodnotou WACC, resp. s regulovanou mírou výnosnosti předepsanou ERÚ (tato hodnota se pohybuje okolo 6,5 %).

3.4.2 Výkopové práce a uzavírky

Na první pohled by se mohlo zdát, že výkop není opce, neboť je nezbytné jej provést vždy a nezáleží na tom, jaký průřez vodiče bude následně do výkopu položen.

Avšak představme si situaci, že distributor musí připojit nové odběrné místo do své sítě. K tomuto účelu je nezbytné vybudovat nové kabelové vedení a provozovatel distribuční soustavy se rozhodne využít hospodárný průřez. Ovšem po několika málo letech se na toto vedení již bude chtít připojit vyšší množství konečných zákazníků a distributor tak bude donucen výkop znovu otevřít a kabel vyměnit za silnější, tedy znovu investovat do jednou již vybudovaného vedení. Tato situace by mohla velmi dobře nastat především v okrajových částech Prahy, kde se rozrůstají nová satelitní městečka.

Jedná se tedy o možnou úsporu budoucích nákladů. Tím, že již na začátku distributor instaluje silnější průřez, si vlastně kupuje opci na to, že pokud se zvýší odběr, nebude muset provádět opětovný výkop.

3.4.3 Nárůst zatížení

Nejvlivnějším parametrem pro určení nejvhodnějšího průřezu je predikce budoucího vývoje zatížení. Kdyby bylo možné přesně předpovídat vývoj spotřeby elektřiny v jednotlivých oblastech, nebyl by problém určit hospodárný průřez standardní metodou.

Avšak predikce, které existují, vykazují značnou míru nejistoty. Proto pracují se třemi scénáři: nízkým, referenčním a vysokým. Navíc čím více do budoucnosti je předpověď prováděna, tím vyšší je pochopitelně i volatilita výsledků.

Cena opce, počítaná pomocí binomického modelu a vyjadřující možnost budoucího zvýšení odběru, pak bude závislá na směrodatné odchylce σ .

Geografické hledisko

Je důležité uvědomit si, že rozvíjející se okraje Prahy budou nepochybně vykazovat vyšší nejistotu při odhadování budoucí spotřeby, než centrum města, které je zcela

zastavěno. Domnívám se, že z tohoto důvodu je již téměř maximálně energeticky nasyceno, a proto by směrodatná odchylka a spolu s ní i cena opce měly být výrazně nižší.

Sociálně-demografické hledisko

Stejně tak, jako hraje svou roli ve velikosti směrodatné odchylky poloha, bude ji nepochybně hrát také populační křivka a průměrný příjem v jednotlivých lokalitách. Dá se totiž očekávat, že energetická vybavenost na obyvatele (w_{ob}^{13}) bude klesat s rostoucím průměrným věkem a naopak poroste se zvyšujícími se příjmy.

¹³ $w_{ob} = w_{sk}/CPO$; kde w_{sk} je konečná spotřeba energie a CPO je celkový počet obyvatel

4 Upravený vzorec hospodárného průřezu

Nyní spojím znalosti o hospodárném průřezu se znalostí oceňování opcí a ukáži jiný přístup při hledání ekonomického průřezu.

V práci Ing. Jindřicha Foubíka [6] jsem našel vztah, kde se celkové náklady za životnost, které se hospodárný průřez snaží minimalizovat, sníží o vypočtenou hodnotu opce. Jedná se v podstatě o rovnici (1.43) se započtením příspěvku reálné opce.

$$N_{vT_z} = \sum_{t=1}^{T_z} \frac{N_{pt}}{(1+r)^t} + N_{ip} - V_0 = MIN \quad [Kč] \quad (1.86)$$

| | | | |
|------|------------------|---|-------|
| kde: | N_{vT_z} | diskontovaný součet výdajů za životnost | [Kč] |
| | N_{ip} | porovnávací investiční výdaje (viz (1.44)) | [Kč] |
| | N_{pt} | provozní náklady vynaložené v t -tém roce | [Kč] |
| | T_z | doba životnosti | [rok] |
| | t | pořadová čísla let doby životnosti | [-] |
| | r | diskont | [-] |
| | V_0 | hodnota vypočtené reálné opce | [-] |

Tento zápis se mi zdá být zcela korektní. Ing. Foubík však dále pracuje s hodnotou opce, která je vyjádřena jako analytická funkce průřezu, což je dle mého názoru nepřesný postup, neboť takovéto analytické vyjádření se mi nezdá možné. Co mi však opční přístup umožňuje, je porovnání dvou variant. Z toho vyplývá, že hospodárný průřez mohu určit ze vzájemného porovnávání jednotlivých variant kabelových průřezů. Díky tomu mohu hospodárný průřez definovat následovně:

$$\min_s (N_{vT_z}; N_{vT_z}^*) \rightarrow s_{ek}^* \quad [mm^2] \quad (1.87)$$

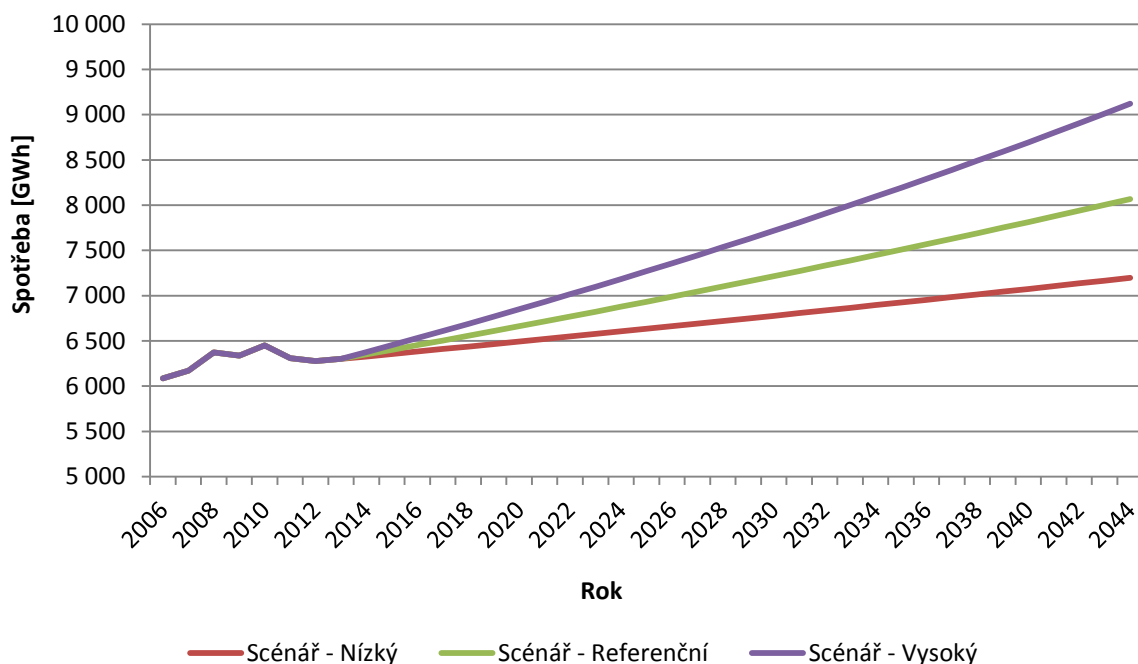
| | | | |
|------|--------------------|---|------------|
| kde: | s_{ek}^* | hospodárný průřez s hodnotou opce | [mm^2] |
| | N_{vT_z} | diskontovaný součet výdajů za životnost | [Kč] |
| | $N_{vT_z}^*$ | diskontovaný součet výdajů za životnost s uvažováním reálné opce | [Kč] |

V následujících podkapitolách bych rád rozebral jednotlivé vstupní veličiny. Zejména to, jak jsem je získal, neboť pro výpočet hrají zásadní roli.

4.1 Směrodatná odchylka σ

Směrodatná odchylka je jedním z nejdůležitějších a nejhůře zjistitelných parametrů, neboť vychází z predikce vývoje spotřeby elektrické energie na daném území. V mém případě tedy v Praze. Na stránkách OTE (operátor trhu s elektřinou) jsem našel zprávu, která předpovídá netto spotřebu elektřiny v ČR¹⁴. Ve svém výpočtu budu předpokládat, že Praha bude mít stejný vývoj spotřeby elektřiny jako zbytek ČR, a proto příslušné trendy, které predikuje OTE, jsem aplikoval na spotřebu v Praze. Výsledná predikce je zachycena na obrázku 4.

Vývoj spotřeby elektřiny v Praze - historie a predikce



Obrázek 4 - Vývoj spotřeby elektřiny v Praze - historie a predikce

Směrodatnou odchylku jsem pak určil pomocí jednoduchého vzorce:

¹⁴ Tato zpráva je k nalezení ve formátu pdf na přiloženém CD.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad [-] \quad (1.88)$$

kde: x_i hodnota i -tého pozorování [-]

n počet všech pozorování [-]

\bar{x} průměrná hodnota všech pozorování [-]

Pokud chci znát směrodatnou odchylku v procentech, vydělím ji průměrnou hodnotou. V následující tabulce jsou uvedeny směrodatné odchylky vybraných let.

| Rok | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 | 2030 | 2035 | 2040 |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Scénář - Nízký | 6451 GWh | 6355 GWh | 6493 GWh | 6634 GWh | 6778 GWh | 6925 GWh | 7075 GWh |
| Scénář - Referenční | 6451 GWh | 6402 GWh | 6662 GWh | 6933 GWh | 7215 GWh | 7508 GWh | 7813 GWh |
| Scénář - Vysoký | 6451 GWh | 6453 GWh | 6850 GWh | 7271 GWh | 7718 GWh | 8192 GWh | 8695 GWh |
| Směrodatná odchylka: | 0,00% | 0,62% | 2,18% | 3,74% | 5,31% | 6,87% | 8,43% |

Tabulka 1 - Směrodatné odchylky ve vybraných letech

Jak je z uvedené tabulky jednoznačně patrné, směrodatná odchylka roste v průběhu času, neboť se zvyšuje nejistota predikce. Já jsem se rozhodl ve svých výpočtech uvažovat směrodatnou odchylku odpovídající roku 2030, tedy 5,31 %. Důvodem je, že předpokládám dobu životnosti přibližně 30 let, a provede-li se výstavba nového úseku kabelového vedení ještě letos, pak by v roce 2030 bylo vedení přibližně v polovině své doby životnosti.

Tento klíčový parametr však bude ještě předmětem citlivostní analýzy.

4.2 Doba životnosti

Jak jsem již uvedl, budu ve svých výpočtech uvažovat dobu životnosti 30 let. Tato doba je u takovýchto staveb běžná, i když často se v praxi ukazuje, že může být i o několik let delší. Proto bude i doba životnosti předmětem zkoumání v citlivostní analýze.

4.3 Bezrizikový výnos

Bezrizikový výnos je další významnou veličinou, neboť určuje časovou hodnotu peněz. Standardně se za bezrizikový výnos dá považovat výnos státních dluhopisů, ideálně pak se stejnou dobou splatnosti jako je doba životnosti investice. U investic střednědobých a dlouhodobých se pak většinou uvažuje výnos desetiletých státních dluhopisů.

Až doposud jsem se setkával v různých studiích s bezrizikovou mírou výnosnosti okolo 1,5 %. Nicméně současná ekonomická situace nejen v České republice, ale i v Evropské unii, vedla k dramatickému snížení úrokových sazeb státních dluhopisů a to až na 0,35 %. Osobně se však domnívám, že takový výnos je skutečně až příliš nízký a v dlouhodobějším horizontu neudržitelný. Je totiž třeba si uvědomit, že k výpočtu musím určit bezrizikový výnos pro celou dobu životnosti. Tento parametr jsem se proto rozhodl z uvedených důvodů uvažovat ve výši 1 % a podrobím jej citlivostní analýze.

4.4 Investice - Průměrná cena metru trasy

Dále jsem potřeboval určit velikost investice. Vzhledem k tomu, že jednotlivé realizované stavby se liší svými délkami, rozhodl jsem se určit průměrnou cenu na metr trasy. K tomuto výpočtu jsem dostal od PREDistribuce k dispozici údaje o realizovaných stavbách v předešlých letech. Vzhledem k tomu, že cena investice nabývá hodnot od 1 700 Kč/m do 180 000 Kč/m v závislosti na délce trasy a její poloze, rozhodl jsem se určit průměrnou cenu metru trasy jako součet výdajů za již proběhlé výstavby vydělený součtem délek těchto staveb.

Průměrné měrné investiční náklady jsem určil uvedeným postupem na hodnotu 6 000 Kč/m.

I tento parametr ještě podrobím citlivostní analýze.

4.5 Rozdíl investičních nákladů pro průřezy 120 mm² a 240 mm²

Rozdíl investičních nákladů obou průřezů je pro výpočet nesmírně důležitý, neboť právě s tímto rozdílem je na závěr třeba porovnat výslednou hodnotu opce. Ceny kabelů jsem převzal z rozpočtů realizovaných výstaveb, které mi dala k dispozici PREDistribuce. Tyto

rozpočty jsou sice z let 2012 a 2013, ale domnívám se, že ceny se příliš nezměnily. Já ke svému výpočtu navíc potřebuji znát pouze rozdíl těchto cen.

Z rozpočtů jsem tedy určil průměrnou cenu kabelu 22-AXEKVCEY 1X120/16 na 137,23 Kč/m a kabelu 22-AXEKVCEY 1X240/25 na 178,90 Kč/m.

Rozdíl těchto cen je tedy 41,67 Kč/m.

4.6 Roční průběh zatížení a jeho vývoj v čase

Vlastní výpočet opce budu počítat pro šest kabelových vedení, k nimž mi PREdistribuce poskytla grafy reprezentující roční průběhy proudového zatížení. Bohužel jsem nedostal k dispozici hodnoty ve formě číselného vyjádření (tabulek), ale pouze jako obrázky. Proto jsem musel provádět „ručně“ odečty maximálních a minimálních hodnot proudů z grafů a navíc odhadovat střední zátěžový proud pro určení přeneseného množství energie.

Následně jsem predikoval vývoj zatížení v jednotlivých letech v závislosti na uvedené predikci vývoje spotřeby elektrické energie v ČR, resp. v závislosti na směrodatné odchylce podle vztahů (1.76) a (1.77), kde jsem dt považoval rovné 1, tedy počet změn za rok je pouze 1.

4.7 Určení ztrát a jejich ocenění

Dále jsem však pro výpočet ztrát potřeboval určit průběh proudu, resp. integrál z druhé mocniny průběhu proudu, neboť platí vztah:

$$E_{ztr} = \rho \cdot \int_0^T I^2(t) dt \quad [Wh/m] \quad (1.89)$$

| | | | |
|------|-----------------|--|----------------|
| kde: | E_{ztr} | roční ztracená energie | [Wh/m] |
| | ρ | měrný činný odpor | [Ω/m] |
| | T | doba, pro niž je počítána ztráta – v mém případě rok, tedy 8760 h | [h] |
| | $I(t)$ | časový průběh proudu během roku | [A] |

Pro výpočet tohoto integrálu jsem se rozhodl využít Wolfovy křivky, která je sice určena pro výpočty výkonu, nicméně za předpokladu, že napětí zůstane po celou dobu

životnosti konstantní, průběh proudu zcela odpovídá průběhu výkonu. Wolfova křivka je určena pouze třemi parametry a to P_{min} , P_{max} a $P_{stř}$, resp. I_{min} , I_{max} a $I_{stř}$.

$$P(t) = P_{min} + (P_{max} - P_{min}) \cdot \left(1 - \frac{t}{T}\right)^{\frac{P_{max}-P_{stř}}{P_{stř}-P_{min}}} \quad [W] \quad (1.90)$$

kde: T doba, pro niž je počítána ztráta [h]

V případě konstantního napětí tedy můžeme psát:

$$I(t) = I_{min} + (I_{max} - I_{min}) \cdot \left(1 - \frac{t}{T}\right)^{\frac{I_{max}-I_{stř}}{I_{stř}-I_{min}}} \quad [A] \quad (1.91)$$

kde: T doba, pro niž je počítána ztráta – [h]
v mém případě rok, tedy 8760 h

K vyčíslení ročních nákladů na ztráty jsem pak musel ještě určit cenu ztracené energie. Vzhledem k tomu, že ztracenou energii je třeba vyrobit a přepravit, rozhodl jsem se uvažovat cenu 3 800 Kč/MWh, což přibližně odpovídá výrobním, přepravním a dalším režijním nákladům.

Celkové roční náklady na ztráty tak lze určit z následujícího vztahu:

$$N_{ztr} = E_{ztr} \cdot n_{ztr} \quad [Kč/m] \quad (1.92)$$

kde: N_{ztr} roční náklady na ztráty [Kč/m]

E_{ztr} roční ztracená energie na metr vedení [Wh/m]

n_{ztr} měrné náklady na ztracenou energii [Kč/Wh]

Dosažením vztahů (1.89) a (1.91) do vzorce (1.92) získáme výsledný vzorec:

$$N_{ztr} = n_{ztr} \cdot \rho \cdot \int_0^T \left(I_{min} + (I_{max} - I_{min}) \cdot \left(1 - \frac{t}{T}\right)^{\frac{I_{max}-I_{stř}}{I_{stř}-I_{min}}} \right)^2 dt \quad [Kč/m] \quad (1.93)$$

Po integraci pak můžeme vztah (1.93) zapsat již pomocí známých parametrů¹⁵:

¹⁵ Pro úplnost ještě uvádím, že vztah (1.94) platí pouze za předpokladu, že je splněna podmínka $Re \left[\frac{I_{max}-I_{stř}}{I_{min}-I_{stř}} \right] < \frac{1}{2}$, avšak tato podmínka je splněna vždy, neboť $I_{max} > I_{stř} > I_{min}$.

$$N_{ztr} = n_{ztr} \cdot \rho \cdot T \cdot \frac{I_{max}^2 I_{min} - I_{max}(I_{max} + 2I_{min})I_{stř} + 2I_{min}I_{stř}^2}{I_{min} + I_{stř} - 2I_{max}} \quad [Kč/m] \quad (1.94)$$

4.8 Další vstupní parametry

Jak jsem již uvedl, výpočet bude probíhat pro kabelová vedení na napěťové hladině 22 kV. Dále budu počítat s účinníkem $\cos\varphi$ o velikosti 0,95.

Měrný činný odpor vedení je uváděn výrobcem, stejně tak jako maximální proudová zatížitelnost. Všechny potřebné hodnoty uvádím v přehledné tabulce.

| Kabel | Činný odpor | Proudová zatížitelnost v zemi ¹⁶ |
|----------------------|-------------------|---|
| 22-AXEKVCEY 1X120/16 | 0,253 Ω/km | 274 A |
| 22-AXEKVCEY 1X240/25 | 0,128 Ω/km | 400 A |

Tabulka 2 - Vybrané elektrické parametry porovnávaných kabelů

4.8.1 Výpočet hodnoty opce

Nyní bych rád ukázal, jak jsem počítal hodnotu opce, kterou budu při rozhodování o výhodnosti pokládky silnějšího kabelu porovnávat s rozdílem investičních nákladů kabelů obou průřezů.

Označím nyní $V_c^{t,s}$ jako hodnotu opce v roce t a stavu s , kde stav reprezentuje součet všech vzrůstů (každý vzrůst znamená +1) a poklesů (každý pokles znamená -1). Nezměněný stav je reprezentován nulou. Z tohoto předpokladu jasně vyplývá, že $-t \leq s \leq t$ a zároveň $s \in \mathbb{Z}$.

Hodnota této opce je pak určena vztahem:

$$V_c^{t,s} = \begin{cases} \max \left[\frac{\Delta N_{ztr}^{t,s}}{(1+r_f)^t}; \frac{p_u \cdot V_c^{t+1,s+1} + p_m \cdot V_c^{t+1,s} + p_d \cdot V_c^{t+1,s-1}}{(1+r_f)^{t+1}} \right], \text{ pro } I_{max}^{t,s} \leq I_{dov} \\ \max \left[\frac{\frac{2 \cdot N_{inv} \cdot (T_z - t)}{2 \cdot T_z - 1}}{(1+r_f)^T}; \frac{p_u \cdot V_c^{t+1,s+1} + p_m \cdot V_c^{t+1,s} + p_d \cdot V_c^{t+1,s-1}}{(1+r_f)^{t+1}} \right], \text{ pro } I_{max}^{t,s} > I_{dov} \end{cases} \quad [Kč/m] \quad (1.95)$$

kde: $\Delta N_{ztr}^{t,s}$ rozdíl nákladů na ztráty v roce t a stavu s mezi kabely o průřezu 120 mm² a [Kč/m]

¹⁶ Uvedené hodnoty proudové zatížitelnosti platí pro geometrické uspořádání vodičů v zemi. V případě uložení ●●● je proudová zatížitelnost 306 A u kabelu s průřezem 120 mm², resp. 437 A u kabelu s průřezem 240 mm².

240 mm² vypočítaný podle vztahu (1.94)

| | | |
|-----------------|---|--------|
| N_{Inv} | investiční náklady na pokládku kabelu ¹⁷ | [Kč/m] |
| T_z | doba životnosti | [rok] |
| r_f | bezrizikový výnos | [-] |

Díky diskontování, které ve vzorci uvádím, mám veškeré hodnoty vztaženy k okamžiku rozhodování o instalaci vyššího průřezu.

¹⁷ Výraz $\frac{2 \cdot N_{Inv} \cdot (T_z - t)}{2 \cdot T_z - 1}$ vyjadřuje zbytkovou účetní hodnotu po uplynutí doby životnosti při lineárním způsobu odepisování investice.

5 Vzorový výpočet na vybraných kabelových vedeních PREdistribuce, a.s.

V předchozích kapitolách jsem uvedl teoretické předpoklady pro správné dimenzování vodičů. Nyní bych se rád zaměřil na otázku, zda přístup PREdistribuce, která tvrdí, že se jí vyplatí všude na „svém území“ instalovat na hladině 22 kV kabelová vedení o průřezu 240 mm², je správný. K tomuto ověření jsem potřeboval zjistit celou řadu parametrů a obrátil jsem se proto s prosbou o pomoc přímo na PREdistribuci, která mi poskytla veškeré potřebné materiály.

Výpočet je koncipován jako srovnání dvou variant, neboť až doposud byl PREdistribucí na hladině 22 kV využíván kabel s průřezem 120 mm².

Hodnotu opce jsem se rozhodl počítat pomocí trinomického stromu, kde hodnoty v jednotlivých stavech reprezentují buď úsporu ztrát, nebo úsporu investice sníženou o zbytkovou hodnotu kabelu po uplynutí doby životnosti. Celý postup výpočtu bude ještě blíže upřesněn v dalších kapitolách.

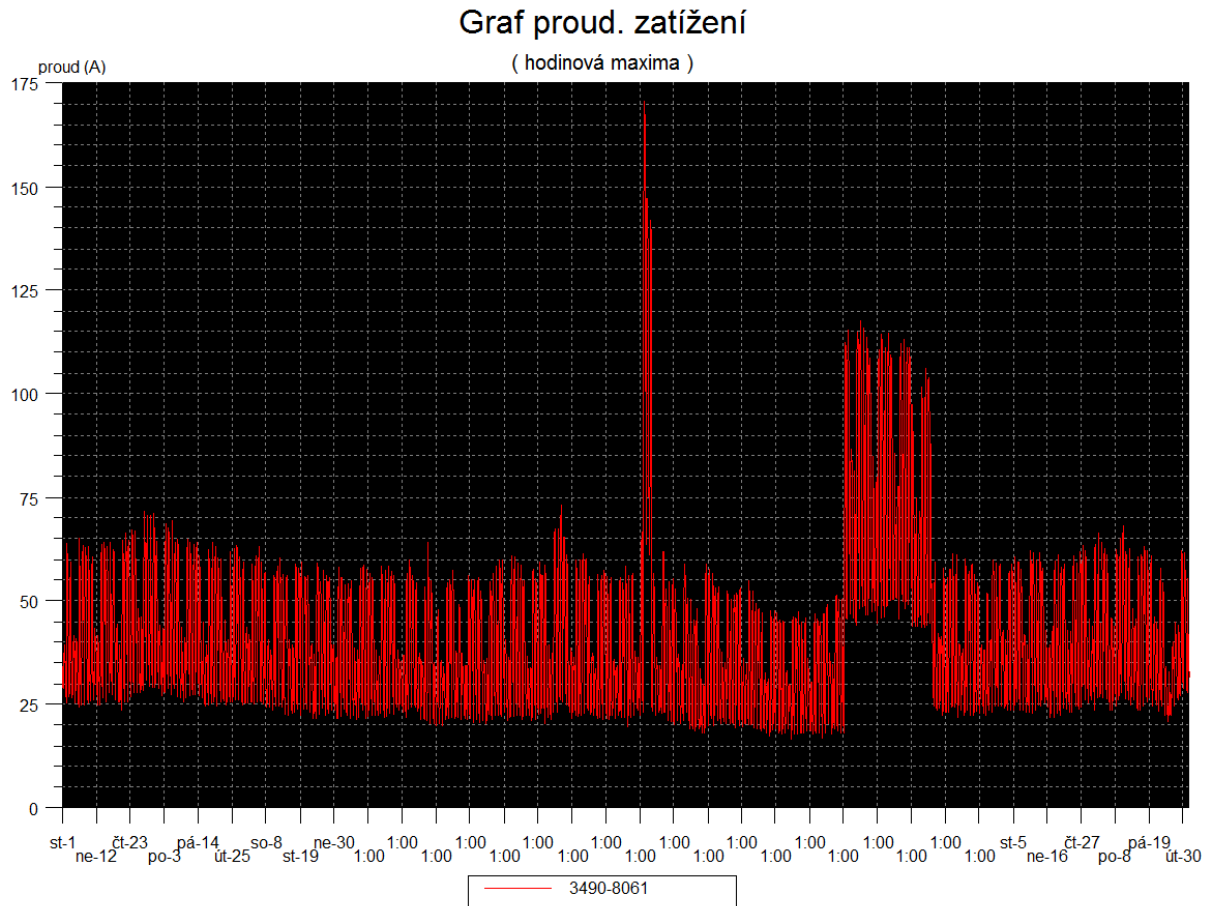
Takto určenou hodnotu opce následně porovnáám s rozdílem pořizovacích nákladů obou zmiňovaných kabelů, a pokud mi hodnota opce vyjde vyšší, než tento rozdíl, pak se domnívám, že PREdistribuce se chová naprosto správně a ekonomicky. V opačném případě pak bude na zvážení, zda je rozhodnutí PREdistribuce správné, popř. neexistují-li jiné důvody k tomuto rozhodnutí, které nejsou v mém výpočtu zahrnuty. Toto bude případně předmětem diskuze.

5.1 Zkoumaná kabelová vedení

V této kapitole bych rád specifikoval kabely, pro něž jsem počítal hodnotu opce. U každého vedení uvedu místo, kde se kabel nachází a průběh proudového zatížení (hodinová maxima na jedné z fází) za rok 2014, jak jsem jej dostal od PREdistribuce. Dále uvedu počet trafostanic, které jsou na vývodu připojeny za obvyklého chodu soustavy. Následně ještě uvedu odečtené hodnoty, které jsem dále využíval při svých výpočtech.

5.1.1 Nové Město, ul. Štěpánská

Jedná se o kabel v centru Prahy v těsné blízkosti Václavského náměstí. Za běžného chodu soustavy je na vývodu připojeno 9 trafostanic 22/0,4 kV.



Obrázek 5 - Průběh zatížení kabelového vedení v ulici Štěpánská za rok 2014

Jak je z průběhu patrné, během roku 2014 došlo nejspíše ke dvěma nestandardním přepojením, kdy skokově vzrostlo zatížení. V prvním případě se dle mého soudu jednalo spíše o poruchu, vzhledem k tomu, jak krátký byl časový úsek, v němž byl tento nárůst zaznamenán, zatímco v druhém případě se jednalo spíše o plánovanou dočasnou změnu zapojení soustavy.

Parametry pro své výpočty jsem určil následovně:

$$I_{max}: 171 A$$

$$I_{min}: 17 A$$

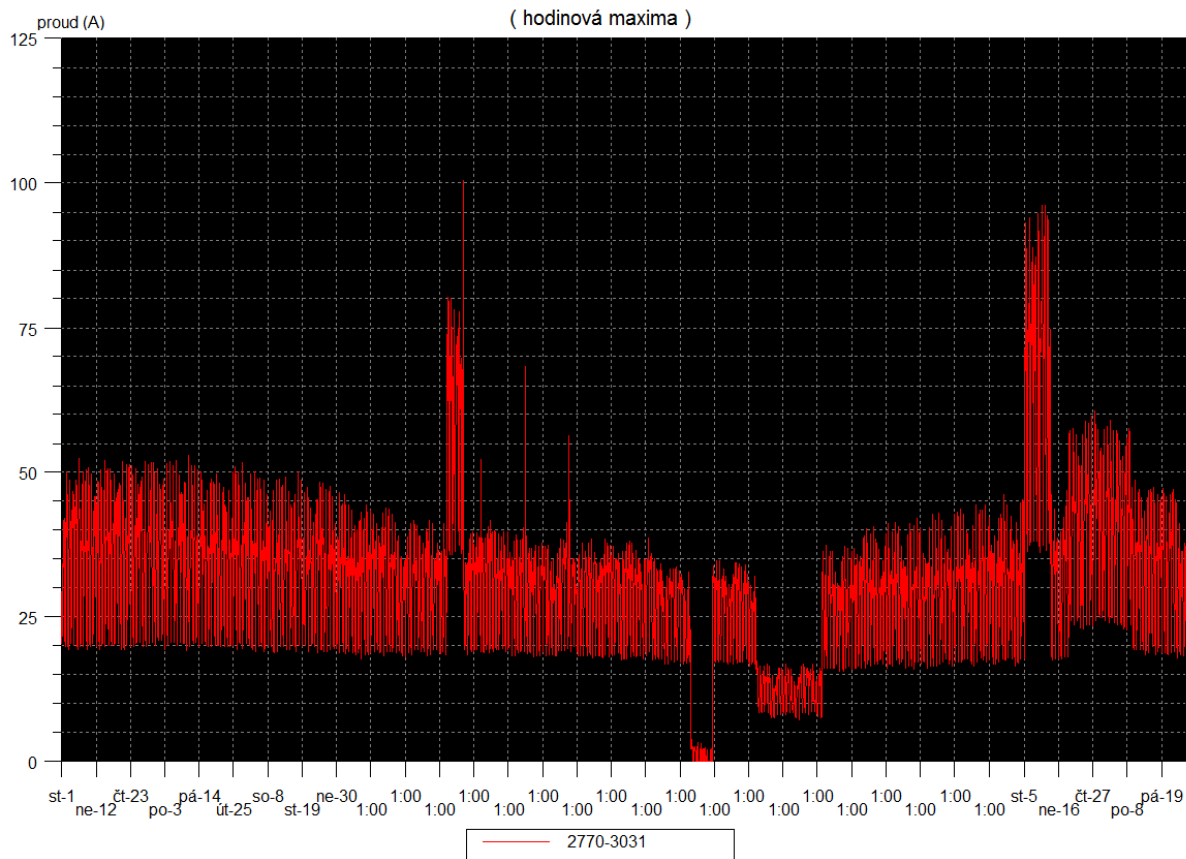
$$I_{stř}: 42 A$$

$$E_{dist}: 7\,689,53 MWh$$

5.1.2 Háje, ul. Kupeckého

Tento kabel je umístěn v sídlištní zástavbě nedaleko metra Háje. Za běžného provozu soustavy je na vývodu připojeno 9 trafostanic 22/0,4 kV.

Graf proud. zatížení



Obrázek 6 - Průběh zatížení kabelového vedení v ulici Kupeckého za rok 2014

V průběhu je vidět několik nestandardních zapojení soustavy a čtyři hodinová maxima, jež jednoznačně převyšují okolní hodnoty. Ačkoliv nevím, čím byly tyto hodinové extrémy způsobeny a všechny mé domněnky by byly pouhými spekulacemi, z četnosti těchto výskytů usuzuji, že podobné hodnoty se mohou objevovat i v budoucnu a je tedy třeba na ně vodič dostatečně dimenzovat.

$$I_{max}: 101 A$$

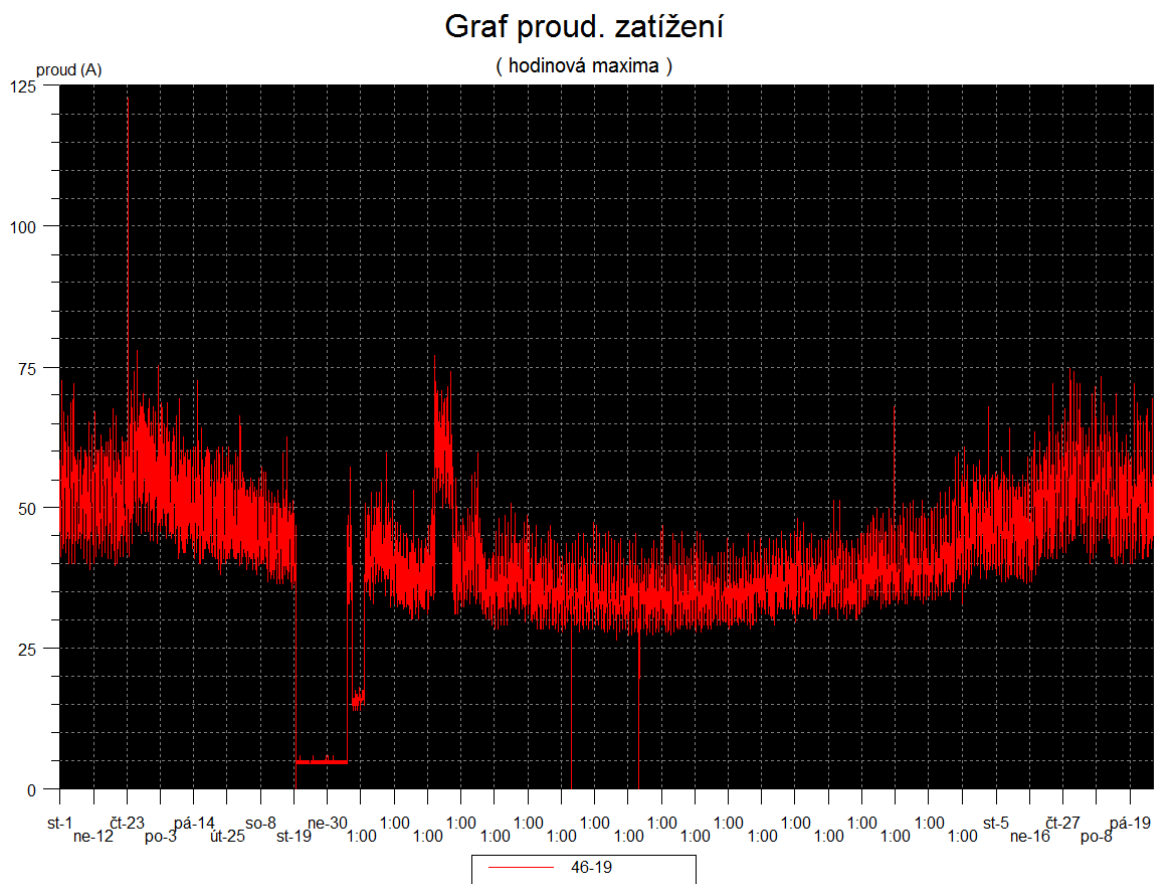
$$I_{min}: 3 A$$

$$I_{stř}: 36 A$$

$$E_{dist}: 6\,591,02 MWh$$

5.1.3 Vokovice, ul. Vokovická

Jedná se o lokalitu zastavěnou jak panelovými, tak rodinnými domy, kde je za obvyklého zapojení připojeno 18 trafostanic 22/0,4 kV.



Obrázek 7 - Průběh zatížení kabelového vedení v ulici Vokovická za rok 2014

Na grafu je zaznamenána jedna odstávka tohoto kabelu a jedno krátkodobé zvýšení zatížení jinak průběh odpovídá spotřebě běžné domácnosti. Vidíme jednoznačné zvýšení spotřeby v zimních měsících, a naopak snížení spotřeby přes léto.

$$I_{max}: 78 A$$

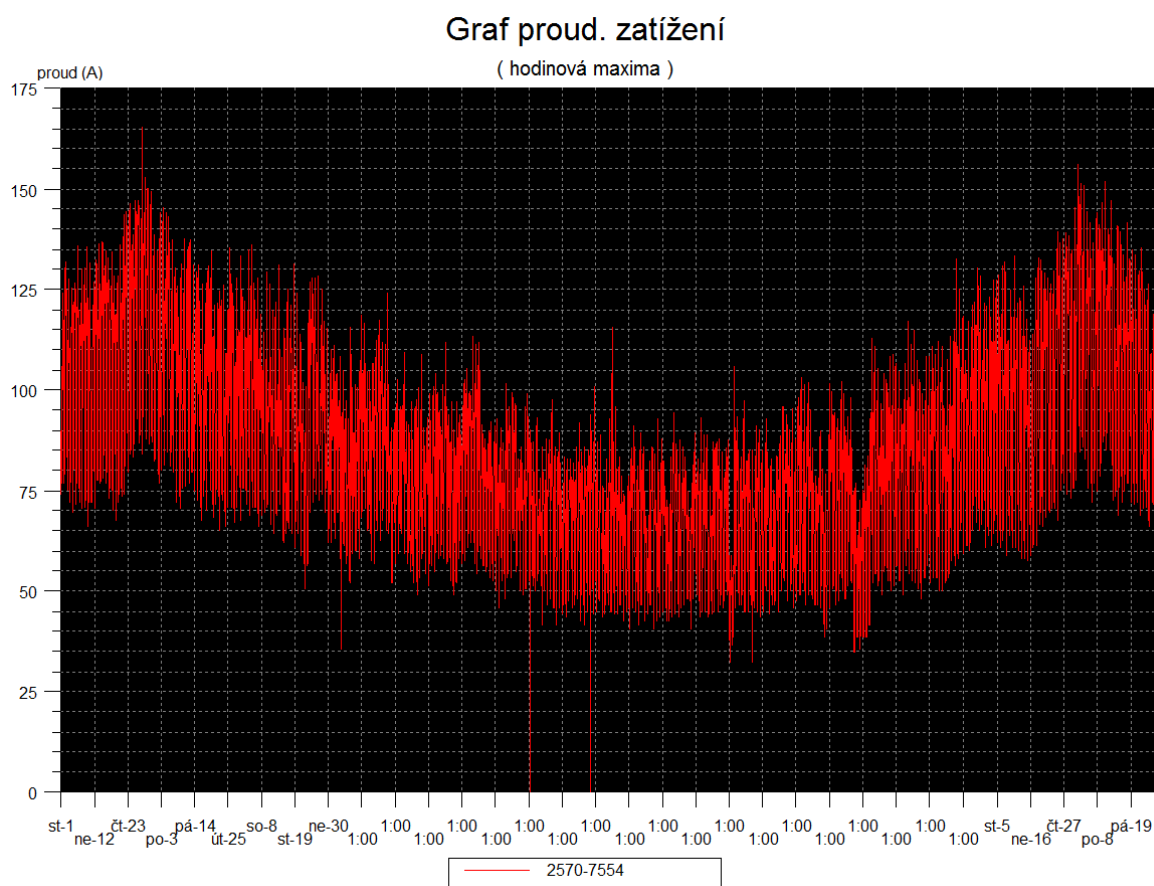
$$I_{min}: 5 A$$

$$I_{stř}: 39 A$$

$$E_{dist}: 7\,140,28 MWh$$

5.1.4 Uhřetěves, ul. Přátelství

V tomto případě se jedná o kabel napájející jak domácnosti, tak některé podniky z řad velkooběratelů. Za běžného provozu soustavy je na vývodu připojeno 37 trafostanic 22/0,4 kV.



Obrázek 8 - Průběh zatížení kabelového vedení v ulici Přátelství za rok 2014

Tento průběh je ze všech zkoumaných pravděpodobně nejstálejší. Kromě jednoho podzimního, malého a krátkodobého (přibližně týdenního) poklesu zatížení je křivka poměrně vyrovnaná. Oproti ostatním kabelům je zde nezvykle velký rozdíl mezi denním a nočním odběrem, který bude pravděpodobně způsoben provozním chodem velkooběratelů.

$$I_{max}: 165 A$$

$$I_{min}: 32,5 A$$

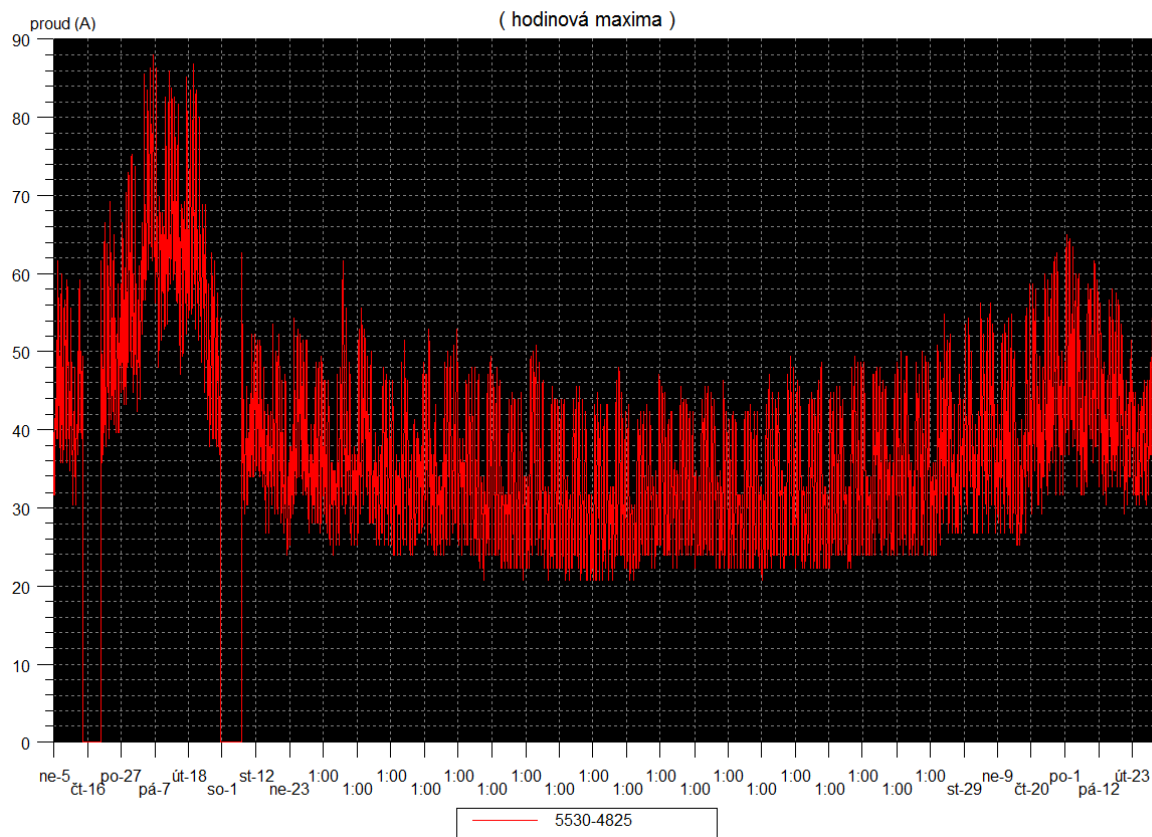
$$I_{stř}: 98 A$$

$$E_{dist}: 17\,942,20 MWh$$

5.1.5 Hradčany, ul. Milady Horákové

Jedná se o lukrativní lokalitu, a to ať už pro podnikatele, tak pro běžné domácnosti. Proto i zde je celkové zatížení výsledným mixem spotřeb domácností, podniků a kancelářských prostor. Obvykle je na vývodu připojeno 9 trafostanic 22/0,4 kV.

Graf proud. zatížení



Obrázek 9 - Průběh zatížení kabelového vedení v ulici Milady Horákové za rok 2014

Na začátku roku 2014 jsou z grafu jednoznačně čitelné odstávky doprovázející stavební práce, jež zde v dané době probíhaly.

$$I_{max}: 88 A$$

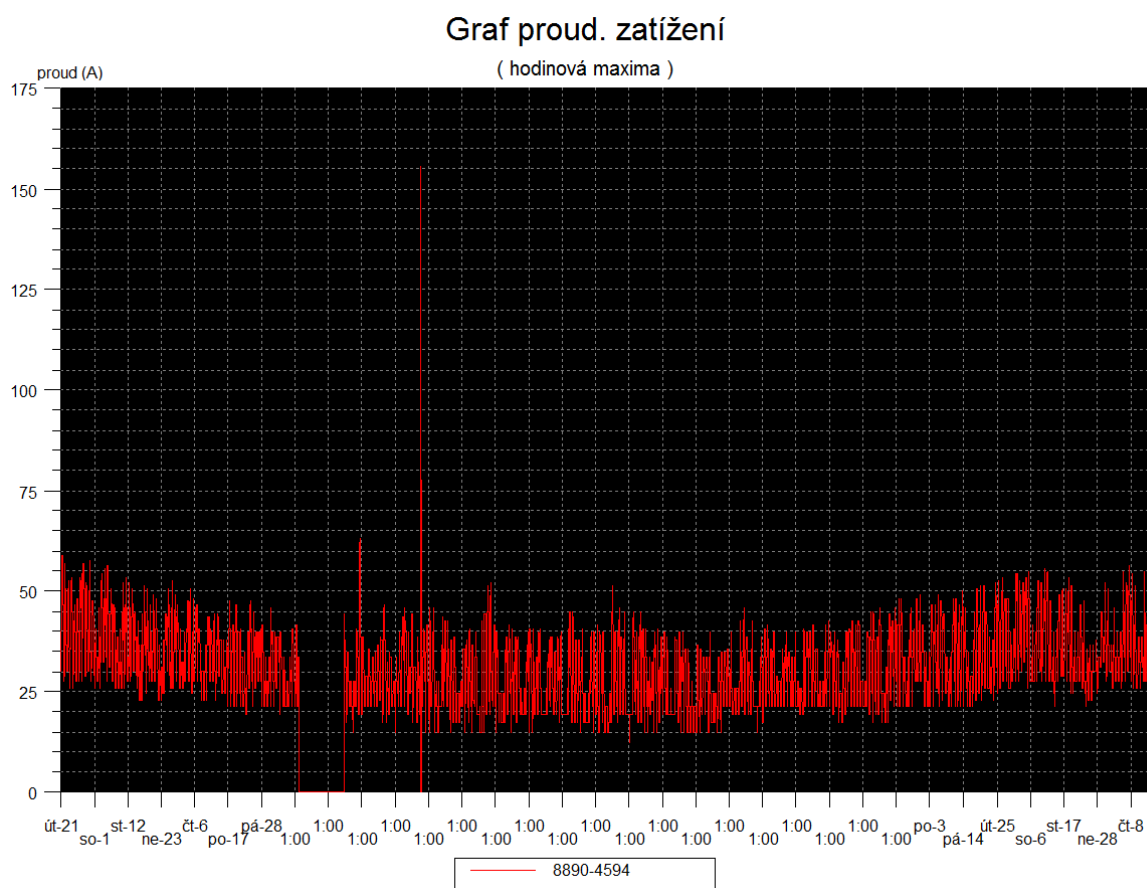
$$I_{min}: 21 A$$

$$I_{stř}: 38 A$$

$$E_{dist}: 6\,957,19 MWh$$

5.1.6 Jinonice, ul. Na Vidouli

Ačkoliv se jedná spíše o moderní zástavbu rodinných a malých bytových domů, tak i zde najdeme několik velkoodběratelů. Standardně kabel napájí 13 trafostanic 22/0,4 kV, z čehož 7 patří velkoodběratelům.



Obrázek 10 - Průběh zatížení kabelového vedení v ulici Na Vidouli za rok 2014

Průběh je poměrně vyrovnaný, až na jedno odpojení a jednu extrémně vysokou hodnotu proudu, kterou pro své výpočty nebudu uvažovat.

$$I_{max}: 63 A$$

$$I_{min}: 12,5 A$$

$$I_{stř}: 31 A$$

$$E_{dist}: 5\,675,60 MWh$$

5.2 Výsledky výpočtů

Jak jsem již uvedl, hodnotu opce jsem počítal pomocí trinomického stromu. K určení nárůstu, resp. poklesu hodnoty opce mi dle vztahů (1.76) a (1.77) stačilo znát směrodatnou odchylku σ . Tu, jak jsem již uvedl výše, jsem vyčíslil na 5,31 %. Následně jsem určil i virtuální pravděpodobnosti, s nimiž nastanou predikované stavy (nárůst, pokles, nezměněný vývoj).

$$u = 1,078$$

$$d = 0,928$$

$$p_u = 31,07 \%$$

$$p_d = 19,59 \%$$

$$p_m = 49,34 \%$$

V tuto chvíli mohu provést vlastní výpočet, který jsem realizoval v softwaru MS Excel 2010. Tento soubor je k nalezení na přiloženém CD a je tak možné si výpočet ověřit, případně jej aplikovat na jiná vedení, a to nejen kabelová, ale i venkovní. Vstupní parametry je možné zadávat v listu „Vstupní a výstupní data“. Informace o konkrétních kabelech jsou k dispozici na listu „Konkrétní kabely“. Na listu „Tabulka kabelů“ jsou uvedeny informace o elektrických vlastnostech porovnávaných kabelů.

Výsledná hodnota opce je pak zobrazena na listu „Vstupní a výstupní data“ v buňce B28. V buňce B30 je pak zobrazeno doporučení, zda se vyplatí při realizaci použít kabel o silnějším průřezu, či nikoliv.

V následující tabulce jsou shrnuty výsledky mých výpočtů:

| Umístění kabelu | Hodnota opce | Doporučení instalace průřezu 240 mm ² |
|-----------------|--------------|--|
| Štěpánská | 283,87 Kč | ANO |
| Kupeckého | 14,23 Kč | NE |
| Vokovická | 12,14 Kč | NE |
| Přátelství | 310,50 Kč | ANO |
| Milady Horákové | 11,15 Kč | NE |
| Na Vidouli | 7,27 Kč | NE |

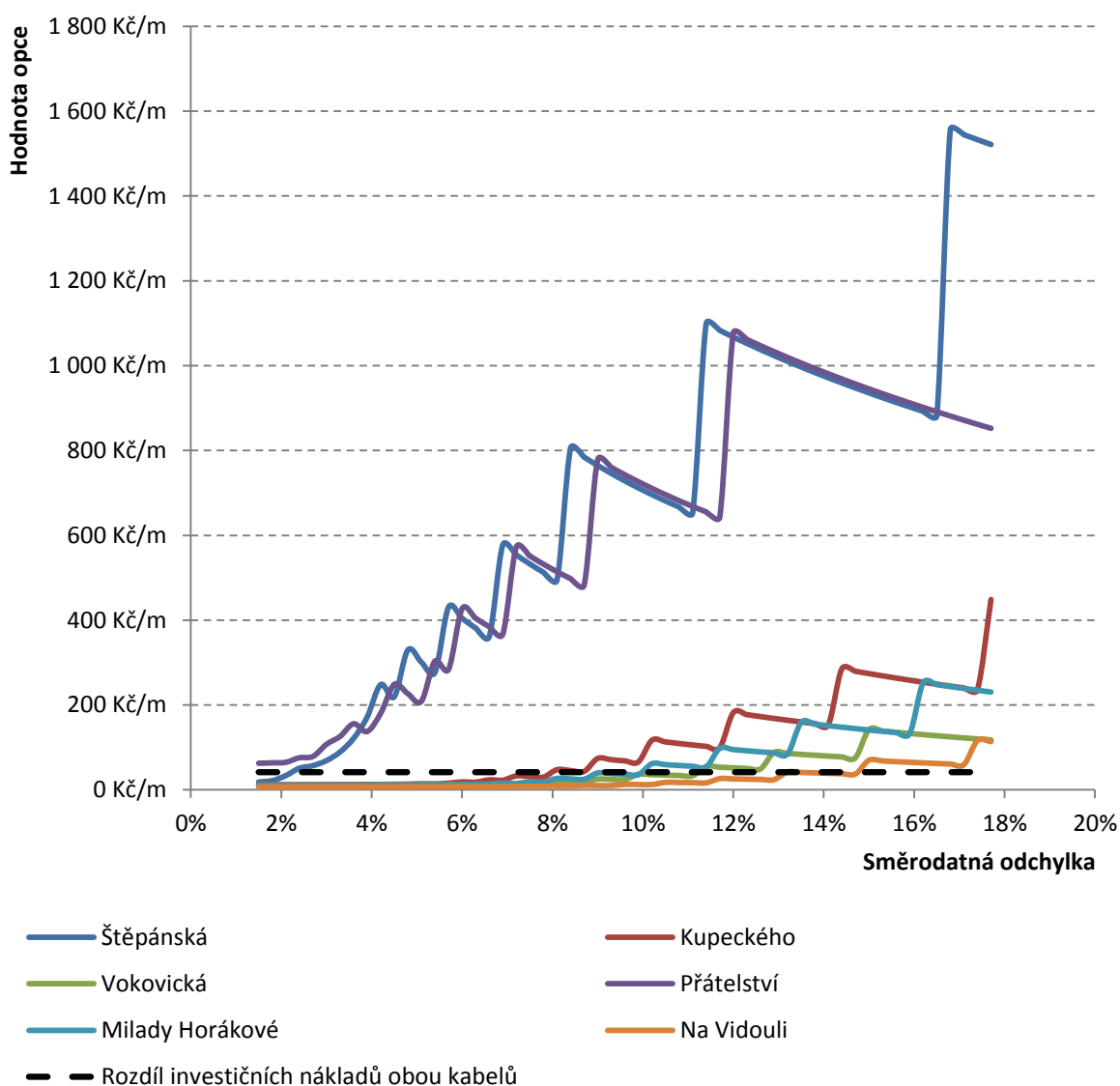
Tabulka 3 - Vypočtené hodnoty opcí a doporučení instalace průřezu 240 mm²

5.3 Citlivostní analýzy

Z tabulky 3 lze snadno vyčíst, že pro čtyři ze šesti zkoumaných kabelových vedení se nevyplatí instalovat průřez 240 mm². Proto se nyní pokusím zjistit, jak by se musely změnit klíčové vstupní parametry, aby se investice do vyššího průřezu vyplatila.

K tomuto účelu využiji citlivostní analýzu, kterou provedu pro čtyři vstupní veličiny, které osobně považuji za nejdůležitější.

5.3.1 Citlivostní analýza směrodatné odchyvky



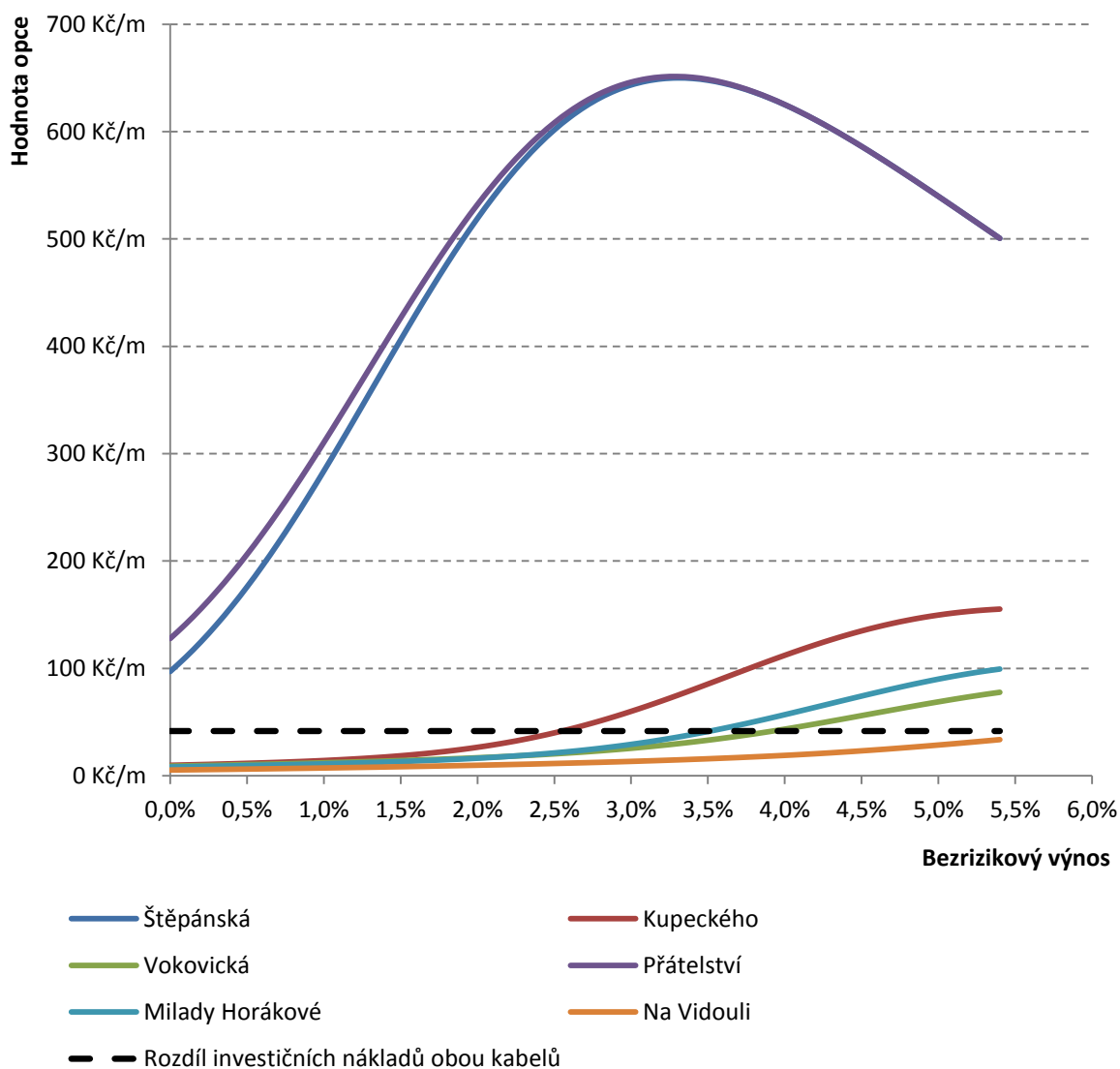
Graf 13 - Citlivostní analýza směrodatné odchyvky

V grafu 13 je znázorněn průběh hodnoty opce v závislosti na směrodatné odchylce za předpokladu, že všechny ostatní vstupy zůstanou konstantní.

Již na první pohled se tento průběh zdá být velmi neočekávaný. Sám jsem hledal příčinu těchto „zubů“ a došel jsem k závěru, že jsou způsobeny diskrétními časovými úseky, kdy dojde k případné investici do nového vedení.

Tudíž např. pro kabel v ulici Štěpánské, bude pro směrodatnou odchylku v intervalu $\sigma \in \langle 8,4 \% ; 11,1 \% \rangle$ třeba provést výměnu kabelu ve čtvrtém roce životnosti.

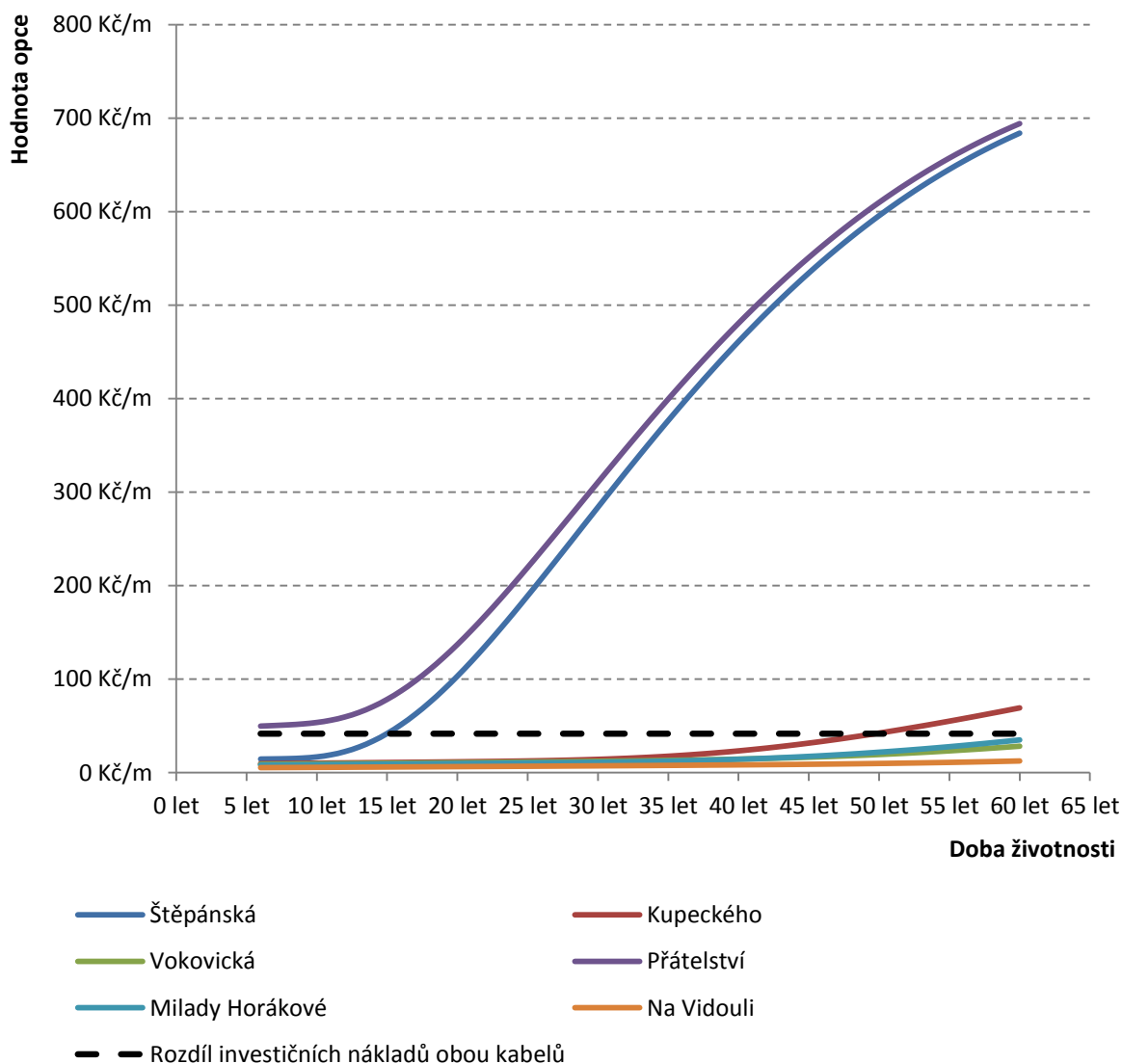
5.3.2 Citlivostní analýza bezrizikového výnosu



Graf 14 - Citlivostní analýza bezrizikového výnosu

V případě citlivostní analýzy bezrizikového výnosu je průběh zcela standardní. Z grafu je možné vyčíst, že instalace v ulicích Štěpánská a Přátelství se vyplatí i při nulové hodnotě r_f , zatímco v ulici Na Vidouli se hodnota opce nedostane přes rozdíl investičních nákladů obou porovnávaných kabelů ani při vysoké sazbě bezrizikového výnosu.

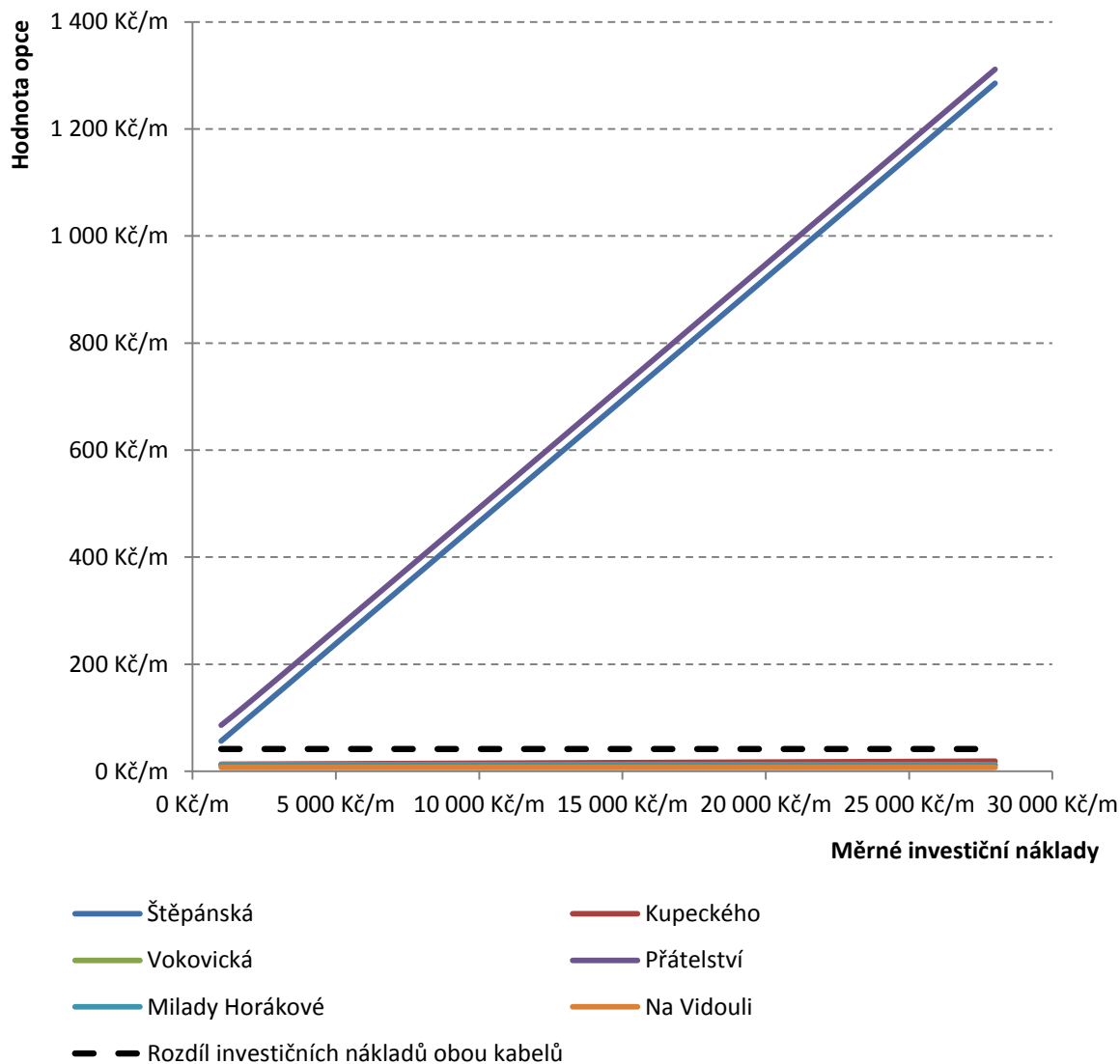
5.3.3 Citlivostní analýza doby životnosti



Graf 15 - Citlivostní analýza doby životnosti

Výsledkem citlivostní analýzy na dobu životnosti je dle očekávání ryze monotónní funkce. Avšak jak se ukazuje, tak pro tři ze zkoumaných kabelů hodnota opce nepřekročí rozdíl investičních nákladů ani při dvojnásobné době životnosti oproti předpokladu.

5.3.4 Citlivostní analýza měrných investičních nákladů



Graf 16 - Citlivostní analýza měrných investičních nákladů

Výše uvedený graf ukazuje, že měrné investiční náklady na pokládku kabelu o průřezu 240 mm² nehrají u zkoumaných vedení žádnou roli, neboť u dvou vedení se investice vyplatí i při velmi nízkých investičních nákladech, kdežto u zbylých čtyř se hodnota vůbec nezmění.

Tento fakt lze snadno interpretovat tak, že ani při každoročním nárůstu zatížení nebude třeba tyto kabely měnit z důvodu překročení maximální proudové zatížitelnosti.

Závěr

Cílem práce bylo zjistit, zda je rozhodnutí PREDistribuce, týkající se používání výhradně kabelů o průřezu 240 mm² na hladině vysokého napětí, správné. Z širšího pohledu pak šlo o to, zda v dnešním vztahu pro výpočet hospodárného průřezu něco nechybí. V praxi se totiž jen málokdy instaluje skutečně odpovídající hospodárný průřez, ale většinou se používá průřez o jednu až dvě řady vyšší. Tento rozkol jsem se snažil vysvětlit reálnou opcí na nerealizaci investice v případě přílišného nárůstu zatížení.

K vlastnímu výpočtu hodnoty opce jsem potřeboval zjistit celou řadu vstupních údajů, včetně predikce budoucího zatížení soustavy, bezrizikového výnosu a investičních nákladů na výstavbu vedení. PREDistribuce mi za účelem vysvětlení dané problematiky dala k dispozici informace o realizovaných výstavbách za několik posledních let. Zároveň jsem získal i průběhy proudů v šesti kabelech, na nichž jsem provedl zkušební výpočty ekonomické efektivity použití silnějšího průřezu.

Po prostudování teorie jsem se následně snažil vymyslet novou metodiku pro výpočet hospodárného průřezu s uvažováním uvedené opce. Vzhledem k tomu, že cenu opce nelze explicitně vyjádřit v závislosti na průřezu, je tak možné pouze porovnávat jednotlivé varianty mezi sebou. Z tohoto vzájemného porovnání pak lze jednoznačně určit nejvhodnější průřez. Tuto myšlenku jsem matematicky vyjádřil novým vztahem (1.87), který hledá minimum celkových nákladů přes všechny průřezy.

Získané výsledky jsou však poněkud nejednoznačné. U dvou kabelů se ukázalo, že instalace vyššího průřezu je jednoznačně opodstatnitelná pomocí reálné opce. U zbylých se však podle mých výpočtů vyšší průřez nevyplatí, neboť ani při každoročním zvyšování zatížení by nebyla překročena maximální dovolená hodnota maximálního zátěžového proudu. Citlivostní analýza pak navíc ukázala, že by muselo dojít ke skutečně dramatickým změnám vstupních parametrů, aby se investice vyplatila.

Pochopitelně existují i další důvody, jimiž je možné instalaci vyššího průřezu opodstatňovat, a alespoň dva bych zde ještě rád rozebral.

Prvním argumentem může být to, že můj model kalkuluje pouze s dnes připojenými odběrnými místy a jestliže distributor má k dispozici údaje o tom, že v budoucnu se v dané

lokalitě budou připojovat noví odběratelé, pak bude vyšší i odběr a mohla by nastat situace, že slabší kabel by nestačil.

Druhým a podle mě velmi zásadním argumentem je otázka zabezpečení dodávky elektřiny. Pražská distribuční síť je velmi robustní a díky tomu bezpečná. Její topologie umožňuje velkou variabilitu zapojení, díky čemuž dosahuje velmi vysokých hodnot SAIDI (System Average Interruption Duration Index) a SAIFI (System Average Interruption Frequency Index). Tato spolehlivost by se dala ocenit nedodávkou elektrické energie, avšak právě ocenění nedodávky je dnes poměrně složitou problematikou, kterou se zabývají mnozí odborníci z řad ekonomů a energetiků. Experti z Evropské unie nedávno vymysleli způsob tohoto ocenění, jež je závislý na HDP, celkové roční dodávce elektřiny a dalších faktorech, mimo jiné i na faktoru substituce volného času a hodinách volného času v závislosti na elektřině 0. Zajímavé je, že cena nedodané energie jim vyšla 3-12 €/kWh. I kdybychom uvažovali spodní hranici tohoto rozmezí, je to stále velmi vysoká cena a PREDistribuce pak dle mého úsudku uvažuje správným směrem, když si instalací silnějších průřezů vytváří možnosti přepojení sítě. Tuto domněnku by bylo dobré podrobit ještě dalšímu zkoumání.

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 - Směrodatné odchytky ve vybraných letech | 58 |
| Tabulka 2 - Vybrané elektrické parametry porovnávaných kabelů..... | 62 |
| Tabulka 3 - Vypočtené hodnoty opcí a doporučení instalace průřezu 240 mm ² | 71 |

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 - Náhradní schéma vedení jako T-článek | 23 |
| Obrázek 2 - Závislost nákladů na průřezu vodiče | 29 |
| Obrázek 3 - Vývoj hodnot aktiva pro stále kratší časové úseky | 41 |
| Obrázek 4 - Vývoj spotřeby elektřiny v Praze - historie a predikce..... | 57 |
| Obrázek 5 - Průběh zatížení kabelového vedení v ulici Štěpánská za rok 2014..... | 65 |

Seznam grafů

| | |
|---|----|
| Graf 1 - Zisk/ztráta v závislosti na ceně podkladového aktiva pro základní druhy opcí ... | 37 |
| Graf 2 - Parita kupní a prodejní opce - složení portfolia 1 | 45 |
| Graf 3 - Parita kupní a prodejní opce - složení portfolia 2 | 46 |
| Graf 4 - Strategie straddle - nákup | 47 |
| Graf 5 - Strategie straddle - prodej | 48 |
| Graf 6 - Strategie strangle - nákup | 48 |
| Graf 7 - Strategie strangle – prodej..... | 49 |
| Graf 8 - Bear spread - call | 50 |
| Graf 9 - Bear spread - put..... | 50 |
| Graf 10 - Bull spread - call | 51 |
| Graf 11 - Bull spread - put | 51 |
| Graf 12 - Butterfly spread | 52 |
| Graf 13 - Citlivostní analýza směrodatné odchylky | 72 |
| Graf 14 - Citlivostní analýza bezrizikového výnosu | 73 |
| Graf 15 - Citlivostní analýza doby životnosti | 74 |
| Graf 16 - Citlivostní analýza měrných investičních nákladů..... | 75 |

Seznam použité literatury

- [1] ANDROCEC, Ivan a Slavko KRAJCAR. Mechanisms for efficient investments and optimal zones in regional power market. *Thermal Science*. 2014, vol. 18, issue 3, s. 755-770. DOI: 10.2298/tsci1403755a.
- [2] BELATKA, Martin. *Analýza použití kabelových úseků v trase venkovního vedení 400 kV*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. Vedoucí dizertační práce doc. Ing. Antonín Matoušek, CSc. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=70074
- [3] ČSN 33 2000-5-523. *Elektrotechnické předpisy: Elektrická zařízení*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [4] FALTUS, Ivo. Ekonomická optimalizace průřezu silových kabelů nn. *Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku*. 2010, roč. 2010, č. 5, s. 42-43. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/41161.pdf>
- [5] FENCL, František. *Elektrický rozvod a rozvodná zařízení*. Vyd. 4. V Praze: České vysoké učení technické, 2009, 198 s. ISBN 978-80-01-04351-6.
- [6] FOUBÍK, Jindřich. *Hospodárny průřez*. Praha, 2014. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Prof. Ing. Oldřich Starý, CSc.
- [7] HAUG, Espen Gaarder. *The complete guide to option pricing formulas*. New York: McGraw-Hill, 1998, xx, 232 p. ISBN 0-7863-1240-8.
- [8] KISLINGEROVÁ, Eva. *Manažerské finance*. 3. vyd. Praha: C. H. Beck, 2010, 811 s. ISBN 978-80-7400-194-9.
- [9] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2008. Dostupné z: home.zcu.cz/~tesarova/PEC/Soubory/RZ_2007.pdf
- [10] ŘEHOŘOVÁ, Barbora. *Parametry venkovních a kabelových vedení a jejich technické a ekonomické porovnání*. Praha, 2013. Bakalářská práce. ČVUT. Vedoucí práce Doc. Ing. Jaromír Vastl, CSc.
- [11] STARÝ, Oldřich. *Reálné opce*. 1. vyd. Praha: A plus, 2003, 126 s. ISBN 80-902-5146-3.
- [12] VÍTEK, Miroslav. *Ekonomika dopravních energetických systémů*. Vyd. 2. V Praze: České vysoké učení technické, 2008, 254 s., 9 l. příl. ISBN 978-80-01-04181-9.