



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

TECHNICKO-EKONOMICKÉ SROVNÁNÍ NÁVRHŮ ŘEŠENÍ ELEKTROINSTALACE HOTELOVÉHO KOMPLEXU

TECHNICAL AND ECONOMIC COMPARISON OF ELECTRICAL SYSTEM DESIGNS OF THE HOTEL
COMPLEX

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Šedivý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Tomáš Šedivý

ID: 220782

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Technicko-ekonomické srovnání návrhů řešení elektroinstalace hotelového komplexu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Předpisy pro návrh rozvodu vedení tras VN, NN
2. Analýza požadavků uživatele pro energocentrum
3. Návrh oblasti s energocentrem
4. Návrh oblasti s lokálními trafostanicemi
5. Zhodnocení z pohledu ekonomiky, prostorových nároků a ztrát v rozvodu

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího závěrečné práce

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 31.5.2022

Vedoucí práce: Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Cílem bakalářské práce je realizace návrhů elektrického napájení vybraného objektu hotelového komplexu a s tím související provedení jejich vzájemného technického a netechnického porovnání. Předmětem je konkrétně porovnat varianty řešení napájení prostřednictvím centralizovaného energocentra, samostatných transformátorových stanic umístěných v rámci komplexu, a to pak například z pohledu zhodnocení dosahovaných ztrát činného výkonu na vedení, investičních a provozních nákladů či z pohledu prostorových nároků aj.

Klíčová slova

Distribuční síť, elektrické vedení, transformátor, návrh vedení, dimenzování, jištění, NN, VN, úbytek napětí, ztráty

Abstract

The aim of the bachelor thesis is to implement the designs of electrical power supply of a selected hotel complex and related technical and non-technical comparison. The subject is specifically to compare the power supply solution options through a centralized power centre, separate transformer stations located within the complex, for example in terms of the evaluation of active power losses on the line, investment and operating costs or in terms of space requirements, etc.

Keywords

Distribution network, power lines, transformer, line design, sizing, protection, LV, HV, voltage drop, losses

Bibliografická citace

ŠEDIVÝ, Tomáš. *Technicko-ekonomické srovnání návrhů řešení elektroinstalace hotelového komplexu* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-30]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142376>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Michal Ptáček.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Tomáš Šedivý*

VUT ID studenta: *220782*

Typ práce: *Bakalářská práce*

Akademický rok: *2021/22*

Téma závěrečné práce: Technicko-ekonomické variantní zhodnocení návrhu rozvodů hotelového komplexu

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 31. května 2022

podpis autora

Poděkování

Děkuji jednak vedoucímu bakalářské práce Ing. Michalu Ptáčkovi, Ph.D. a dále pak konzultantovi Ing. Janu Novotnému ze společnosti SUBTECH, s.r.o. za jejich odbornou pomoc a další cenné rady při zpracovávání mé bakalářské práce.

V Brně dne: 31. května 2022

podpis autora

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM TABULEK.....	9
ÚVOD	10
1. PŘEDPISY PRO NÁVRH ELEKTROINSTALCE	11
1.1 ELEKTRICKÉ POŽADAVKY	12
1.2 MECHANICKÉ POŽADAVKY	12
1.3 PODMÍNKY PROSTŘEDÍ	12
2. TRANSFORMÁTORY.....	13
2.1 TYPY TRANSFORMÁTORŮ.....	13
2.2 PARALELNÍ CHOD TRANSFORMÁTORŮ.....	14
2.3 VÝPOČET ZDÁNLIVÉHO VÝKONU TRANSFORMÁTORU.....	15
3. DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ	16
3.1 TYPY VODIČŮ	16
3.2 VEDENÍ TRAS.....	16
3.3 PODLE DOVOLENÉ PROVOZNÍ TEPLoty	18
3.4 DLE ÚBYTKU NAPĚTÍ.....	18
3.5 PODLE TEPELNÝCH ÚČINKŮ ZKRATOVÝCH PROUDŮ	19
4. NÁVRH JIŠTĚNÍ.....	21
4.1 OCHRANA PŘI PŘETÍŽENÍ	21
4.2 VÝBĚR JISTÍCÍCH PRVKŮ.....	22
5. NÁVRH ENERGOCENTRA – VARIANTA 1.....	23
5.1 NÁVRHU KABELU A JIŠTĚNÍ.....	23
5.2 VÝPOČET JOULOVÝCH ZTRÁT	25
6. NÁVRH DÍLČÍCH TRAFOSTANIC – VARIANTA 2	26
7. ZHODNOCENÍ Z HLEDISKA ZTRÁT A EKONOMIKY	27
7.1 VARIANTA 1 S ENERGOCENTREM.....	27
7.2 VARIANTA 2 S DÍLČÍMI TRAFOSTANICEMI.....	27
8. ZÁVĚR.....	28
LITERATURA.....	29
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	31
SEZNAM PŘÍLOH.....	33

SEZNAM OBRÁZKŮ

2.1 Paralelní chod transformátorů	14
---	----

SEZNAM TABULEK

3.1	Hodnoty krytí a sklonových podmínek vedení technického vybavení, převzato z [2].	17
-----	--	----

ÚVOD

Návrh elektrického napájení musí být v souladu s platnou legislativou či normami a standardy.

Tento fakt ovšem neudává jednostrannou cestu k návrhu napájení a mohou vznikat návrhy, které jsou diametrálně odlišné, i přestože splňují nároky a požadavky na ně kladené. Odlišnost nevychází pouze z pohledu přístupu projektantů, ale také závisí na celkovém investičním či provozním nákladu, jež je spjatý s danou realizovanou stavbou.

V této souvislosti přichází tato práce, která má za úkol poukázat na odlišné možnosti návrhu elektrického napájení na odlišnosti technického provedení v rámci norem. Dále posuzuje jejich technické a ekonomické provedení, aby v případě investice budoucího investora, mohl investor nahlížet na celkové zhodnocení komplexněji, například z dlouhodobého hlediska a aby návrh nebyl porovnáván pouze jako dvě varianty provedení.

1. PŘEDPISY PRO NÁVRH ELEKTROINSTALACE

Tato kapitola pojímá o nutných předpisech, které musí být splněny, aby byl návrh elektrického napájení korektní s požadavky pro návrh, provoz a údržbu celé instalace objektu. Objektem pro tuto práci, která je zadána firmou SUBTECH, s.r.o., je hotelový komplex tvořený třemi wellness centry, několika saunami, samotným hotelem, dvěma kuchyňskými prostory a restauracemi. Součástí je také prádelna. Bližší rozmístění jednotlivých objektů tohoto komplexu a jejich odběrů je zobrazeno v přílohách A.1 a A.2. Tento objekt je reálného původu, ovšem ze strany zadavatele zůstane anonymizovaný.

Následující informace jsou v přejaty z ČSN EN 61936-1 – Elektrická instalace AC nad 1 kV [1], které udávají požadavky pro korektní návrh elektrické instalace.

Instalace a jednotlivá zařízení, zejména kabelové vedení a jistící a ochranné prvky, musí být schopny odolat elektrickým, mechanickým a klimatickým vlivům jež jsou s instalací hotelového komplexu spojeny.

Samotný návrh musí obsahovat účel instalace, uživatelské požadavky týkající se kvality elektrické energie, spolehlivosti, dostupnosti a schopnosti elektrické sítě odolat působení přechodných podmínek, jako jsou rozběh velkých motorů, vypínání zátěže a opětovné připojení instalace pod napětí.

Dalšími součástmi návrhu je bezpečnost elektrické obsluhy a osob v okolí, vliv prostředí a možnost rozšíření, která by mohla mít vliv na celkový odběr komplexu a na uspořádání tras vedení. V hotelovém komplexu bude kladen důraz na ochranu osob a majetku před elektrickým proudem. Bude spočívat převážně v jistících a ochranných prvcích, které chrání síť komplexu před zkratovými proudy a přetížením a také osoby před úrazem elektrickým proudem. Mezi tato zařízení patří pojistky, jističe a proudový chránič.

Mezi další ochrany patří ochrany krytím, zábranou a polohou, které zajišťují, aby nekvalifikované osoby nepřišly do kontaktu s elektrickými zařízeními nebo jejich vodivými částmi a nezpůsobily tak škodu v instalaci nebo neohrozily svůj život nebo život ostatních osob v okolí. Typickým příkladem ochrany zábranou v tomto objektu jsou zamykatelné dveře do rozvodny nebo kryt rozvaděče.

Normy udávající důležité informace pro vytvoření korektního návrhu elektroinstalace jsou:

- ČSN 73 6005 – Prostorové uspořádání vedení technického vybavení [2]
- ČSN 33 2130 ed. 3 – Elektrické instalace nízkého napětí – Vnitřní elektrické rozvody [3]
- ČSN 60865-1 ed.2 – Zkratové proudy – Výpočet účinníku – Část 1: Definice a vypočtení metody [4]

- ČSN 38 1754 – Dimenzování elektrického zařízení podle účinků zkratových proudů [5]
- ČSN 33 2000 5–52 ed 2. – Elektrické instalace nízkého napětí – Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení – Elektrická vedení [6]

1.1 Elektrické požadavky

Uživatel pro návrh definuje jmenovitou hodnotu napětí, na které bude instalace provozována. V případě hotelového komplexu se jedná o hodnotu jmenovitého sdruženého napětí $U_n = 0,4$ kV.

Dále musí být každá část instalace navržena tak, aby odolala proudům za normálního provozu a také odolala mechanickým a tepelným účinkům zkratových proudů.

Mezi další elektrické požadavky patří jmenovitý kmitočet, na kterém bude síť provozována a způsob uzemnění uzlu transformátoru, podle kterého se volí volba ochrany sítě.

1.2 Mechanické požadavky

S mechanickými požadavky úzce souvisí pokládka kabelů. V případě hotelového komplexu se jedná o pokládku do země. Při této činnosti se kabely namáhají nejvíce.

Máme-li vykopanou trasu v zemi, do které se budou umisťovat kabely přímo do země nebo do ochranných trubek, a nachází se na tomto vymezeném úseku změna směru trasy, musí být dodržen maximální ohyb kabelu. Maximální ohyb kabelu závisí na jeho průřezu a tato hodnota bývá uvedena v katalozích [7] výrobce.

1.3 Podmínky prostředí

Instalace a zařízení, která jsou její součástí, musí být navrženy pro provoz za klimatických podmínek a podmínek prostředí níže uvedených.

Možná přítomnost kapalin, prachu a korozivních elementů se musí definovat takovým způsobem, ze kterého bude možné vybrat vhodné elektrické zařízení.

2. TRANSFORMÁTORY

V hotelovém komplexu jsou použity transformátory s vnitřní obsluhou pro transformaci hladiny napětí distribuční soustavy vysokého napětí 22 kV (VN) na hladinu nízkého napětí 0,42 kV (NN).

Veškeré transformátory budou v první variantě umístěny v energocentru, jež je zprostředkováno jako kiosková trafostanice, tudíž do komplexu budou rozváděny pouze rozvody NN. Druhá varianta napájení je také provedena kioskovými trafostanicemi s tím rozdílem, že tyto stanice budou rozmístěny na různá místa v komplexu a bude tedy nutné rozvést i vedení VN.

Součástí požadavků zadavatele je dodržení stupně dodávky elektrické energie pro komplex. Tyto stupně lze rozdělit do tří kategorií, jež jsou I, II a III [8]. Pro účely práce je zvolen druhý stupeň dodávky, kdy v případě výpadku jednoho z transformátorů bude možné nadále napájet komplex s omezeným provozem. Třetí stupeň dodávky není v projektech realizován, protože nezahrnuje zálohování v případě výpadku jednoho z transformátorů.

2.1 Typy transformátorů

Distribuční transformátory můžeme rozdělit do několika částí, především podle chladicího média. Chladicím médiem může být např. vzduch nebo olej. Podle druhu chladicího média bude také odlišná velikost, konstrukce a také cena transformátoru.

V obou případech práce se vyskytují olejové transformátory z důvodu nižší pořizovací ceny a jejich konstrukčního uspořádání. Vzduchové transformátory jsou z hlediska prostoru náročnější a jejich pořizovací cena je značně vyšší, než je tomu u transformátorů olejových.

Olejové transformátory stejně jako vzduchové se vyrábí výrobcem Kočí Valášek [9], [10] ve jmenovitých řadách výkonu od 50–3150 kVA. Pro napájení komplexu byl zvolen olejový transformátor aTOHn se zapojením Dyn1. Jeho rozměry jsou 1470x1975x960 mm.

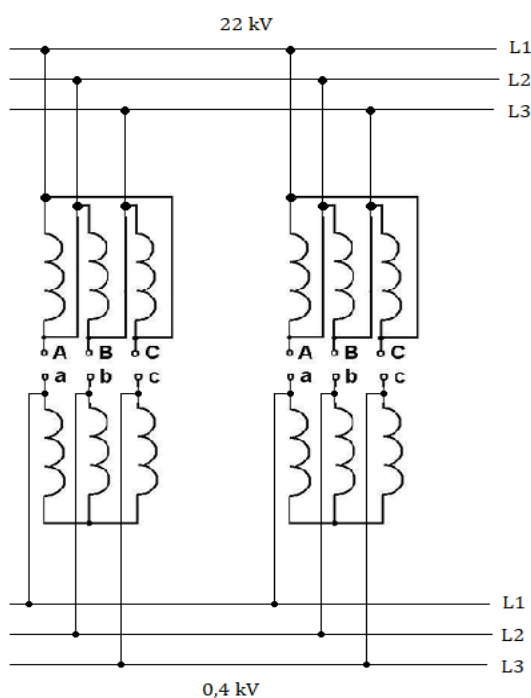
Mezi další důležité parametry udávané výrobcem lze zařadit napětí nakrátko (6 %), akustický tlak (44 dB) a akustický výkon (52 dB) [10].

2.2 Paralelní chod transformátorů

Princip paralelního chodu transformátorů spočívá v tom, že jsou dva nebo více transformátorů připojeny primární stranou ke stejné síti a sekundární stranou ke stejné zátěži.

Pro hotelový komplex byl v rámci prvotních návrhů uvažován také paralelní chod transformátorů, ovšem kvůli identifikovaným velkým zkratovým poměrům v síti se tento požadavek ze strany zadavatele práce zrušil a přistoupilo se výhradně k návrhům provedení, které paralelní chod nezahrnují. Bylo tak učiněno z důvodu, protože nebylo možné rozvaděče umístěné v jednotlivých budovách vypínat odpínači. Tyto odpínače měli menší zkratovou odolnost než zkraty, které by se při tomto chodu mohli v síti vyskytnout. Bylo by tedy nutné jednotlivé rozvaděče vypínat jističi s vyšší zkratovou odolností, což by se mohlo jevit jako ekonomicky nákladnější.

Blokové schéma zapojení dvou paralelních transformátorů je zobrazeno na obrázku 2.1.



Obrázek 2.1 Paralelní chod transformátorů

2.3 Výpočet zdánlivého výkonu transformátoru

Informace obsažené v této podkapitole jsou přežaty z [8].

Pro výpočet zdánlivého výkonu S je nutné nejprve stanovit skutečný odebíraný výkon P_s ,

$$P_s = P_i \cdot B, \quad (2.1)$$

kde P_s je skutečný odebíraný výkon (W), P_i je instalovaný výkon (W), B je součinitel náročnosti (-).

Je-li v komplexu více odběrných míst musí se stanovit celkový skutečný odebíraný výkon,

$$P_{s,c} = \sum_{h=1}^k (P_{s1} + P_{sh} + P_{sk}), \quad (2.2)$$

kde $P_{s,c}$ je celkový skutečný odebíraný výkon (W), P_{s1} je dílčí odběr části komplexu (W), h je číslo odběru (-) a k je k-tý odběr (-).

Výpočet celkového zdánlivého výkonu je tedy,

$$S = \frac{P_{s,c}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi}, \quad (2.3)$$

kde S je zdánlivý výkon odběru (VA), $\cos\varphi$ je účinník sítě komplexu (-) a φ je fázový posuv (°).

Z celkového zdánlivého výkonu a výkonu transformátoru lze určit přesný počet transformátorů vztahem,

$$n = \frac{S}{S_{nT}}, \quad (2.4)$$

kde n je počet transformátorů (ks) a S_{nT} je výkon jednoho transformátoru (VA).

V případě druhého stupně dodávky lze určit zatížení transformátorů v případě výpadku jednoho z nich vztahem

$$\gamma_s = \frac{P_p}{(n-1) \cdot S_{nT} \cdot \cos\varphi}, \quad (2.5)$$

kde γ_s je skutečné zatížení transformátorů (-) a P_p je výpočtové zatížení (W).

3. DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ

Cílem této kapitoly je stanovení konkrétních postupů pro návrh vodičů, jež budou použity v hotelovém komplexu, aby odolali všem účinkům při přetížení a zkratu. Veškeré informace obsažené v této kapitole jsou přejaty z [8].

Vodiče se musí v provozních poměrech dimenzovat tak, aby jejich provozní teplota nepřesáhla jejich nejvyšší dovolenou provozní teplotu. Průřezy musí být navrženy v hospodárných mezích. Musí být dostatečně mechanicky pevné a úbytek napětí na nich vytvořených musí být ve stanovených mezích. Všechny musí také odolat dynamickým a tepelným účinkům zkratových proudů.

Kabely byly pro návrh hotelového komplexu vybrány od výrobce PRAKAB, s.r.o. z katalogu výrobce [7] a jejich cena byla stanovena na základě ceníku poskytnutého taktéž firmou PRAKAB, s.r.o. [11].

3.1 Typy vodičů

Pro účely práce není zadavatelem přímo stanoveno, jaké materiály vodičů a jejich izolací mají být použity. Z tohoto důvodu je tedy nutné dbát především na hospodárné průřezy vzhledem k délce tras, velikosti proudů a také na maximální dovolené teploty izolace při provozu, přetížení a zkratu. Tyto teploty jsou dány normou ČSN 33 2000 5 - 52 ed. 2 [6].

Materiály vybrané pro vodiče vedení hotelového komplexu jsou měděné a hliníkové. Jejich izolace je tvořena polyvinylchloridem (PVC).

V porovnání proudové zatížitelnosti je mnohem lepší variantou měď, ovšem z ekonomického hlediska je tato varianta mnohem nákladnější [7],[11]. Z tohoto pohledu bude tedy nutné zkoumat několik variant, tak aby při finálním návrhu byly vodiče zatíženy z požadavků zadavatele přibližně z 80 % a jejich cena byla, pokud možno, co nejmenší. Tento předpoklad se týká hlavně první varianty napájení, kdy vodiči tečou značné proudy a vznikají zde na vedení značné ztráty.

V druhé variantě budou použity obdobné materiály, ovšem zde je výhoda rozvodů VN vedení po komplexu, kdy ve vodičích nepotečou velké proudy a jejich průřezy budou v menší cenové relaci, což se zdá být z ekonomického hlediska výhodnější.

3.2 Vedení tras

Předpisy a požadavky pro návrh tras vedení jsou převzaty z ČSN 73 6005 [2]. Mezi základní pokyny pro návrh tras patří prostorová koordinace. Prostorová koordinace se zaměřuje na vhodné umístění potřebných tras vedení.

Vedení by mělo být umístěno tak, aby nedošlo ke kolizi s ohledem na umístění budov, ostatních tras technického vybavení, zařízení či příslušenství. Vedení musí být umístěno alespoň jeden metr od budovy a jeho trasa by měla vést s osou uličního prostranství. Je-li v návrhu konstatována možnost rozšíření komplexu, je nutné trasy technického vybavení uspořádat tak, aby nedošlo ke kolizi.

U tras technického vedení je nutné mít manipulační prostor pro příjezd vozidel a zařízení pro nutnou údržbu. Všechny práce na vymezeném úseku by se měly provádět tak, aby byl co nejvíce omezen zásah do životního prostředí v této oblasti a případné škody musí být co nejdříve napraveny. Křížení tras vedení s místními komunikacemi by mělo být, pokud možno kolmé, a jejich počet co nejmenší. Žádné další technické vybavení nesmí zasahovat do tras vedení. Zásah je umožněn v ojedinělých případech, a to pouze po domluvě s provozovatelem vedení.

V hotelovém komplexu bude tedy nutné pro dvě varianty rozvodů napájení brát ohled na tyto požadavky. Konkrétně to bude znamenat, že je nutné zvážit kolik tras vedení bude umístěno v jednom příkopu a jak se v případě druhé varianty od sebe oddělí vedení VN a NN. Důvod, proč je nutné zvážit jaký počet vedení je uložen v jednom příkopu je popsán v části 3.3.

Návrh vedení do země ovlivňuje také situace, podle které se volí hloubka příkopu, do kterého bude vedení umístěno. Může to být například volný terén, chodník či vozovka. Hloubka bude ovlivněna rovněž jmenovitým napětím daného vedení.

Parametry hloubky pro jednotlivé případy umístění tras vedení uvádí tabulka 3.1

Tabulka 3.1 Hodnoty krytí a sklonových podmínek vedení technického vybavení, převzato z [2].

Druh VTV či ochranné konstrukce VTV	Nejmenší krytí v mm ¹⁾			Maximální krytí (mm)	Sklonové podmínky	
	Chodník	Vozovka ³⁾	Volný terén		Min (%)	Max (%)
Silové kabely				MM	NS	NS
do 1 kV	350	1000	350/750 ⁵⁾			
do 10 kV	500 ⁶⁾	1000	700			
do 35 kV	1000	1000	1000			
MM nspecifikováno, ale stanovené minimum lze současně považovat za doporučené maximum NS nspecifikováno						
¹⁾ Vzdálenosti se měří mezi vnějšími povrchy kabelů, potrubí nebo šachet (pokud je rozměr šachet větší, než rozměr příslušného potrubí) nebo ochranné konstrukce a povrchem terénu.						
³⁾ Do této kategorie patří všechny části povrchu veřejného prostoru určeného pro provoz a stání vozidel. Hodnoty krytí je nutné přizpůsobit konstrukci vozovky (konstrukci jejího zpevněného povrchu).						
⁵⁾ Kabely bez ochrany proti mechanickému poškození podle ČSN 33 2000-5-52 ed. 2.						
⁶⁾ Při obnově elektrorozvodných zařízení s přechodem na vyšší napětí lze u již uložených kabelů 3 kV až 6 kV na nezbytnou dobu zmenšit hodnotu jejich krytí až na 350 mm.						

3.3 Podle dovolené provozní teploty

Provozní teplota v_z i přípustné zatížení v normálních provozních stavech závisí na typu kabelu, charakteristice provozu, prostředí, uložení a zátěže. Informace obsažené v této podkapitole jsou přejaty z [8].

Mez dovolené provozní teploty je stanovena výrobcem a udává se z důvodu možného poškození izolace a nárůstu přechodového odporu.

Prostředí, ve kterém je vodič či kabel umístěn má zásadní vliv na odvod tepla vzniklého provozním proudem, čímž je ovlivněna provozní teplota jejich jader. Provozní teplota je ovlivněna druhem prostředí, jež charakterizuje, zda je kabel umístěn na vzduchu, ve vodě nebo půdě. Dalším parametrem, který má vliv na provozní teplotu je teplota prostředí v_0 a tepelný odpor půdy H . Tepelný odpor půdy vyjadřuje, jak suchá nebo mokrá půda v dané oblasti je. Pro účely hotelového komplexu byla zadavatelem stanovena hodnota 0,7 Km/W, jež vyjadřuje vlhkou vápencovou půdu typickou pro prostředí české republiky. Pro porovnání je hodnota 2 Km/W typická pro půdy v prostředí málo se vyskytujících dešťů.

Bude-li v příkopu umístěno více vodičů je nutné tuto skutečnost brát v potaz kvůli poklesu jmenovité hodnoty proudu vodičem. Je to z důvodu nižšího koeficientu k vyjadřujícího charakteristiku prostředí, v němž se vodiče nachází.

Návrh vedení do země ovlivňuje také situace, podle které se volí hloubka příkopu, do kterého bude vedení umístěno. Může to být například volný terén, chodník či vozovka. Hloubka bude ovlivněna rovněž jmenovitým napětím daného vedení.

Pro výpočet referenčního proudu v závislosti na charakteristice prostředí a uložení platí následující vztah

$$I_{NK} = \frac{I_z}{\sum_{x=1}^n k_1 + k_x + k_n}, \quad (3.1)$$

kde I_{NK} je referenční hodnota proudu (A), I_z je odebíraný proud (A), k je konstanta vyjadřující prostředí a uložení (-). Například se může jednat o počet kabelů umístěných v jedné kabelové jamce, teplota okolí, tepelný odpor půdy aj.

Z hodnoty referenčního proudu je následně vybrán průřez vodiče.

3.4 Dle úbytku napětí

Úbytek napětí neboli odchylka od jmenovité hodnoty je ukazatel kvality dodávky elektrické energie. Z tohoto důvodu je rovněž vedení dimenzováno tak, aby vyhovovalo požadavkům norem a odběratele a aby při předpokládaném zatížení nezpůsobilo nedovolený úbytek na svorkách spotřebičů.

Dovolenými úbytky napětí se zabývá ČSN 33 2130 ed. 3 [3], jež udává, že veškeré rozvody mezi přípojkovou skříní a rozvodnicí za měřicím zařízením nemá přesáhnout u odběru jiného než světelného $\pm 5\%$ jmenovité hodnoty napětí. Světelné odběry nejsou v této práci uvažovány, protože se práce zaměřuje na hlavní páteřní napájení budov, nikoli na kompletní elektroinstalaci včetně zásuvek, svítidel apod. Veškeré vedení v komplexu určené pro napájení jednotlivých bloků bude dimenzováno tak, aby v koncových spotřebičích neboli rozvaděčích byl úbytek napětí do 5% jmenovité hodnoty napětí 230/400 V. Velkou výhodou může být zvýšení napětí transformátoru na straně NN, čímž se naskytne možnost dimenzovat vedení se zvýšeným úbytkem napětí, aniž by hodnota úbytku klesla pod dovolenou mez stanovenou normou.

Napětí a jeho úbytky v jednotlivých místech rozvodu se stanoví metodami řešení ustáleného stavu v síti.

Úbytek napětí ve vodiči se vypočte dle vztahu

$$\Delta U = \rho \cdot \frac{l}{s} \cdot I_z \cdot \cos\varphi + X \cdot I_z \cdot \sin\varphi, \quad (3.2)$$

kde ΔU je úbytek napětí (V), ρ je měrný elektrický odpor ($\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$), l je délka vodiče (m), s je průřez vodiče (mm^2), I_z je odebíraný proud (A) a X je reaktance vodiče (Ω).

Pro výpočet procentuální hodnoty úbytku napětí platí vztah

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U}{U_{nf}} \cdot 100 = \frac{\Delta U}{U_{ns}} \cdot 100, \quad (3.3)$$

kde $\Delta u_{\%}$ je procentuální hodnota úbytku (%), U_{nf} je fázové napětí sítě (V) a U_{ns} je sdružené napětí sítě (V).

3.5 Podle tepelných účinků zkratových proudů

Tento typ namáhání se týká veškerých druhů a typů vedení. Informace obsažené v této kapitole jsou přežaty z [8], ovšem podrobným popisem se zabývá ČSN 60865-1 ed. 2 [4] a ČSN 38 1754 [5].

Při návrhu se stanoví minimální průřez vodičů s_{\min} , u kterého nedojde k ohřátí vodiče nad nejvyšší dovolenou teplotu při zkratu v_k . Tato teplota je charakterizována krátkodobým oteplovacím proudem I_{th} a je stanovena s ohledem na stárnutí izolace a zmenšení mechanické pevnosti při tepelném nárazu.

Oteplení vyvolané zkratovým proudem je považováno za děj adiabatický, kdy nedochází k tepelné výměně mezi vodičem a okolím. Při průchodu zkratového proudu za určitý časový interval t_k se ohřeje jádro z provozní teploty v_z na hodnotu v_k . Uvažuje se nejvyšší možná doba zkratu t_k .

Pro výpočet je stanovený normou předpoklad vyjadřující, že teplo vyvinuté proudem je rovné teplu akumulovanému ve vodiči.

Pro výpočet minimálního průřezu platí vztah

$$s_{\min} = \frac{I_{\text{th}} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c \cdot (v_f + 20) \cdot \ln\left(\frac{v_f + v_k}{v_f + v_z}\right)}{\rho_{20}}}} < s_n, \quad (3.4)$$

kde s_{\min} je minimální průřez, který odolá dynamickým a tepelným účinkům zkratových proudů (mm^2), I_{th} je krátkodobý oteplovací proud (A), t_k je doba vypnutí zkratu (s), c je specifické teplo vodiče při 0 °C ($\text{J}/\text{cm}^3/^\circ\text{C}$), v_f je fiktivní teplota (°C), ρ_{20} je specifický odpor materiálu při 20 °C (Wmm^2/m), v_k je nejvyšší dovolená teplota při zkratu (°C), v_z je nejvyšší dovolená provozní teplota (°C) a s_n je jmenovitý průřez vodiče (mm^2).

Hodnota c je různá pro různé materiály vodičů. Pro měď činí hodnota $3,5 \text{ J}/\text{cm}^3/^\circ\text{C}$ a pro hliník je $2,417 \text{ J}/\text{cm}^3/^\circ\text{C}$. Fiktivní teplota v_f opět nabývá různých hodnot pro různé materiály. Konkrétně pro měď je hodnota $234,5 \text{ }^\circ\text{C}$ a pro hliník $228 \text{ }^\circ\text{C}$. Nejvyšší dovolená provozní teplota v_z a nejvyšší dovolená teplota při zkratu v_k se týká izolace vodičů a vyjadřují teplotu při které se izolace zachová po určitou dobu svoji materiálovou pevnost. Hodnoty udává výrobce v katalogu [7].

4. NÁVRH JIŠTĚNÍ

Cílem této kapitoly je stanovení konkrétních podmínek a výpočtů pro korektní návrh jištění rozvodů hotelového komplexu proti účinkům přetížení a zkratů. Informace obsažené v této kapitole jsou převzaty z [8].

Ochrana pracovních vodičů před nadproudy musí být zprostředkována jedním, nebo více prvky pro samočinné přerušování napájení. Pokud bude ochranu přetížení poskytovat pouze jediný jistící prvek, jedná se o prvek proti přetížení, jehož vypínací schopnost je větší než hodnota předpokládaného zkratového proudu. Budou-li ochranu reprezentovat samostatné jistící prvky, musí být jejich charakteristiky koordinovány tak, aby energie, kterou propouští jistící prvek, nepřesáhla hodnotu energie, která by mohla poškodit prvek proti přetížení. Ochrana nezajišťuje ochranu připojených zařízení a jistí pouze pracovní vodiče.

Mezi hlavní zásady, které ovlivní výběr prvku patří:

- Jádru jištěného kabelu nesmí při přetížení a zkratu přesáhnout dovolenou teplotu.
- Pokud je stanovena nejvyšší dovolená teplota nesmí povrch vedení tuto hodnotu překročit při přetížení a pokud je v příslušné normě uvedeno tak i při zkratu.
- Za normálního provozu se nesmí uplatnit působení jistících prvků.
- Jistící prvky mají vždy vybavit pouze postiženou část rozvodu.

4.1 Ochrana při přetížení

Vybrané jistící prvky musí plnit funkci, aby vyply každé přetížení dříve, než by mohlo dojít k nežádoucímu oteplení izolace, spojů, koncovek a okolí vedení.

Funkční charakteristiky vybraných prvků musí vyhovovat požadavku

$$I_B \leq I_N \leq I_Z, \quad (4.1)$$

kde I_B je skutečné zatížení (A), I_N je jmenovitý proud jistícího prvku (A), I_Z je dovolené proudové zatížení podle (3.1) (A).

Po vybrání vhodného jistícího prvku je nutné početně ověřit, zda se oteplení izolace nedostane za hranici dovolené teploty. Pro stanovení maximální hodnoty dovoleného oteplení vodiče platí vztah

$$\Delta v_z = v_z - v_0, \quad (4.2)$$

kde Δv_z je dovolené provozní oteplení (°C) a v_0 je teplota okolí (°C).

Maximální dovolené oteplení při nadproudu je vyjádřeno vztahem

$$\Delta v_m = \Delta v_z \cdot i^{2,492}, \quad (4.3)$$

kde Δv_m je maximální oteplení, které způsobí nadproud ($^{\circ}\text{C}$), $i = I_2 / I_z (-)$, I_2 je poměrný nadproud (A), I_z (A) je zatížení způsobující maximální oteplení při přetížení (A). Vztah platí pro izolované vodiče.

Po stanovení maximální hodnoty oteplení je nutné stanovit oteplení v čase od počátku průchodu proudem. Toto oteplení je vyjádřeno vztahem

$$\Delta v(t_v) = \Delta v_m \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_v}{\tau}}\right), \quad (4.4)$$

kde $\Delta v(t_v)$ je oteplení v čase t_v ($^{\circ}\text{C}$), t_v je čas od počátku průchodu proudem nebo nadproudu (s), τ je časová oteplovací konstanta udávaná výrobcem, je to hodnota proudem, při které se vodič oteplí na maximální dovolenou teplotu při proudovém přetížení (s).

Posledním krokem je stanovení celkové hodnoty oteplení vztahem

$$v = \Delta v(t_v) + v_0, \quad (4.5)$$

kde v je výsledná teplota vodiče ($^{\circ}\text{C}$).

Pokud platí, že $v \leq v_z$, pak je návrh jistícího prvku správný. Pokud tato podmínka nebude platit je nutné snížit jmenovitou hodnotu jistícího prvku nebo zvýšit průřez vodiče, je ovšem nutné brát ohled na (4.1).

4.2 Výběr jistících prvků

Jistící prvky byly vybrány na základě požadavků zadavatele od výrobce SIMENS [12], [13].

Pro účely práce v projektu jsou v objektu obsaženy kompaktní jističe s elektronickou spouští, které obvod jistící proti zkratu i přetížení.

Konkrétní typ je stanoven na základě programu Sichr [14] od výrobce OEZ, kterým lze ověřit, zda je nebo není vedení přetěžováno a zda u jistících prvků je zaručena selektivita.

5. NÁVRH ENERGOCENTRA – VARIANTA 1

Pro návrh energocentra byl z hodnot zadaných zadavatelem uvedených v příloze A.2 určen celkový zdánlivý výkon komplexu.

Výpočet tohoto výkonu byl stanoven pomocí rovnic (2.1)-(2.3) a jeho výsledná hodnota je 2729,2 kVA. Podle rovnice (2.4) byly stanoveny čtyři transformátory pro napájení celého komplexu.

Dalším krokem bylo rozdělení napájení jednotlivých sekcí komplexu transformátory. Bylo nutné klást důraz na to, aby byly jednotlivé transformátory zatíženy rovnoměrně.

Schématu napájení jednotlivými transformátory jsou zobrazena v přílohách B.4 - B.7. Umístění napájecího vedení a budovy energocentra je součástí situačního schématu v příloze B.1.

Energocentrum jakožto hlavní rozvodna pro celý komplex je zobrazena na dalším situačním výkresu v příloze B.2. Rozvaděče VN jsou vybrány od výrobce Schneider Electric [15].

Pokud by nastala situace, kdy v případě výpadku nebo revize nebude možné provozovat jeden z transformátorů, jsou v centru umístěny rozvaděčové pole RZ, které plní funkci podélné přípojnice a lze díky nim zálohovat sekci napájenou odpojeným transformátorem. V tomto případě budou sekce napájené ze zálohy a sekce, které napájí zálohující transformátor, provozovány na 50 % jmenovitého výkonu. Pro případ, že by nebylo dodrženo toto zatížení, je vedení mezi jednotlivými poli RZ dimenzováno na jmenovitý výkon transformátoru. Provozní schéma energocentra je zobrazeno v příloze B.3.

5.1 Návrhu kabelu a jištění

Tato podkapitola uvádí konkrétní příklad návrhu části vedení hotelového komplexu ve variantě energocentra. Jako názorný příklad bylo vybráno schéma uvedené v příloze B.6. Výpočet se vztahuje na kabel 1L3.

Z hodnot tabulky uvedené v příloze A.2, jedná se o část hotel, pokoje č. 1 a 2, kongres a kuchyni č. 1, byl spočítán celkový činný výkon 675 kW pomocí rovnic (2.1) a (2.2). Z této hodnoty výkonu byl následně spočítán proud, jehož hodnota je 1026 A. Z důvodu velkého zatížení kabelu tímto proudem bylo nutno použít vícero paralelně spojených vodičů, do kterých se rovnoměrně rozdělí proud. Je nutné paralelně spojit pouze kabely se stejným průřezem, protože v opačném případě by vznikl rozdílný odpor vodičů.

Z katalogu výrobce [7] byl vybrán kabel 1-YY 1x240 s referenčním proudovým zatížením 485 A. Výsledná maximální hodnota odebíraného proudu dle rovnice (3.1),

pro vedení 1L3, v příloze B.6, je 451 A. Pokud je tedy takto možné zatěžovat jednu větev celkové zatížení všech paralelních větví je 1353 A.

Prvním krokem bylo stanovení konstanty k uvedené v rovnici (3.1), jejíž hodnota je 0,930. Tato hodnota byla určena pomocí programu Sichr na základě zadání referenčních podmínek prostředí a uložení. Konkrétními podmínkami jsou uložení na vzduchu, 3 zatížené vodiče vedle sebe ve svazku do trojúhelníku a referenční teplota 30°C.

Jakmile byl navržen průřez kabelu, vedoucího od transformátoru do hlavního rozvaděče a jímž je možné vést odebíraný proud, lze ověřit podmínku úbytku napětí na kabelu uvedené v 3.4. Po dosazení do rovnice (3.2) a (3.3) vyšla procentuální hodnota úbytku napětí pro vedení 1L3, v příloze B.6, 0,091 % vztahující se k jmenovité sdružené hodnotě napětí 400 V, kde jmenovitá reaktance na jednotku délky je 0,0788 Ω/km a účinník 0,95. Hodnota úbytku je vztažena ke sdružené hodnotě napětí z důvodu, že program Sichr přirovnává úbytky napětí také ke sdružené hodnotě a proto to bylo nutné takto provést i v rámci výpočtu, aby bylo možné porovnat výslednou hodnotu. Musí se ovšem brát v potaz nárůst rezistivity mědi průchodem proudem. Hodnoty se neshodují s hodnotami udávanými programem Sichr B.15 a to o 0,109 %. Je to způsobeno tím, že program Sichr počítá také s úbytky napětí na jističích prvcích, které po rozhodnutí zadavatele nebudou uvažovány v konkrétním příkladu výpočtu.

Další podmínka, kterou bylo nutné ověřit, je zkratová odolnost vodiče při průchodu krátkodobého oteplovacího proudem. Po dosazení do rovnice (3.4) vychází minimální průřez vodiče pro vedení 1L3, v příloze B.6, 139,1 mm^2 . Do rovnice byly dosazeny hodnoty uvedené v [8], proud 25 kA s dobou odpojení při zkratu 0,4 s a maximální dovolenou teplotou při zkratu, udávanou výrobcem [6], 160 °C. Podle rovnice (3.4) je tedy tato podmínka splněna.

Posledním krokem návrhu je ověření, zda při průchodu nadproudu vybaví jistič za správný čas. Tím je myšleno, aby izolace vodiče při průchodu tohoto proudem byla oteplena maximálně na dovolenou teplotu při přetížení, protože malé nadproudy bude jistič vypínat, oproti zkratům, s časovou prodlevou. Postup, pro ověření je-li jmenovitá hodnota jističe navržena správně, je uveden v části 4.1. Po dosazení do rovnice (4.1) je dovolené provozní oteplení 40 °C pro vedení 1L3, uvedené příloze B.6. Maximální hodnota oteplení podle (4.3) je 24,75 °C. Dosazením do (4.4) je hodnota oteplení v čase t_v 21,4 °C. Přičtením této hodnoty k teplotě prostředí (4.5) je celková teplota izolace vodiče 51,4 °C. Tato hodnota je menší než maximální oteplení při přetížení pro izolaci PVC 70 °C a s touto skutečností je možné konstatovat, že je jištění navrženo správně.

5.2 Výpočet Joulových ztrát

Tato podkapitola znázorňuje konkrétní příklady výpočtu ztrát na vedení určitých sekcí komplexu. Ztráty na vedení jsou jedním z parametrů, které se budou v závěru této práce porovnávat mezi variantou energocentra vs. dílčí trafostanice. Joulovy ztráty jsou vyjádřeny rovnicí

$$\Delta P = 3 \cdot \frac{R}{p} \cdot I_z^2 = 3 \cdot \rho \cdot \frac{l}{p \cdot S} \cdot I_z^2, \quad (5.1)$$

kde ΔP jsou Joulovy ztráty (W), R je činný odpor vodiče (Ω) a p je počet vodičů na fázi (-).

Pro konkrétní příklad výpočtu bylo zvoleno stejné schéma jako v 5.1, tj. dle přílohy B.6, kde dosazením hodnot do rovnice (5.1) ztráty činného výkonu na kabelu 1L3 nabývají hodnot 903 W. Vypočtená hodnota vychází o 0,11 % vyšší od hodnoty určené programem Sichr B.15. Je to způsobeno zaokrouhlováním, neboť program počítá na více desetinných míst.

6. NÁVRH DÍLČÍCH TRAFOSTANIC – VARIANTA 2

Tato kapitola pojednává o 2. variantě návrhu elektrického napájení hotelového komplexu neboli umístěním dílčích trafostanic v pozemku.

Umístění a počet dílčích trafostanic bylo stanoveno tak, že se energocentrum zmíněné v 5 rozdělilo na dvě samostatné budovy se dvěma transformátory. Umístění jednotlivých stanic a vedení je zobrazeno v příloze C.1.

Ze strany zadavatele bylo rozhodnuto, že bude vytvořena hlavní VN rozvodna na pozici energocentra, aby nebylo nutné umisťovat do jednotlivých trafostanic rozváděčové pole pro měření. Konkrétní situační výkres této rozvodny a dílčích trafostanic je zobrazen v přílohách C.2 - C.4.

Jak bylo zmíněno v části 5, VN rozváděče jsou vybrány od výrobce Schneider Electric [15] a je nutné v případě výpadku jednoho z transformátorů zálohovat jim napájené sekce. Proto bylo nutné propojit NN část stanic vedením pro případnou zálohu. Provozní stav pro tento případ je zobrazen na schématu v příloze C.5.

Napájení jednotlivých sekcí komplexu je téměř stejné a jednotlivá schémata napájení transformátory jsou zobrazena v přílohách C.6 - C.9.

Co se týká návrhu NN vedení, bylo učiněno stejných postupů jako v 5.1. Jediným rozdílem tedy je, že v tomto projektu bude rozváděno napájení trafostanic VN společně s vedením NN.

Rovněž ze strany zadavatele bylo nutné navrhnout vedení VN tak, aby úbytek napětí na těchto kabelech byl do 2 %. Do rovnice (3.2) a (3.3) byly dosazeny hodnoty a celkový procentuální úbytek napětí pro kabel 22-AXEKVCEY 1x50 mm² [7] je 0,001 %. Tato hodnota je menší než požadovaná hodnota udaná zadavatelem práce, a proto lze tedy tento kabel použít.

7. ZHODNOCENÍ Z HLEDISKA ZTRÁT A EKONOMIKY

Tato kapitola pojednává o celkovém zhodnocení obou variant návrhu. Zhodnoceny jsou investiční a provozní náklady společně se ztrátami na jednotlivých vedeních každého projektu.

7.1 Varianta 1 s energocentrem

Varianta s energocentrem spočívala v rozvodu vedení NN dále do komplexu.

Z důvodu velkého odběru bylo zřejmé, že vedením potečou značné proudy a budou tedy na něm vznikat i značné ztráty. Celkové ztráty na vedení pro tuto variantu činí 83,2 kW. Dílčí ztráty na vedení jsou zobrazeny v přílohách B.13 - B.16.

Pro stanovení pořizovacích nákladů bylo nutné určit nejen ceny kabelů a jistících prvků, ale také nacenit různé typy prací [16], které se při realizaci tohoto projektu uplatní. Konkrétní případ takovéto činnosti je hloubení kabelové rýhy nebo její zasypání. Výpis rozpočtu pro variantu s energocentrem je uveden v přílohách B.8 - B.12. Celková cena pro tento případ napájení je 9 342 973 Kč.

7.2 Varianta 2 s dílčími trafostanicemi

Ve druhé variantě napájení, jak bylo zmíněno v 6, je celý komplex napájen dílčími trafostanicemi.

Bylo proto nutné po komplexu rozvést kromě vedení NN také vedení VN. Velkou výhodou pro tuto variantu je, že se značně sníží ztráty na vedení, jejichž celková hodnota je 66,3 kW. Při porovnání s první variantou se ztráty na vedení zmenšily o 16,94 kW, což se projeví z dlouhodobého hlediska na odběru elektrické energie. Soupis dílčích ztrát na vedení pro tuto variantu je zobrazen v přílohách C.15 - C.18.

Pro stanovení pořizovacích nákladů této varianty napájení bylo postupováno stejně jako u části 7.1 a celková cena je 11 405 934 Kč. Výpis rozpočtu je uveden v přílohách C.10 - C.14.

8. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvořit dva projekty demonstrující různé metody návrhu elektrického napájení hotelového komplexu a porovnat je z hlediska ztrát na vedení, ekonomických pořizovacích nákladů a z hlediska prostorových nároků.

Varianta s energocentrem má snížené nároky na prostor z důvodu nezačlenění VN vedení do komplexu, ovšem tento fakt je za cenu velkých ztrát na vedení. Z ekonomického hlediska je i levnější a to o 2 062 961 Kč, z důvodu menšího počtu VN rozvaděčů umístěných v energocentru.

Druhá varianta s dílčími trafostanicemi, ač má ztráty menší o 16,94 kW, je dražší než varianta s energocentrem kvůli zvýšenému počtu VN rozvaděčů. Dále je nutné brát v potaz, že tato varianta klade větší požadavky na prostorové nároky z hlediska jam, do kterých se umísťuje vedení VN, což může mít velký vliv na případné budoucí rozšíření komplexu.

Pokud by se mělo rozhodnout, která z těchto variant je výhodnější, bude velmi záležet na požadavcích investora. Pokud by investor požadoval projekt s nižší cenou a menšími prostorovými nároky, kvůli případnému budoucímu rozšíření komplexu, varianta s energocentrem se jeví jako výhodnější. Pokud by se na tyto projekty pohlíželo z hlediska ztrát a odběru, bude výhodnější varianta s dílčími trafostanicemi, protože kvůli nižším ztrátám se z dlouhodobého hlediska sníží i finanční náklady za spotřebu elektrické energie.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 61936-1. *Elektrické instalace nad AC 1 kV - Část 1: Všeobecná pravidla*. Biskupský dvůr 1148/5, 110 00 Praha 1: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [2] ČSN 73 6005. *Prostorové uspořádání vedení technického vybavení*. 2. vydání. Biskupský dvůr 1148/5, 110 00 Praha 1: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [3] ČSN 33 2130 ed. 3. 3. vydání. Biskupský dvůr 1148/5, 110 00 Praha 1: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [4] ČSN 60865-1 ed.2 Zkratové proudy – Výpočet účinků – Část 1: Definice a vypočtení metody.
- [5] ČSN 38 1754 Dimenzování elektrického zařízení podle účinků zkratových proudů.
- [6] ČSN 33 2000-5-52 ED. 2. Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení - Elektrická vedení. Ed. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [7] Katalog produktů. *Www.prakab.cz* [online]. Ke Kablu 278, 102 00 Praha 10 – Hostivař: Prakab Pražská kabelovna, 2017 [cit. 2021-11-22]. Dostupné z: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.prakab.cz%2Fupload%2FPRAKAB_katalog.pdf&cLen=12238599&chunk=true
- [8] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení* [online]. VUT FEKT Brno: VUT FEKT, 2015 [cit. 2021-11-29]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16989703-Rozvodna-zarizeni-autor-textu-ing-jaroslava-orsagova.html>
- [9] KOČÍ VALÁŠEK. *Suché distribuční transformátory*. Dyje 163, 669 02 Dyje, 2021.
- [10] KOČÍ VALÁŠEK. *Olejoyé distribuční transformátory dle normy EN IEC 60076, EN 50588-1, EÚ 2019/1783, EÚ č.548/2014, EkoDesign2021, AA0Ak max., vinutí Al*. Dyje 163, 669 02 Dyje, 2021.
- [11] *Ceník kabelů a vodičů*. Ke Kablu 278, 102 00 Praha 10-Hostivař, 2022. Dostupné také z: <https://www.prakab.cz/>
- [12] *3VA katalog*. Siemensova 1, 155 00 Praha 13, 2015. Dostupné také z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:c970a98a-8086-4b39-8a0e-650e7ef8dda4/3va-katalog.pdf>
- [13] *OEZ Export zboží*. Šedivská 339 561 51 Letohrad, 2022. Dostupné také z: <https://www.oez.cz/modra-planeta>
- [14] SICHR, SICHR verze 22 [software], 1999 [2022-5-23]. Dostupné z: <https://www.oez.cz/sluzby/vypoctovy-program-sichr>

- [15] *Katalog - Modulární rozváděče SM6*. U TREZORKY 921/12 – 158 00 Praha 5, 2018. Dostupné také z: <https://www.se.com/cz/cs/product-range/970-sm624/?parent-subcategory-id=87899&filter=business-6-vn-distribuce-a-automatizace-el-s%C3%ADt%C3%AD#documents>
- [16] *Cenová soustava RTS DATA*. Lazaretní 13 | Brno | 615 00, 2020. Dostupné také z: <https://www.rtscloud.cz/App/RTS-Data/>

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

ČSN EN	Česká verze evropské normy
ČSN	Česká soustava norem
FEKT	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
HV	High voltage
LV	Low voltage
NN	Nízké napětí
PRAKAB	Pražská kabelovna
PVC	polyvinylchlorid
T1	transformátor č. 1
T2	transformátor č. 2
T3	transformátor č. 3
T4	transformátor č. 4
VN	Vysoké napětí
VUT	Vysoké učení technické v Brně

Symbols:

H	tepelný odpor půdy	(Km/W)
I_2	poměrný nadproud	(A)
I_B	skutečné zatížení	(A)
I_n	jmenovitý proud jisticího prvku	(A)
I_{NK}	referenční proud	(A)
I_{th}	krátkodobý oteplovací proud	(A)
I_z	odebíraný proud	(A)
P_1	instalovaný výkon	(W)
P_p	výpočtové zatížení	(W)
P_s	skutečný odebíraný výkon	(W)
$P_{s,c}$	celkový skutečný odebíraný výkon	(W)
P_{s1}	dílčí odběr	(W)
P_{sn}	n-tý dílčí odběr	(W)
R	činný odpor vodiče	(Ω)
S	zdánlivý výkon odběru	(VA)
S_{nT}	jmenovitý výkon transformátoru	(VA)
U_n	jmenovité napětí	(V)
U_{nf}	jmenovitá fázová hodnota napětí	(V)
U_{ns}	jmenovitá sdružená hodnota napětí	(V)

X	reaktance vodiče	(Ω)
c	specifické teplo	($\text{J}/\text{cm}^3/^\circ\text{C}$)
$\cos\varphi$	účinník	(-)
k	konstanta charakterizující prostředí a uložení	(-)
l	délka vodiče	(m)
n	počet transformátorů	(ks)
p	počet paralelních větví	(-)
s	průřez vodiče	(mm^2)
s_{\min}	minimální průřez vodiče	(mm^2)
t_k	doba působení zkratu	(s)
t_v	doby vypnutí zkratu	(s)
B	součinitel náročnosti	(-)
γ_s	skutečné zatížení transformátoru	(-)
ΔP	Joulovy ztráty	(W)
ΔU	úbytek napětí	(V)
$\Delta u_{\%}$	procentuální úbytek napětí	(%)
$\Delta v(t_v)$	oteplení v čase t_v	($^\circ\text{C}$)
Δv_m	nejvyšší dovolené oteplení při přetížení	($^\circ\text{C}$)
Δv_z	nejvyšší dovolené provozní oteplení	($^\circ\text{C}$)
v	výsledná teplota vodiče	($^\circ\text{C}$)
v_0	teplota okolí	($^\circ\text{C}$)
v_f	fiktivní teplota	($^\circ\text{C}$)
v_k	maximální teplota při zkratu	($^\circ\text{C}$)
v_z	nejvyšší dovolená provozní teplota	($^\circ\text{C}$)
ρ	rezistivita materiálu vodiče	($\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$)
ρ_{20}	specifický odpor materiálu při $20\text{ }^\circ\text{C}$	(Wmm^2/m)
τ	časová oteplovací konstanta	(s)
φ	fázový posuv	($^\circ$)

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A - ZADANÉ ODBĚRY	34
PŘÍLOHA B - ENERGOCENTRUM (ELEKTRONICKÁ)	36
PŘÍLOHA C - DÍLČÍ TRAFOSTANICE (ELEKTRONICKÁ)	37

Příloha A - Zadané odběry

A.1 Schéma rozmístění objektů



A.2 Tabulka odběrů

	Instalovaný výkon P_i (kW)	Součinitel náročnosti β (-)
HOTEL	200	0,55
POKOJE 1	100	0,25
POKOJE 2	100	0,25
kongres	100	0,6
kuchyně 1	650	0,7
Restaurace 1	100	0,8
Wellnes 1	400	0,8
Wellnes 2	650	0,8
Wellnes 3	100	0,8
Sauna 1	45	0,7
sauna 2	90	0,7
Sauna 3	36	0,7
Sauna 4	40	0,7
Sauna 5	55	0,7
Sauna 6	80	0,7
Sauna 7	110	0,7
Sauna 8	45	0,7
Sauna 9	40	0,7
Sauna 10	20	0,7
Restaurace 2	100	0,7
Prádelna	400	0,7
Kuchyně 2	250	0,7

Příloha B - Energocentrum (elektronická)

- B.1 Situační výkres rozvodů v areálu komplexu**
- B.2 Situační výkres energocentra**
- B.3 Provozní schéma energocentra**
- B.4 Schéma rozvodů transformátoru T1**
- B.5 Schéma rozvodů transformátoru T2**
- B.6 Schéma rozvodů transformátoru T3**
- B.7 Schéma rozvodů transformátoru T4**
- B.8 Výpis a cena použitých prvků VN a zálohy**
- B.9 Výpis a cena použitých prvků pro B.4**
- B.10 Výpis a cena použitých prvků pro B.5**
- B.11 Výpis a cena použitých prvků pro B.6**
- B.12 Výpis a cena použitých prvků pro B.7**
- B.13 Parametry rozvodů B.4**
- B.14 Parametry rozvodů B.5**
- B.15 Parametry rozvodů B.6**
- B.16 Parametry rozvodů B.7**

Příloha C - Dílčí trafostanice (elektronická)

- C.1 Situační výkres rozvodů v areálu komplexu**
- C.2 Situační výkres trafostanice č. 1**
- C.3 Situační výkres trafostanice č. 2**
- C.4 Situační výkres hlavní VN rozvodny**
- C.5 Provozní schéma dílčích trafostanic**
- C.6 Schéma rozvodů transformátoru T1**
- C.7 Schéma rozvodů transformátoru T2**
- C.8 Schéma rozvodů transformátoru T3**
- C.9 Schéma rozvodů transformátoru T4**
- C.10 Výpis a cena použitých prvků VN a zálohy**
- C.11 Výpis a cena použitých prvků pro C.6**
- C.12 Výpis a cena použitých prvků pro C.7**
- C.13 Výpis a cena použitých prvků pro C.8**
- C.14 Výpis a cena použitých prvků pro C.9**
- C.15 Parametry rozvodů C.6**
- C.16 Parametry rozvodů C.7**
- C.17 Parametry rozvodů C.8**

C.18 Parametry rozvodů C.9