

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Návrh elektrické části větrné elektrárny včetně připojení na
distribuční soustavu**

Autor práce: Miroslav Povolný

Vedoucí práce: Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.

Plzeň 2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Miroslav POVOLNÝ**
Osobní číslo: **E11B0074K**
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**
Název tématu: **Návrh elektrické části větrné elektrárny včetně připojení na distribuční soustavu**
Zadávající katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

Zpracujte návrh elektrické části větrné elektrárny včetně připojení na distribuční soustavu:

1. Popište principy a konstrukční přístupy pro návrh větrné elektrárny a jejího připojení do elektrizační soustavy včetně základních legislativních aspektů.
2. Provedte návrh jednotky větrné elektrárny pro farmu většího výkonu s koncepcí věžového sloupu a kabelového propojení s ostatními jednotkami na úrovni 22 kV.
3. Navrhněte metodu připojení včetně příslušné infrastruktury měření a kontroly do elektrizační soustavy na úrovni vvn.
4. Diskutujte možné vlastnosti případně rozvodny na úrovni 110 kV.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:


1. Škorpil, J., Kasárník, M.-Obnovitelné zdroje energie I.
2. Mastný, P., Drápela, J., Mišák, S., Macháček J., Ptáček, M., Radil, L., Bartošík, T., Pavelka, T.-Obnovitelné zdroje elektrické energie

Vedoucí bakalářské práce: **Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2013**
Termín odevzdání bakalářské práce: **9. června 2014**


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




Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na teoretický návrh větrné elektrárny z elektrického hlediska a z hlediska působení zpětných vlivů na distribuční soustavu provozovatele. V rámci teoretických podkladů je navržena větrná elektrárna o vybraném výkonu a způsob měření. Jsou stanoveny základní požadavky a podmínky pro možnost umístění, vzhled a fungování větrného parku v České republice. Problémy spojené s legislativou připojení a provozování větrného parku jsou řešeny jen z informativního hlediska.

Klíčová slova

distribuční vedení, podmínky připojení, rozvodna vvn 110 kV, šíření flikru, větrná elektrárna, vyšší harmonické

Abstract

The thesis is focused on the theoretical design of wind power station from the electrical point of view and from the viewpoint of reverse effects on the distribution system operator. Within the theoretical basis is proposed wind farm on the selected output, connect it to the system operator and the method of measurement. There are set out the basic terms and conditions for the possibility of location, appearance and operation of a wind farm in the Czech Republic. Problems associated with the legislation of the connection and operation of the wind farm are addressed only on information level.

Keywords

distribution line, conditions of connection, 110 kV high voltage substation, propagation of flicker, wind power plant, higher harmonics

Prohlášení

Předkládám k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce s využitím odborné literatury a ostatních zdrojů, které jsou všechny uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Dále prohlašuji, že jsem neporušil autorská práva třetích osob a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných důsledků.

V Plzni dne 19. května 2014

Miroslav Povolný



Podpis

Obsah

Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	11
Seznam symbolů a zkratek.....	12
1 Úvod.....	14
2 Postupy a principy návrhu větrné elektrárny a základní legislativní aspekty	15
2.1 Legislativa	16
3 Podmínky připojení a studie připojitelnosti.....	17
3.1 Připojení k síti	17
3.2 Podmínky pro připojení.....	18
3.2.1 Připojování synchronních generátorů	18
3.2.2 Připojování asynchronních generátorů.....	18
3.3 Kontrola základních veličin.....	18
3.3.1 Zvýšené napětí	18
3.3.2 Změny napětí při spínání.....	20
3.4 Rozbor zpětných vlivů výroby na síť	21
3.4.1 Změny napětí.....	22
3.4.2 Dlouhodobý flickr.....	23
3.4.3 Skládání flickru z různých zdrojů.....	24
3.4.4 Šíření flickru	24
3.4.5 Vyšší harmonické.....	24
3.4.6 Ovlivnění zařízení HDO	26
4 Jednotka větrné elektrárny	27
4.1 Základní popis	27
4.1.1 Klimatické poměry.....	28
4.1.2 Napojení na distribuční síť.....	29

4.1.3	Omezení	29
4.2	Hlavní údaje	30
4.2.1	Větrné poměry	30
4.2.2	Výkonové křivky.....	30
4.3	Základní technické specifikace	32
4.3.1	Rotor.....	32
4.3.2	Lísty rotoru.....	32
4.3.3	Převod a usměrňování větru.....	32
4.3.4	Generátor s VCS (50 Hz).....	32
4.3.5	Řídicí jednotka	33
4.3.6	Transformátor.....	34
4.3.7	Hmotnosti.....	34
5	Měření spotřeby a kontrola	35
5.1	Typy měření	35
5.2	Třída přesnosti.....	35
6	Řízení činného a jalového výkonu	37
6.1	Regulace jalového výkonu v režimu elektrické spotřeby.....	37
6.2	Regulace činného výkonu v režimu výroby elektrické energie	37
6.3	Regulace jalového výkonu v tolerančním pásmu $\cos \varphi = \pm 0,95$	38
7	Vypracování projektu.....	39
7.1	Výpočet a kontrola základních parametrů pro připojení	39
7.1.1	Impedance nadřazené sítě	40
7.1.2	Impedance transformátoru	40
7.1.3	Celková impedance s fázovým úhlem	41
7.1.4	Zkratový výkon v místě připojení.....	41
7.1.5	Maximální připojitelný výkon	41
7.1.6	Zvýšené napětí pro připojovanou elektrárnu o výkonu 8 MVA	41

7.1.7	Výpočet změny napětí při spínání pro napájecí bod	42
7.2	Výpočet zpětných vlivů větrných elektráren o výkonu 8 MVA	42
7.2.1	Výpočet dlouhodobé míry flikru.....	42
7.2.2	Výpočet harmonických proudů.....	43
7.3	Provedení měření.....	44
7.3.1	Obchodní měření.....	44
7.3.2	Dispečerské měření.....	44
7.4	Uzemnění.....	45
8	Případné vlastnosti rozvodny 110 kV	46
8.1	Základní parametry rozvodny 110 kV.....	46
8.2	Rozvodna 22 kV	47
8.3	Vlastní spotřeba střídavá a stejnosměrná	47
8.4	Napojení na distribuční vedení vvn 110 kV	48
9	Závěr	49
	Literatura	50
	Seznam příloh	52

Seznam obrázků

Obr. 2-1: Mapa průměrné rychlosti větru ve 100 m nad povrchem.....	15
Obr. 4-1: Pohled na věž s místem připojení.....	28
Obr. 4-2: Varianta bez servisního výtahu	28
Obr. 4-3: Výkonová křivka V90-2,0 MW.....	31
Obr. 6-1 Náhradní schéma pro výpočet impedance	40

Seznam tabulek

Tab. 3-1: Přípustné vztažné proudy harmonických	25
Tab. 4-1: Konstrukční požadavky pro větrnou elektrárnu VESTAS V90-2,0 MW	30
Tab. 4-2: Maximální přípustné extrémní rychlosti větru	30
Tab. 4-3: Hodnoty vyčtené z výkonové křivky.....	31
Tab. 5-1: Minimální požadavky na třídy přesnosti elektroměrů a měřicích transformátorů ...	36
Tab. 6-1: Emise harmonických proudů.....	43

Seznam symbolů a zkratk

c (-)	činitel flikru zařízení (bezrozměrná veličina specifická pro dané zařízení)
$\cos \varphi$ (-)	cosinus fázového úhlu mezi základní harmonickou napětí a proudu
c_{res} (-)	výsledný činitel flikru několika generátoru v přípojném místě
c_u (-)	napět'ový součinitel ekvivalentního napět'ového zdroje [19]
ČSN	česká technická norma
dB	obecné měřítko podílu dvou hodnot (zde měření hladiny intenzity zvuku)
EN	evropská norma
f (Hz)	frekvence
GSM	globální systém pro mobilní komunikaci (Groupe Spécial Mobile)
HDO	hromadné dálkové ovládání
I_a (A)	největší proud v průběhu spínání (zapínací ráz)
I_a (A)	rozběhový proud
I_{nG} (A)	jmenovitý proud generátoru výroby
$I_{vpř}$ (A)	přípustný proud vyšší harmonické
$i_{vpř}$ (A)	vztažné proudy k řádům harmonickým proudům
k (-)	poměr mezi rozběhovým, popř. zapínacím proudem a jmenovitým proudem generátoru
k_{imax} (-)	činitel největšího spínacího rázu (poměr největšího proudu v průběhu spínání a jmenovitého proudu generátoru výroby)
$k_{i\psi}$ (-)	činitel spínání závislý na síti (udává výrobce)
k_{kl} (-)	zkratový poměr mezi S_{kV} a maximálním zdánlivým výkonem výroby S_{Amax}
nn	nízké napětí (napět'ová hladina)
P_{knT} (W)	jmenovité ztráty nakrátko transformátoru
PLC	programovatelný logický automat
P_{lt}, A_{lt} (-)	dlouhodobá míra vjemu flikru, činitel dlouhodobého rušení flikrem
P_{ltnam} (-)	změřená hodnota činitele dlouhodobého flikru
P_{ltres} (-)	dlouhodobá míra flikru výroby s více zařízeními
PNE	podniková norma energetiky
P_{nG} (VA)	střední výkon jednotlivého zařízení
R (Ω)	odpor
S_A (VA)	jmenovitý zdánlivý výkon výroby

S_{Amax} (VA)	maximální zdánlivý výkon výroby
S_{AV} (VA)	celkový plánovaný nebo připojitelný výkon výroby v místě připojení
SCADA	supervisory control and data acquisition (dispečerské řízení a sběr dat)
S_{Emax} (VA)	maximální zdánlivý výkon jednotlivého zařízení výroby
S_{KS} (VA)	počáteční rázový (souměrný) zkratový výkon (zdánlivý)
S_{kV} (VA)	zkratový výkon ve společném napájecím bodu (pro přesný výpočet S_{kV} viz [21])
S_{kX} (VA)	zkratový výkon v uvažovaném místě sítě ve směru k napájecímu uzlu
S_{nE} (VA)	jmenovitý zdánlivý výkon výrobní jednotky
S_{nG} (VA)	jmenovitý zdánlivý výkon generátoru
S_{nT} (VA)	jmenovitý výkon transformátoru
S_{rA} (VA)	jmenovitý výkon celé výroby
S_{rG} (VA)	výkon generátoru
u_k (%)	napětí nakrátko transformátoru
U_n (V)	jmenovité napětí sítě
U_{nT} (V)	jmenovité napětí transformátoru
VCS	Vestas Converter System (regulace proudu v rotorovém proudovém obvodu generátoru pro přesné řízení jalového výkonu)
vn	vysoké napětí (napěťová hladina)
vvn	velmi vysoké napětí (napěťová hladina)
X (Ω)	reaktance
Z (Ω)	impedance
ΔU (V)	změna napětí
Δu_{AV} (V)	zvýšené napětí v místě připojení
Δu_{ers} (V)	náhradní změna napětí
Δu_{max} (V)	maximální změna napětí při spínání výroby
$\Delta u_{vn,nn}$ (V)	zvýšené napětí vyvolané provozem výroby s přípojným místem vn, nn
λ (-)	účinník – podíl činného výkonu a zdánlivého výkonu
φ ($^\circ$)	fázový úhel mezi proudem a napětím výroby při maximálním zdánlivém výkonu S_{Amax}
φ_i ($^\circ$)	fázový úhel proudu vlastního zdroje
ψ_{kV} ($^\circ$)	fázový úhel zkratové impedance

1 Úvod

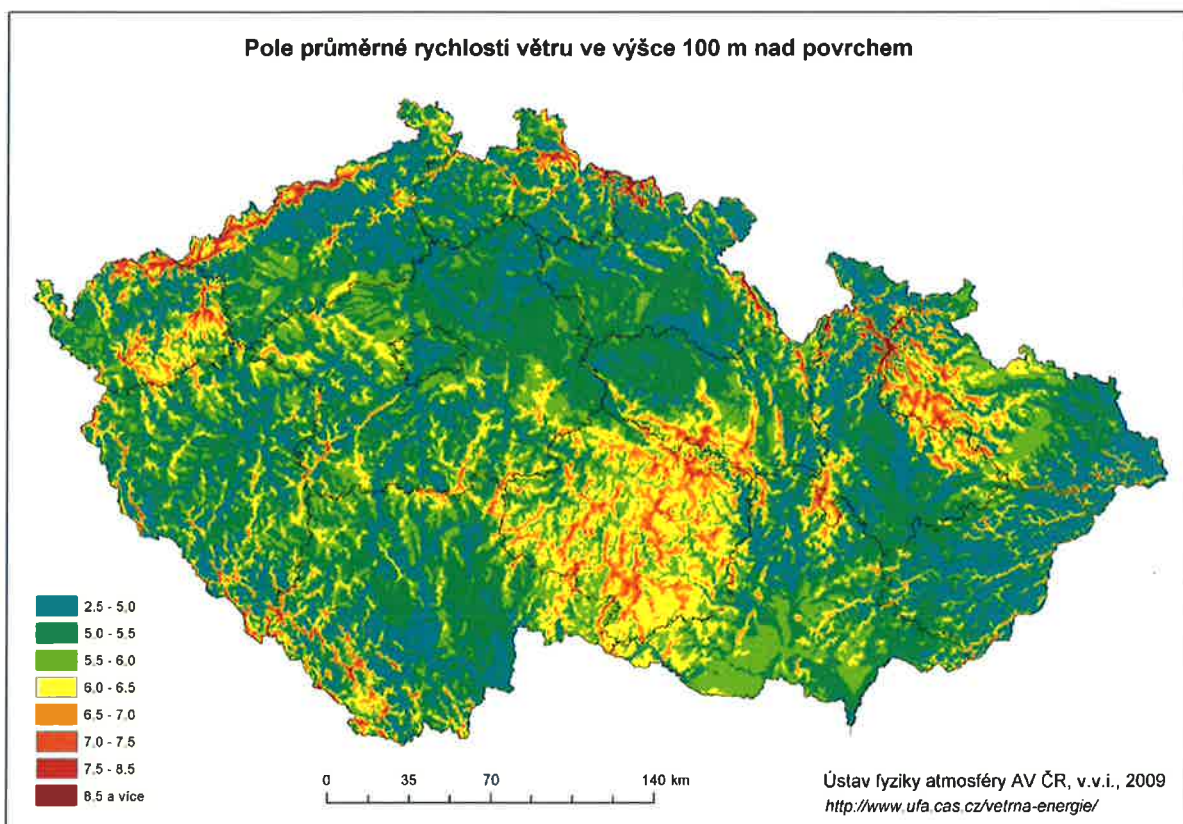
Důvodů pro záměr výstavby větrné elektrárny je hned několik. Energie, která je získávána z obnovitelných zdrojů (vody, větru, sluneční energie) je nejčistější formou výroby elektrické energie. Neprodukuje emise a téměř žádné odpady. Cena elektřiny vyrobená větrem je v současnosti srovnatelná s cenou elektřiny z klasických tepelných elektráren spalujících uhlí a dále se snižuje. Větrné elektrárny jsou tedy zařízení, která významným způsobem šetří přírodu a její zdroje.[1]

V neposlední řadě ke zvýšení podílu množství energie získané z obnovitelných zdrojů zavazují především mezinárodní dokumenty, jako např. Vídeňská úmluva na ochranu ozonové vrstvy a Montrealský protokol o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu. Dále rámcová úmluva OSN o změně klimatu a Kjótský protokol.[2]

Práce je rozdělena do několika částí. V první části jsou uvedeny základní postupy a principy pro návrh větrného parku z hlediska legislativních aspektů. Následuje kapitola stanovující podmínky připojení vlivem zpětných vlivů z teoretického hlediska. Dále kapitola s technickým popisem jednotky větrné elektrárny od vybraného výrobce. Práce se okrajově zmiňuje o způsobu měření výroby i spotřeby elektrické energie, jako o významném faktoru trhu s elektrickou energií. Stanovuje základní požadavky a řešení kompenzace činného a jalového výkonu. Z teoretických podkladů je následně proveden návrh smyšleného parku několika větrných elektráren s připojením do soustavy vn. V závěru je nastíněna základní představa možné rozvodny velmi vysokého napětí pro případ, pokud by byla potřeba připojení výroby na této úrovni napětí.

2 Postupy a principy návrhu větrné elektrárny a základní legislativní aspekty

Nejdůležitějším faktorem pro rozhodnutí o stavbě a správnou funkci je vhodná rychlost větru. Ta je zjišťována dlouhodobým (ideálně ročním) měřením v určené lokalitě, nebo také z větrné mapy. Aby mohla elektrárna začít vyrábět elektrickou energii, musí se rychlost pohybovat od 3 až 5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Podle typu dosahuje maximálního výkonu okolo 13 až 15 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Při vyšších rychlostech již výkon nevzrůstá a nad 25 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ dochází k odstavení elektrárny pomocí automatického brzdného systému. Podle měření se následně upřesní vhodné pozemky pro výstavbu.[3]



Obr. 2-1: Mapa průměrné rychlosti větru ve 100 m nad povrchem – převzato z [3]

Kromě větru je důležité zohlednit další vlivy, které by mohli na elektrárnu působit. Mezi ně patří parametry překážek bránící laminárnímu proudění vzduchu, jako je výška okolních budov, porostů, nepříznivé meteorologické jevy (námraza), roční teploty, nadmořská výška a geologické předpoklady pro základy věží. Dále možnost přístupu těžké techniky a dopadu

stavební činnosti na životní prostředí, možné rušení obyvatel hlukem. V neposlední řadě vzdálenost od místa připojení do přenosové sítě s dostatečnou kapacitou.[4]

2.1 Legislativa

V rámci stavby je nezbytné získat územní rozhodnutí a posléze stavební povolení. Stavební úřad vyžaduje stanoviska všech dotčených orgánů státní správy, vlastníků pozemků, na kterých bude probíhat stavba větrných elektráren, ale také přípojka do distribuční soustavy. Například pro vydání stanoviska státní ochrany přírody je nezbytné vypracování studie vlivu na životní prostředí. Především z hlediska hluku, zda nepřekračuje platné hygienické limity. Ve venkovním prostředí obytných budov je to 50 dB ve dne a 40 dB v noci.[5]

Pokud však provozovatel výroby chce dodávat elektrickou energii do přenosové sítě, musí pro připojení ještě před výstavbou nového zařízení elektrárny podat žádost o připojení zařízení žadatele k přenosové nebo distribuční soustavě a předložit studii připojitelnosti. Způsob a místo připojení je následně stanoveno provozovatelem. Dále musí získat licenci k výrobě elektřiny (případně přenosu) podle energetického zákona 458/2000 Sb., dodržet technické podmínky pro připojení k soustavě a souhlas provozovatele distribuční soustavy.

3 Podmínky připojení a studie připojitelnosti

Studie připojitelnosti je nezbytnou podmínkou pro vydání souhlasu s připojením větrné elektrárny do elektrizační soustavy. Jsou v ní posuzovány možné zpětné vlivy na distribuční síť v souladu s pravidly provozování distribučních soustav především příloha č. 4: Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy. Vypracováním studie je pověřena odborná firma, která mimo jiné doloží výpočty možnost připojení nové výroby a její maximální výkon v přípojném místě.

Výpočty potřebné pro zpracování studie, především výpočty zkratů, úbytků napětí, jsou časově náročné. Proto se využívá různý výpočetní software. Například program E-Vlivy umí počítat ustálený chod sítě, zkraty, flickr. Výhodou je grafický způsob zadávání jednotlivých prvků sítě do návrhu.[6]

Z důvodu toho nejsou do této práce zahrnuty výpočty vztahující se k návrhu kabelových propojení mezi jednotlivými věžemi a vyvedení výkonu do distribuční soustavy v místě připojení. Řešení této problematiky přísluší odborné firmě, která vyhodnotí možné provozní stavy ze strany výroby a sítě a s využitím softwarových nástrojů navrhne optimální řešení.

3.1 Připojení k síti

Pokud má být paralelně se sítí provozovatele distribuční soustavy provozována výroba elektrické energie, je potřeba jí připojit ve vhodném místě. Místo a způsob připojení je stanoven provozovatelem soustavy. Je přihlédnuto k poměrům v síti, výkonu a způsobu provozu vlastní výroby.[7]

Při posouzení možnosti připojení z hlediska zpětných vlivů na distribuční síť se vychází z impedance sítě ve společném napájecím bodu. Aby se zajistilo vhodné dimenzování zařízení, musí být v každém případě proveden výpočet zkratových poměrů ve společném napájecím místě.[8] Podle poměrů v síti, druhu a velikosti zařízení výroby musí být dělící spínací místo vybaveno vhodným spínacím prvkem (odpínač nebo vypínač).[9]

3.2 Podmínky pro připojení

Aby nedošlo k zavlečení zpětného napětí do sítě provozovatele, je nutné přijmout technická opatření pro možnost připojení výroby pouze tehdy, pokud jsou všechny fáze sítě pod napětím. Spínací zařízení, které připojuje generátor popřípadě více paralelně zapojených generátorů k síti, sepne pouze v době, kdy je na každé fázi odpovídající napětí. Velikost napětí by měla být nad rozběhovou hodnotou podpět'ové ochrany.[8]

3.2.1 Připojování synchronních generátorů

V případě připojování synchronních generátorů do tvrdé sítě o určitém napětí a kmitočtu je nutné splnit některé podmínky vycházející z fázorového diagramu sítě trojfázových systémů sítě a generátoru. Proces, při kterém jsou podmínky plněny, se nazývá fázování.[10]

Podle podmínek provozovatele je potřeba dodržet následujících podmínek synchronizace:

- rozdíl napětí $\Delta U < \pm 10 \% U_n$
- rozdíl frekvence $\Delta f < \pm 0,5 \text{ Hz}$
- rozdíl fáze $< \pm 10^\circ$

3.2.2 Připojování asynchronních generátorů

U větrných elektráren se využívají především asynchronní generátory. Tyto generátory rozbíhané pohonem se připojují bez napětí při otáčkách 95 % až 105 % synchronních otáček. Pokud jsou generátory schopny ostrovního provozu, platí podmínky připojení jako u synchronních generátorů.[8]

3.3 Kontrola základních veličin

3.3.1 Zvýšené napětí

Při připojení výroby s přípojným místem v síti vn nesmí zvýšené napětí vyvolané provozem přesáhnout v nejnepříznivějším případě 2 % vzhledem k napětí bez připojení.[8]

$$\Delta u_{vn} \leq 2\% \quad (1)$$

Pro výrobu s přípojným místem v síti nn nesmí přesáhnout v nejnepříznivějším případě 3 %, to znamená:

$$\Delta u_{nn} \leq 3\% \quad (2)$$

V případě jednoho přípojného místa, lze posoudit tuto podmínku z poměru zkratových výkonů.

$$k_{kl} = \frac{S_{kV}}{\sum S_{Amax}} \quad (3)$$

S_{kV} ... zkratový výkon v přípojném bodu

$\sum S_{Amax}$... součet maximálních zdánlivých výkonů všech připojených výroben

Přitom je u větrných elektráren potřeba vycházet z maximálních zdánlivých výkonů jednotlivého zařízení S_{Emax} .

$$S_{Emax} = S_{Emax10min} = S_{nG} \cdot P_{1min} = \frac{P_{nG}}{\lambda} \cdot P_{10min} \quad (4)$$

Jestliže bude poměr zkratových výkonů k_{kl} větší než 50, bude podmínka dodržena vždy, pokud se bude jednat o jedno přípojně místo na hladině vn.

$$k_{klvn} \geq 50 \quad (5)$$

Pro hladinu nn:

$$k_{klmn} \geq 33 \quad (6)$$

V případě, že bude soustava silně induktivní, bude dodávaný výkon velmi omezen, při požadavku dodržení zvýšení napětí. Potom je třeba z důvodu přesnějších výsledků uvažovat komplexní hodnotu impedance sítě s jejím fázovým úhlem ψ_{kV} . Podmínka pro maximální výkon pro výroby s napojením na soustavu vn je:

$$S_{A_{\max nn}} \leq \frac{2\% \cdot S_{kV}}{|\cos(\psi_{kV} + \varphi)|} = \frac{S_{kV}}{50 \cdot |\cos(\psi_{kV} + \varphi)|} \quad (7)$$

pro maximální výkon pro výroby s napojením na soustavu nn je:

$$S_{A_{\max nn}} \leq \frac{3\% \cdot S_{kV}}{|\cos(\psi_{kV} + \varphi)|} = \frac{S_{kV}}{33 \cdot |\cos(\psi_{kV} + \varphi)|} \quad (8)$$

φ ... fázový úhel mezi proudem a napětím výroby při maximálním zdánlivém výkonu $S_{A_{\max}}$, při hodnotě $\cos \varphi$ menší než 0,1 s ohledem na nejistotu tohoto výpočtu se stanovuje na 0,1

Ve většině případů je zadán maximální připojitelný výkon $S_{A_{\max}}$. Pomocí vztahu (9) lze určit zvýšení napětí v místě připojení.[8]

$$\Delta u_{AV} = \frac{S_{A_{\max}} \cdot \cos(\psi_{kV} + \varphi)}{S_{kV}} \quad (9)$$

3.3.2 Změny napětí při spínání

Pokud největší změna napětí pro výroby s místem připojení vn nepřesáhne 2 %, nevyvolávají změny napětí v místě připojení způsobované připojováním a odpojováním generátorů nepřijatelné zpětné vlivy.[8]

$$\Delta u_{\max vn} \leq 2\% \quad (10)$$

Změny napětí s místem připojení do sítě nn bez nepřijatelných zpětných vlivů nesmí přesáhnout 3 %.

$$\Delta u_{\max nn} \leq 3\% \quad (11)$$

Pokud známe zkratový výkon S_{kV} v síti provozovatele a jmenovitý zdánlivý výkon S_{nE} výroby lze změnu napětí odhadnout.

$$\Delta u_{\max} = k_{i_{\max}} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \quad (12)$$

$k_{i\max}$... činitel největšího spínacího rázu. Představuje poměr největšího proudu v průběhu spínacího průběhu (např. zapínací ráz I_a) ke jmenovitému proudu generátoru výroby I_{nG} .

$$k_{i\max} = \frac{I_a}{I_{nG}} \quad (13)$$

Pro činitel zapínacího rázu platí:

$k_{i\max} = 1$ synchronní generátory s jemnou synchronizací, střídače

$k_{i\max} = 4$ asynchronní generátory, připojované s 95 až 105 % synchronních otáček

$k_{i\max} = \frac{I_a}{I_{nG}}$ asynchronní generátory rozbíhané motoricky ze sítě

$k_{i\max} = 8$ pokud není znám zapínací ráz I_a

Pro větrné elektrárny platí tzv. „činitel spínání závislý na síti“ $k_{i\psi}$. Ten prokazuje výrobce. Tento činitel dodržuje velmi krátké přechodové stavy, velikost i časový průběh proudu v době přechodového děje. Pomocí něho lze spočítat zdánlivou „náhradní změnu napětí“.

$$\Delta u_{ers} = k_{i\psi} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \quad (14)$$

Ta opět nesmí přesáhnout hodnotu 2 % pro síť vn a 3 % pro síť nn.

Aby se minimalizovaly zpětné vlivy na distribuční soustavu, je nutné zabránit současnému spínání několika generátorů výroby v místě připojení. Toto je řešeno postupným připojováním v závislosti na vyvolaných změnách napětí.[8]

3.4 Rozbor zpětných vlivů výroby na síť

Pro rozbor zpětných vlivů je potřeba vycházet ze zásad pro posuzování zpětných vlivů a jejich maximálních dovolených hodnot. Bez kontroly zpětných vlivů lze připojit výrobu, při poměru zkratového výkonu sítě S_{kV} ke jmenovitému výkonu celé výroby S_{rA} větším než 500.

$$\frac{S_{kV}}{S_{rA}} > 500 \quad (15)$$

Zpětné vlivy se na distribuční soustavu projevují hlavně jako změny napětí a harmonické. Viditelně se to projevuje například kolísáním jasu (flikr) žárovek, ovlivněním zařízení dálkové signalizace a ovládání, kýváním momentu u strojů, nesprávnou činností přijímačů HDO apod. Tyto zpětné vlivy způsobují zhoršení účinníku, zvyšují přenosové ztráty a ovlivňují zhášení zemních spojení.[8]

Pro posouzení připojení výrobní je nutné vycházet z těchto podmínek:

3.4.1 Změny napětí

Maximální dovolené změny napětí závisí na frekvenci jejich výskytu (křivka flikru). Hlavním údajem pro hodnocení je míra vjemu flikru P_{fl} (nebo činitel dlouhodobého rušení flikrem A_{fl}). Zjišťuje se předběžnými výpočty, nebo měřením skutečného zařízení ve společném bodu. Míra vjemu flikru P_{fl} závisí na zkratovém výkonu S_{kV} , úhlu ψ_{kV} zkratové impedance, jmenovitém výkonu generátoru výrobní, činiteli flikru zařízení c a na jalovém výkonu, který je vyjádřen fázovým úhlem φ_i . [8]

Činitel flikru zařízení c společně s fázovým úhlem určuje schopnost zařízení produkovat flikr.

Oba údaje mají význam u větrných elektráren a určuje je výrobce, nebo nezávislý institut.

Činitel flikru c můžeme zjistit měřením rušivého činitele flikru P_{fl} , pokud uvažujeme výkon generátoru S_{rG} a fázového úhlu proudu. [8]

$$c = P_{fl_{nam}} \cdot \frac{S_{kV}}{S_{rG} \cdot \cos(\psi_{kV} + \varphi_i)} \quad (16)$$

ψ_{kV} ... fázový úhel síťové impedance

φ_i ... fázový úhel proudů generátoru (určení úhlu vyžaduje přesné měření velikosti a fáze proudu generátoru)

Jestliže je hodnota činitele flikru c zařízení pod hodnotou 20, není třeba z hlediska flikru přezkušovat tuto podmínku připojení. Na posuzování flikru jsou významné větrné elektrárny. Jejich činitel flikru c je až 40. Čím více je rotujících listů, tím menší je činitel flikru c .

V situaci, kdy do společného přípojného místa pracuje více generátorů s různými výkony, určuje se výsledný činitel flikru podle vztahu:

$$c_{res} = \frac{\sqrt{\sum (c_i \cdot S_{rGi})^2}}{\sum S_{rGi}} \quad (17)$$

Při využití stejných výkonů generátorů se rovnice zjednoduší na:

$$c_{res} = \frac{c}{\sqrt{n}} \quad (18)$$

n ... počet generátorů stejného výkonu

3.4.2 Dlouhodobý flickr

S ohledem na kolísání napětí, které vyvolává flickr je potřeba v místě připojení dodržet maximální hodnotu míry vjemu flickru P_{fl} (dlouhodobá míra flickru).[8]

$$P_{fl} \leq 0,46 \quad \text{nebo} \quad A_{fl} \leq 0,1 \quad (19a), (19b)$$

Hodnota P_{fl} se zpravidla měří a vyhodnocuje flickremetrem, pomocí vhodného hardwaru a zpracování signálu při kolísání změně intenzity světla.[11] Vedle míry vjemu flickru P_{fl} existuje činitel rušení flickrem A_{fl} . Mezi nimi platí vztah[8]:

$$A_{fl} = P_{fl}^3 \quad (20)$$

Dlouhodobá míra flickru jednoho zdroje se určuje z činitele flickru c , zkratového výkonu v přípojném bodu S_{kV} a jmenovitého výkonu zařízení výroby S_{nG} .

$$P_{fl} = c \cdot \frac{S_{nG}}{S_{kV}} \quad (21)$$

Pro výrobu s více zařízeními je nezbytné počítat dlouhodobou míru flickru P_{fl} zvlášť a potom výsledný flickr v místě připojení určit ze vztahu:

$$P_{flres} = \sqrt{\sum_i P_{fli}^2} \quad (22)$$

V případě n shodných výrobních jednotek pak:

$$P_{lres} = \sqrt{n} \cdot P_{ll} = \sqrt{n} \cdot c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \quad (23)$$

3.4.3 Skládání flikru z různých zdrojů

U rozdílných nesynchronních zdrojů flikru v distribuční síti se míra vjemu flikru počítá obecně ze vztahu [8]:

$$P_{lcelk} = \sqrt[3]{P_1^3 + P_2^3 + \dots + P_n^3} \quad (24)$$

Pro větrné elektrárny platí vztah:

$$P_{lcelk} = \sqrt[2]{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_n^2} \quad (25)$$

3.4.4 Šíření flikru

Míra flikru se zmenšuje v poměru zkratového výkonu S_{kV} ve společném napájecím uzlu ke zkratovému výkonu S_{kX} v uvažovaném místě sítě ve směru k napájecímu uzlu.

Ve směru od napájecího uzlu sítě se uvažuje neměnicí se míra flikru.[8]

3.4.5 Vyšší harmonické

Harmonické proudy produkované zařízeními, které vznikají převážně při využití střídačů nebo měničů frekvence, musí uvádět jejich výrobci. Pro pouze jediný bod připojení v síti vn je možné určit dovolené harmonické proudy ze vztažných proudů $i_{vpř}$ z tabulky 3-1, které vynásobíme zkratovým výkonem v místě připojení.[12]

$$I_{vpř} = i_{vpř} \cdot S_{kV} \quad (26)$$

Dovolené harmonické proudy pro jednotlivá zařízení připojených do jednoho bodu se určí násobením poměru zdánlivého výkonu zařízení S_A k celkovému připojitelnému nebo plánovanému výkonu S_{AV} v místě připojení.[12]

$$I_{vpř} = I_{vpř} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} = i_{vpř} \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}} \quad (27)$$

Dovolené harmonické proudy v síti vn vyvolané zařízením připojeným k síti, vztahující se ke zkratovému výkonu, jsou uvedeny v tabulce 3-1.[12]

Tab. 3-1: Přípustné vztažné proudy harmonických - převzato z [12]

Řád harmonické v, μ	Přípustný vztažný proud harmonických $i_{\mu, \text{vpř}}$ [A/MVA]	
	Síť 10 kV	Síť 22 kV
5	0,115	0,058
7	0,082	0,041
11	0,052	0,026
13	0,038	0,019
17	0,022	0,011
19	0,016	0,009
23	0,012	0,006
25	0,010	0,005
> 25 nebo sudé	0,06/v	0,03/v

v ... usměrňovače řízené sítí

μ ... pulsně modulované střídače

Při překročení dovolených hodnot harmonických proudů je nutné detailnější zhodnocení. Dovolené hodnoty se volí tak, aby platily i pro vyšší frekvence pro induktivní impedanci sítě. V sítích, kde převažují kabelová vedení je často síťová frekvence nižší. Proto je možné připustit vyšší harmonické proudy.[12]

Zkratové výkony, které se využívají k výpočtu dovolených harmonických proudů v síti, mohou být v rozsahu 20 až 500 MVA. Důležité je brát v úvahu skutečný zkratový výkon a ne jmenovitou zkratovou odolnost zařízení vn ve společném místě připojení.

Vlastní zdroje vyvolávající harmonická napětí 5. řádu mohou být maximálně 0,2 % U_n a pro ostatní harmonické v tabulce 1-1 nesmí být větší než 0,1 % U_n .

Při překročených hodnotách harmonických napětí je třeba provést některá opatření:

- zabudování filtrů harmonických
- připojení v místě s nižší impedancí sítě (vyšším zkratovým výkonem)[8]

3.4.6 Ovlivnění zařízení HDO

Provozní frekvence pro zařízení hromadného dálkového ovládání (HDO) se pohybuje mezi cca 180 až 300 Hz. Ta jsou navržena na zatížení odpovídající 50 Hz zatížení sítě, kterou napájí svým signálem. Provozovatel distribuční soustavy je povinen poskytnout použitou frekvenci pro danou oblast.[8] Výrobna nebo zařízení na kompenzaci účinníku ovlivňuje přidavným zatížením (zvýšeným zatížením sítě) vysílač HDO. Tento vliv může způsobit nepřípustné změny hladiny signálu HDO v místě připojení.[9] Vhodná opatření k potlačení vlivu je nutné projednat s provozovatelem distribuční soustavy.

Hladina signálu HDO nesmí klesnout o více než 10 až 20 % pod požadovanou hladinu. Samotná připojovaná zařízení nesmí zapříčinit pokles signálu nejvýše o 5 %. Kromě omezení poklesu velikosti signálu není dovolena produkce nežádoucích rušivých napětí.[13]

4 Jednotka větrné elektrárny

V současné době jsou na území České republiky nejčastěji využívány větrné elektrárny s horizontální osou otáčení, které mají vyšší účinnost než ostatní typy. V minulosti na podobném principu fungovaly větrné mlýny. Současné moderní elektrárny mívají obvykle tři listy. Přesto byly zkonstruovány i typy s jedním nebo se dvěma listy.

Principem činnosti je působení aerodynamických sil, které působí podél rotorových listů. Listy mají tvarovaný profil podobný křídlu letadla. Větrná turbína převádí energii větru na mechanickou. Ta je pomocí generátoru převedena na elektrickou. Vyrobená energie je přímo úměrná třetí mocnině rychlosti proudění větru. Činnost elektrárny je plně automatická.

Mezi největší světové výrobce patří například americká firma GE Energy působící především v zámoří.[14] Ale na evropském trhu jasně dominují firmy Enercon a Vestas. Obě společnosti se zabývají i vlastním výzkumem a konstrukcí celé elektrárny od použitých materiálů a tvaru turbíny až po vyvedení výkonu. K dlouhodobě největším výrobcům na světě patří právě Dánská firma Vestas. Proto si přiblížíme větrnou elektrárnu od tohoto výrobce.

4.1 Základní popis

Větrná elektrárna VESTAS V90-2,0 MW – jedná se o návětrnou elektrárnu s naklápěcím mechanismem s třílistovým rotorem a aktivním směřováním větru. Průměr rotoru je 90 m a využívá technologie OptiSpeed™ (označované také jako VCS – Vestas Converter Systém) pro provoz zařízení s optimálními otáčkami. Tím je možno optimalizovat její výkon.[15]

Všechny elektrárny V90-2,0 MW jsou vybaveny zařízením OptiTip. Systémem vyvinutým firmou VESTAS pro optimalizaci náběhového úhlu. Listy rotoru se nastavují do optimálního úhlu při konkrétních větrných podmínkách. Výsledkem je zvýšení výroby elektrické energie a minimalizace hluku. Naopak při vysokých rychlostech větru tento systém zajišťuje, aby výroba nepřesáhla jmenovitý výkon. Pro případné zastavení rotace je větrná elektrárna vybavena brzdícím systémem. Ten listy rotoru nastavuje a aktivuje tím hydraulickou zajišťovací brzdu. Listy jsou vyrobeny z epoxidové pryskyřice laminované skelným vláknem a z uhlíkových vláken.[15]

Energie je přenášena z hlavní hřídele přes převod na generátor. Od předovky, jež je kombinací planetového a čelně ozubeného převodu se šikmými zuby, je energie přenášena přes kompozitní spojku na generátor.[15]

Generátor je asynchronní čtyřpólový s rotorovým vinutím vyvedeným na kroužky. Umístění zvyšovacího transformátoru je v samostatné místnosti na konci strojovny. Funkce elektrárny jsou kontrolovány a regulovány pomocí mikroprocesorové řídicí jednotky.

Všechny komponenty větrné elektrárny jsou chráněny před deštěm, sněhem, prachem nebo sluncem krytem strojovny vyrobeným ze sklolaminátu.

Pro přístup do strojovny je z věže proveden centrální otvor. Dále je součástí strojovny servisní jeřáb o nosnosti 800 kg. Nadstandardním prvkem v nabídce VESTAS je servisní výtah uvnitř věže.[15]



Obr. 4-1: Pohled na věž s místem připojení



Obr. 4-2: Varianta bez servisního výtahu

4.1.1 Klimatické poměry

Rozsah teplot pro provoz větrné elektrárny je v rozmezí $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$. V podmínkách mimo tento rozsah teplot jsou zapotřebí zvláštní opatření.

Při dodržení odstupů, které jsou minimálně pětinásobek průměru rotoru (450 m), je možno instalovat elektrárny ve větrných parcích. Při instalaci v řadě kolmé k převažujícímu větru, musí být jejich odstup alespoň čtyřnásobek průměru rotoru (360 m).

Relativní vlhkost prostředí může být až 100 % po dobu maximálně 10 % životnosti.

Antikoroziní ochrana je provedena na dlouhou dobu životnosti zařízení podle evropské normy ISO 12944-2. Ta se zabývá klasifikací základních prostředí, kterým jsou ocelové konstrukce.[15]

4.1.2 Napojení na distribuční síť

Připojení kabelové přípojky je umístěno v základu věže. Připojované napětí může být v rozsahu 6 – 33 kV a napětí přístrojů nesmí překročit 36 kV (U_m). Výstupní napětí zvyšovacího transformátoru se upravuje podle napájecího napětí v distribuční síti. V rámci našeho návrhu se nastaví na napěťovou hladinu 22 kV. Kolísání napětí v síti smí být maximálně $+5/-5$ %. Přijatelné odchylky frekvence jsou v rozsahu $+1/-3$ Hz (50 Hz).

Při občasném nebo rychlém kolísání frekvence sítě může dojít k poškození elektrárny.

Po dobu životnosti nesmí docházet k výpadkům sítě častěji než v průměru jednou týdně.

Zemní odpor nesmí přesáhnout hodnotu 10 Ω . [15]

4.1.3 Omezení

Při určitých kombinacích silného větru, vysokých teplot, nízké hustoty vzduchu a nízkého napětí sítě dochází ke snížení výkonu, aby se zajistilo dodržení teplotních podmínek pro komponenty – převodovka, generátor, transformátor apod. Distribuční síť by se měla nejvíce blížit jmenovitým hodnotám a při výpadcích a velmi nízkých teplotách je nutno počítat se zahřívací fází pro opětovné zahájení provozu.

Pokud je elektrárna umístěna v oblasti ležící v nadmořské výšce nad 1000 m, většinou to má nepříznivý vliv na její výkon chlazení. Zvyšují se teploty v generátoru, transformátoru nebo jiných elektrických zařízeních. Potom může nastat omezení výkonu vzhledem k jmenovité hodnotě, ačkoliv se teplota prostředí pohybuje v rozmezí provozních teplot (viz. kapitola Klimatické poměry). Při těchto nadmořských výškách hrozí také zvýšené nebezpečí námrazy, které mohou zapříčinit přerušení provozu. Pro snížení možnosti vytvoření námrazy jsou listy rotoru opatřeny speciálním lakem. Při vzniku námrazy dochází k přetížení listů a k vibracím. To způsobuje odstavení elektrárny pomocí čidla, které hlídá vibrace. Aby se zajistila bezpečnost poblíž větrných elektráren je povinností osadit výstražné tabulky, které upozorňují na odpadávání námrazy v zimních měsících.[15]

4.2 Hlavní údaje

4.2.1 Větrné poměry

Krátkodobé změny a výkyvy rychlosti větru jsou určovány turbulencemi.[15]

Tab. 4-1: Konstrukční požadavky pro větrnou elektrárnu VESTAS V90-2,0 MW

Zóna DIBt	Výška hlavy [m]	Parametr A [m/s]	Střední rychlost větru [m/s]	Parametr C	Turbulence [m]	Max. rychlost nárazu větru Max. zrychlení [m/s ²]
II	105	7,28	6,46	2,0	20	10

Tab. 4-2: Maximální přípustné extrémní rychlosti větru

Zóna DIBt	Max. deseti-minutový průměr [m/s] za 50 let	Max. pěti-sekundový průměr [m/s] za 50 let	Max. deseti-minutový průměr [m/s] za 1 rok	Max. pěti-sekundový průměr [m/s] za 1 rok	Rychlost větru při zastavení/opětovném startu [m/s]
II	40,2	51,3	32,2	41,0	23/20

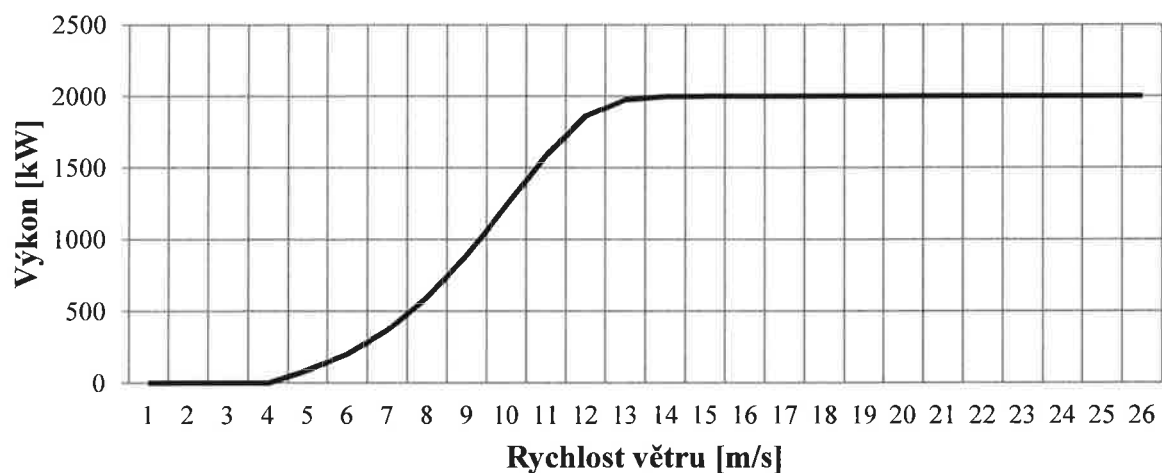
4.2.2 Výkonové křivky

Výkonové křivky jsou stanoveny pro listy profilu rotoru RISØ P + FFA-W3, a byly naměřeny na nízkonapěťové straně transformátoru. Při výpočtech byly zanedbány ztráty na transformátoru a na vysokonapěťovém vedení.[15]

Parametry vypočtených křivek:

Síťová frekvence	:	50 Hz
Průměr rotoru	:	90 m
Náběhový úhel	:	regulace naklápěcím mechanismem
Turbulence	:	10 %

Pokud je požadavek na tlumení hluchosti, je možné před instalací naprogramovat mezní hodnoty emisí hluku. Má to za následek snížení hodinového výkonu oproti standardním hodnotám.



Obr. 4-3: Výkonová křivka V90-2,0 MW – převzato z [15]

Elektrický proud [kW] je funkcí rychlosti větru [m/s] a konstantní hustoty vzduchu 1,225 [kg/m³].

Tab. 4-3: Hodnoty vyčtené z výkonové křivky

Rychlost větru [m/s]	V90-2,0 MW
4	90
5	201
6	366
7	595
8	891
9	1236
10	1584
11	1859
12	1975
13	1998
14	2000
15	2000
16	2000
17	2000
18	2000
19	2000
20	2000
21	2000
22	2000
23	2000

Odhad ročního výkonu s přihlédnutím k desetiprocentní turbulenci a hustotě vzduchu 1,225 [kg/m³] uvádí hodnotu 5553 MWh.[15]

4.3 Základní technické specifikace

V uvedené technické specifikaci od výrobce jsou uvedeny jen vybrané vlastnosti, které jsou významné pro provoz elektrárny.

4.3.1 Rotor

Průměr:	90 m
Záběrová plocha:	6362 m ²
Počet otáček rotoru (statické):	14,9 ot./min.
Počet otáček rotoru (provozní interval):	8,2 – 17,3 ot./min.
Směr otáčení:	ve směru hodinových ručiček (pohled zepředu)
Natočení:	6°
Počet listů rotoru:	3
Aerodynamické brzdy:	plné nastavení listů rotoru

4.3.2 Listy rotoru

Materiál:	epoxidová pryskyřice zpevněná skelným vláknem a uhlíková vlákna
Upevnění listu:	ocelové kotvící vložky
Profil lopatek:	RISØ P + FFA-W3
Délka:	44 m

4.3.3 Převod a usměrňování větru

Typ:	kombinace šnekového převodu a třístupňového planetového převodu bez klidové polohy
Motor:	2,2 kW, šestipólový, asynchronní s elektrickou brzdou

4.3.4 Generátor s VCS (50 Hz)

Jmenovitý výkon:	2,0 MW
Jmenovitý proud pro 22 kV:	52,5/ 54,7 A ($\cos \varphi = 1/ 0,96$)
Typ:	asynchronní s rotorovým vinutím vyvedeným na kroužky, sběracími kroužky a s VCS (provoz s optimálními otáčkami)
Napětí:	690 V AC

Frekvence:	50 Hz
Jmenovitý účinník ($\cos \varphi$)	1
Zkratový poměr	8,07
Maximální činitel flikru	2,1
Rozsah účinníku ($\cos \varphi$)	0,95 kap. ÷ 0,95 ind.
Nejvyšší spínací ráz ($k_{i\max}$)	1, 1
Počet pólů:	4
Třída ochrany:	IP54
Jmenovitá rychlost:	1680 ot./min.
Koeficient jmen. výkonu, chyba:	1,0

4.3.5 Řídicí jednotka

Prívod proudu

Napětí:	3x 690 V AC, 3x 480 V AC
Frekvence:	50 Hz
Prívod proudu pro světlo:	230 V AC/ (110V AC)

Počítač

Komunikace:	ArcNet
Programová paměť:	EPROM (Flash)
Programovací jazyk:	C++
Konfigurace:	moduly
Obsluha:	číselná klávesnice + funkční tlačítka
Displej:	4 x 40 znaků

Sledování/ kontrola

Činný výkon, zdánlivý výkon, systém směřování větru, hydraulické zařízení, prostředí (vítr, teplota), rotace, generátor, systém natáčení listů rotoru, síť, dálkové sledování

Informace

Provozní údaje, výroba, provozní dokumentace, dokumentace poplašných zařízení

Příkazy

Provoz/ přestávka, ruční start/ stop pro systém směřování větru, program pro údržbu

4.3.6 Transformátor

Jmenovitý výkon:	2100 kVA
Typ:	zalitý v pryskyřici
Vysoké napětí:	6 – 33 kV (36 kV (U_m) vystrojovací napětí)
Frekvence:	50 Hz
Zapojení:	Dyn
Odbočky vysokého napětí:	$\pm 2 \times 2,5 \%$
Nízké napětí:	690 V
Výkon při 690 V:	1902 kVA
Nízké napětí (měnič):	480 V
Výkon při 480 V:	205 kVA

4.3.7 Hmotnosti

Věž:	231,0 t
Strojovna:	68,0 t
Rotor:	36,3 t
Celkem:	335,3 t

5 Měření spotřeby a kontrola

Energetický zákon č.458/200 Sb. zvláštními předpisy a připojovacími podmínkami stanovuje způsob měření, provádění odečtů a předávání naměřených údajů. Způsob měření je součástí smlouvy o připojení výroby, stejně tak typ a jeho umístění. Osazení měřícího zařízení provádí pouze provozovatel distribuční soustavy. Pokud provozovatel vyžaduje dálkový přenos naměřených hodnot, je nutné zajistit instalaci telefonní linky. Pokud nelze linku instalovat, provádí se přenos dat pomocí mobilní digitální sítě GSM.[16]

Umístění měření bývá zpravidla co nejbližší k místu rozhraní mezi zákazníkem a provozovatelem soustavy. V rámci projektové dokumentace je řešeno vlastní umístění a typ měření. Výrobce nebo zákazník je povinen umožnit neomezený přístup k měřicímu zařízení z důvodů provádění odečtů, údržby a ostatních kontrol.

5.1 Typy měření

a) měření typu A (průběhové měření elektřiny s dálkovým denním přenosem údajů)

Provádí ho přímo měřící zařízení. Používá se pro předávací místa se zahraničními soustavami a u soustav vn s příkonem nad 400 kW.

b) měření typu B (průběhové měření elektřiny s dálkovým jiným než denním přenosem údajů)

Provádí ho přímo měřící zařízení, a pokud není možné provést dálkový přenos, je možno přenos provést jiným způsobem. Používá se pro předávací místa v soustavě do 1 kV s nepřímým měřením a v odběrných místech s napětím od 1 kV do 52 kV s rezervovaným příkonem do 250 kW.

c) měření typu S (měření elektřiny s dálkovým přenosem údajů) - není měřením typu A ani B

a používá se v předávacích místech výrobců elektřiny do 30 kW

d) měření typu C (ostatní měření elektřiny)[17]

5.2 Třída přesnosti

Samotné měřící zařízení slouží k měření činné a jalové energie. Pokud celá elektrická energie prochází elektroměrem, jedná se o tzv. přímé měření. V případě většího množství energie jde o tzv. nepřímé měření nebo také převodové. K tomu jsou zapotřebí měřící transformátory, jejichž úkolem je provést převod proudu a napětí na hodnoty měřitelné měřícími prostředky.

V soustavě nn se používají pouze měřicí transformátory proudu. V sítích vn a vvn přibývají ještě měřicí transformátory napětí. Podle způsobu umístění měřicích transformátorů z hlediska strany silového transformátoru rozlišujeme primární nebo sekundární měření.[16]

Ve vyhlášce [16] je také stanoveno, jaké jsou požadavky na třídu přesnosti elektroměru a případně měřicích transformátorů. Pro vyšší napěťovou hladinu se používají vyšší třídy přesnosti přístrojů.

Tab. 5-1: Minimální požadavky na třídy přesnosti elektroměrů a měřicích transformátorů[16]

Měřicí místo	Měřicí transformátory proudu	Měřicí transformátory napětí	Elektroměr	Elektroměr podle nařízení vlády č. 464/2005 Sb.
Napětí do 1 kV přímé měření	-	-	činná energie třída přesnosti 2 jalová energie třída přesnosti 3	činná energie třída A
Napětí do 1 kV nepřímé měření	0,5 S	-	činná energie třída přesnosti 1 jalová energie třída přesnosti 2	činná energie třída B
Napětí od 1 kV do 52 kV nepřímé měření	0,5 S	0,5	činná energie třída přesnosti 1 jalová energie třída přesnosti 2	činná energie třída B
Napětí vyšší než 52 kV	0,2 S	0,2	činná energie třída přesnosti 0,5 jalová energie třída přesnosti 1	činná energie třída C

6 Řízení činného a jalového výkonu

Pro možnost provozu větrné elektrárny platí základní podmínky chování větrné elektrárny, které jsou stanoveny pravidly provozování distribučních soustav přílohy č. 4: Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy. Především regulace jalového výkonu v režimu elektrické spotřeby v mírně induktivním odběru v rozmezí účinníku 0,95 až 1, regulace činného výkonu v režimu výroby a regulace jalového výkonu v tolerančním pásmu $\cos \varphi = \pm 0,95$ s konkrétně zadanou hodnotou.[8]

6.1 Regulace jalového výkonu v režimu elektrické spotřeby

Hodnota jalového výkonu v předávacím místě se nastavuje tak, aby byla v rozsahu mírně induktivní spotřeby. Zjišťuje se nabíjecí výkon kabelového vedení vn a potom se navrhne odpovídající výkon dekompenzační tlumivky. Ta je navržena tak, aby při minimální výrobě vykompenzovala kapacitní proudy, které tečou kabelovým vedením vn.[18]

Pomocí tlumivky však není možné přesně vykompenzovat hodnoty kapacitních proudů. Řešením je vybavit předávací místo transformátorem vlastní spotřeby. Na sekundární vinutí se připojuje kompenzační rozvaděč s dekompenzačními tlumivkami menších výkonů a kondenzátorové baterie. Toto opatření zajišťuje v předávacím místě neutrální účinník i v případě, kdy dojde k odstavení věží s generátory nebo za bezvětří.

Neutrální účinník je kontrolován a regulován regulátorem v provedení PLC. Ten také vyhodnocuje okamžité toky činných a jalových výkonů v předávacím místě.[18]

6.2 Regulace činného výkonu v režimu výroby elektrické energie

Všechny připojované výrobní do distribuční soustavy musí být schopné v závislosti na kmitočtu a poměrů v síti automaticky snižovat činný výkon. Regulace výkonu musí být též proveditelná na pokyny z řídicího dispečinku provozovatele soustavy. Pokud toto není možné, musí se výrobní automaticky odpojit od sítě.[18]

Pokud frekvence stoupne nad hodnotu 50,2 Hz, musí být výrobní, která se neodpojí od sítě schopna snižovat činný výkon. Pokud však hodnota frekvence klesne pod 47,5 Hz, nebo stoupne nad 51,5 Hz, je nutno výrobní odpojit.[8]

Provozovatel distribuční soustavy je oprávněn řídit hodnotu činného výkonu jen v určitých případech. Například pokud dojde k ohrožení bezpečného provozu, při stavu nouze, nebo pokud probíhají nutné provozní, údržbové nebo stavební práce. Předepsáno je omezení činného výkonu ve třech stupních – 60 %, 30 % a 0 % jmenovitého výkonu, které musí být proveditelné do maximálně jedné minuty.[8]

Prakticky tato regulace probíhá v přenesení povelů v kontaktním vyjádření z telemechaniky v předávacím místě (např. RTU - řídicí systém, který je kromě binárních vstupů a výstupů vybaven měřením střídavých veličin, pokročilými funkcemi ochran a využívá se právě pro dispečerské řízení v distribuční síti elektrické energie) a potvrzení těchto povelů přijímacím modulem zpět do binárních vstupů telemechaniky. Samotná regulace činného výkonu je prováděna řídicím systémem Vestas SCADA Business pomocí optických přenosů do jednotlivých věží větrného parku.[18]

6.3 Regulace jalového výkonu v tolerančním pásmu $\cos \varphi = \pm 0,95$

Provozovatel distribuční soustavy požaduje u výroben nad 100 kVA vybavit je technickými prostředky, které jsou schopny v případě potřeby zajistit dostatečnou spotřebu nebo dodávku jalového výkonu. Nejčastěji se provádí regulace pevně stanoveným účínkem v rozsahu pěti stupňů -0,95/ -0,97/ 1/ 0,97 a 098.[18]

Povely pro regulaci jsou opět předávány na výstupech telemechaniky v předávacím místě. PLC automat tyto povely zpracuje a potvrdí zpět do telemechaniky. PLC automat poté porovná tyto hodnoty s reálnými výkonovými poměry a potom na základě změřených hodnot činného a jalového výkonu vyšle požadavek na rozhraní Vestas.[18]

7 Vypracování projektu

Vzhledem k omezeným zdrojům investora byl stanoven výkon připojované výrobní větrné elektrárny na 8 MVA. S přihlédnutím k nabídkám výrobců jednotek větrných elektráren z hlediska ceny a předložených referencí se přiklonil k výrobcí Vestas. Celková výrobní se bude skládat ze čtyř shodných jednotek VESTAS V90-2,0 MW. K poměrně malému výkonu byl provozovatelem stanoven přípojný bod do distribuční soustavy na hladině vn.

7.1 Výpočet a kontrola základních parametrů pro připojení

Všechny zpětné vlivy působící na síť se posuzují k příjnému bodu, především z hlediska zkratového výkonu S_{kV} v místě připojení. Abychom zkratový výkon mohli stanovit, vycházíme z normálních provozních podmínek, za kterých je tento zkratový výkon nejnižší. Celková impedance v bodě připojení se skládá z impedance sítě nadřazené a z impedance transformátoru a vedení.

Pro možnost provádění základních výpočtů musíme znát i základní parametry nadřazené sítě a transformátoru. Tyto hodnoty jsou dostupné u provozovatele distribuční soustavy. V rámci této práce si je stanovíme sami.

a) parametry nadřazené sítě

$$S_{KS} = 820MVA$$

$$\frac{R}{X} = 0,11$$

b) parametry transformátoru*

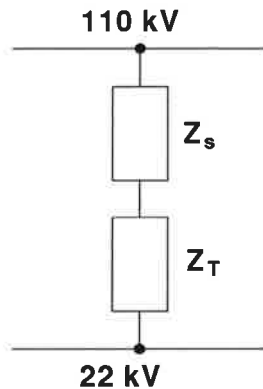
$$S_n = 50MVA$$

$$\Delta P_k = 160kW$$

$$u_k = 1,5\%$$

*hodnoty převzaty z podkladů ETD Transformátory, a.s.

7.1.1 Impedance nadřazené sítě



Obr. 7-1 Náhradní schéma pro výpočet impedance

$$Z_S = \frac{c_u \cdot U_n^2}{S_{KS}} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1} \right)^2 = \frac{1,1 \cdot 110^2}{820} \cdot \left(\frac{22}{110} \right)^2 = 0,649 \Omega \quad (28)$$

$c_u \dots$ napěťový součinitel ekvivalentního napěťového zdroje podle tabulky 1 [19]

$Z_s \dots$ ekvivalentní impedance soustavy v určitém bodu sítě

$U_n, U_1 \dots$ jmenovité napětí nadřazené soustavy

$U_2 \dots$ napětí sítě na straně připojení výroby

$$Z_S^2 = R_S^2 + X_S^2 \quad (29)$$

$$\frac{R_S}{X_S} = 0,11 \quad (30)$$

$$R_S = 0,071 \Omega$$

$$X_S = 0,645 \Omega$$

7.1.2 Impedance transformátoru

Ze známých parametrů, které je možné získat od výrobců, lze vypočítat činnou a jalovou složku impedance transformátoru

$$Z_T = \frac{u_k \cdot U_{nT}^2}{S_{nT} \cdot 100} = \frac{11,5 \cdot (22 \cdot 10^3)^2}{50 \cdot 10^6 \cdot 100} = 1,113 \Omega \quad (31)$$

$$R_T = \frac{P_{knT} \cdot U_{nT}^2}{S_{nT}^2} = \frac{160 \cdot 10^3 \cdot (22 \cdot 10^3)^2}{(50 \cdot 10^6)^2} = 0,031 \Omega \quad (32)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{1,113^2 - 0,031^2} = 1,113 \Omega \quad (33)$$

$u_k \dots$ jmenovité napětí nakrátko transformátoru

$U_{nT} \dots$ jmenovité napětí transformátoru

$S_{nT} \dots$ jmenovitý výkon transformátoru

$P_{knT} \dots$ jmenovité ztráty nakrátko transformátoru

7.1.3 Celková impedance s fázovým úhlem

$$Z = (R_S + R_T) + j \cdot (X_S + X_T) \quad (34)$$

$$Z = (0,071 + 0,031) + j \cdot (0,645 + 1,113) = 1,761 \angle 86,68^\circ$$

$$Z = Z_{kV}$$

7.1.4 Zkratový výkon v místě připojení

$$S_{kV} = \frac{U_S^2}{Z_{kV}} = \frac{(22 \cdot 10^3)^2}{1,761} = 274,84 \text{ MVA} \quad (35)$$

7.1.5 Maximální připojitelný výkon

Podle vztahu (7) z kapitoly 3.3 lze potom stanovit maximální připojitelný výkon v místě připojení:

$$S_{A \max vn} \leq \frac{2\% \cdot S_{kV}}{|\cos(\psi_k + \varphi)|} = \frac{S_{kV}}{50 \cdot |\cos(\psi_k + \varphi)|} = \frac{274,84 \cdot 10^6}{50 \cdot 0,1} = 54,97 \text{ MVA}$$

7.1.6 Zvýšené napětí pro připojovanou elektrárnu o výkonu 8 MVA

Ze vztahu (9) z kapitoly 3.3 určíme zvýšené napětí vyvolané provozem elektrárny, které nesmí přesáhnout 2 % vzhledem k napětí bez připojení.

$$\Delta u_{AV} = \frac{S_{A \max} \cdot \cos(\psi_{kV} + \varphi)}{S_{kV}} \cdot 100 = \frac{8 \cdot 10^6 \cdot 0,1}{274,84 \cdot 10^6} \cdot 100 = 0,291 \%$$

Pro velikost připojovaného výkonu 8 MVA je hodnota zvýšeného napětí vyhovující.

7.1.7 Výpočet změny napětí při spínání pro napájecí bod

Ze vztahu (12) z kapitoly 3.3 a známého zkratového výkonu S_{kV} v síti provozovatele a jmenovitého zdánlivého výkonu S_{nE} výroby odhadneme změnu napětí při spínání:

$$\Delta u_{\max} = k_{i\max} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} = 1,1 \cdot \frac{8 \cdot 10^6}{274,84 \cdot 10^6} \cdot 100 = 2,91\%$$

Pokud změny napětí způsobené připojováním a odpojováním jednotlivých generátorů nebo zařízení nepřekročí 2 %, nepřipustné zpětné vlivy nevyvolávají. To platí, pokud není spínání častější než jednou za 1,5 minuty. Při četnosti spínání například jednou za den může provozovatel soustavy povolit větší změny napětí.

Vlivem vnitřních přechodných jevů připojovaných asynchronních generátorů se synchronními otáčkami může po velmi krátkou dobu dojít k poklesu napětí. Pokles může dosáhnout dvojnásobku přípustné hodnoty, tedy pro síť vn 4 %. [8]

Aby se minimalizovaly zpětné vlivy na síť je zapotřebí zamezit současnému spínání několika generátorů v jednom místě připojení. To bude provedeno časovým odstupňováním jednotlivých spínání, minimálně jednou za 1,5 minuty při maximálním přípustném výkonu generátoru.

7.2 Výpočet zpětných vlivů větrných elektráren o výkonu 8 MVA

Pro posouzení flikru je použita hodnota činitele flikru c z kontrolního protokolu, která je pro zvolený typ elektrárny Vestas 2,1.

Z důvodu zjednodušení budeme uvažovat stav, kdy se v zadané síti zařízení HDO nevyskytuje, tedy vlivem připojení nemá na tato zařízení žádný vliv.

7.2.1 Výpočet dlouhodobé míry flikru

Pro dlouhodobou míru flikru jedné jednotky platí vztah (21) podle kapitoly 3.4:

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{nG}}{S_{kV}} = 2,1 \cdot \frac{2 \cdot 10^6}{274,84 \cdot 10^6} = 0,016$$

Pokud se jedná o několik stejných jednotek potom podle vztahu (23) výsledná míra vjemu flikru připojovaných větrných elektráren bude:

$$P_{l_{res}} = \sqrt{n} \cdot P_{li} = \sqrt{4} \cdot 0,016 = 0,032$$

Maximální hodnota míry vjemu flikru P_{li} tedy podle výrazu (19a) zdaleka nepřekročí přípustnou hodnotu 0,46.

7.2.2 Výpočet harmonických proudů

Větrná elektrárna Vestas V90 podle zkušebního protokolu [20] generuje 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8., 11., a 13. harmonickou. Tyto hodnoty harmonických proudů jsou stanoveny pro hladinu 20 kV,

$I_n = 57,9$ A. Je nutné přepočítat je na hladinu 22 kV ($I_n = 52,5$ A) a porovnat s tabulkou dovolených hodnot 3.1 z kapitoly 3.4.5, která udává limitní hodnoty vztažené ke zkratovému výkonu S_{kV} v přípojném bodě.

Tab. 7-1: Emise harmonických proudů

Řád harmonické	emise 20 kV	22 kV	farma	limit na SkV	přípustný proud	výsledek
H	I_h/I_n [%]	I [A]	I_c [A]	I_v [A/MVA]	$I_{vpř}$ [A]	
2	0,25	0,131	0,525	0,015	4,12	vyhovuje
3	0,53	0,278	1,113	0,015	4,12	vyhovuje
4	0,24	0,126	0,504	0,008	2,06	vyhovuje
5	3,93	2,063	8,253	0,058	15,94	vyhovuje
6	0,29	0,152	0,609	0,005	1,37	vyhovuje
7	0,92	0,483	1,932	0,041	11,27	vyhovuje
8	0,12	0,063	0,252	0,004	1,03	vyhovuje
11	0,15	0,079	0,315	0,026	7,15	vyhovuje
13	0,13	0,068	0,273	0,019	5,22	vyhovuje

Proudy harmonických v předávacím místě nepřesahují dovolené hodnoty. Je potřeba po uvedení větrné elektrárny do provozu provést kontrolní měření.

7.3 Provedení měření

7.3.1 Obchodní měření

Obchodní měření je osazeno v rozvaděči, který je umístěn v kiosku předávací stanice (možná dispozice - Příloha 1). Dle vyhlášky 218/2001 se bude jednat o nepřímé měření typu A. Je navržen nástěnný rozvaděč typu SM-U2 v provedení pro příslušného provozovatele distribuční soustavy (možné schéma - Příloha 2).

Dvířka skříně jsou průhledná a jsou opatřena speciálním zámekem. Pod výklopným panelem je umístěna zkušební svorkovnice, řadová svorkovnice pro ukončení přívodu 230 V, 50 Hz; proudový chránič 10 A/1 f, $I_r = 30$ mA; zásuvka na DIN lištu 230 V/16 A.

Informace o odebrané elektrické energii je předávána do rozvaděče měření z proudových a napět'ových měničů, které jsou osazeny v poli měření rozvaděče vn. Ty stanovuje ve svém vyjádření provozovatel. Použitý typ měničů musí mít tzv. úřední vzor pro Českou republiku („Rozhodnutí o schválení typu měřidla“) a musí být ověřeny státní zkušebnou. Měřicí soupravu pro obchodní měření dodá a namontuje provozovatel distribuční soustavy.

V rozvaděči bude osazen optočlen, který bude využit pro snímání činného (P) a jalového (Q) výkonu pro regulátor kompenzace R-Q.

Rozvaděč bude rovněž vybaven HDO, které opět dodá provozovatel (možné schéma - Příloha 3). Přijímač bude sloužit jako hlavní regulace činného výkonu elektrárny. Rozvaděč bude vybaven zámekem se dvěma vložkami, aby byl možný přístup jak pro pracovníky provozovatele, tak pro investora.

7.3.2 Dispečerské měření

Dispečerské měření bude osazeno v nástavbě vn skříně v poli měření předávacího kiosku. Součástí dispečerského měření bude jednotka RTU, akumulátor pro zálohované napájení 12V, zařízení pro dálkový přenos signálů pomocí GSM a teplotní čidlo. Pro skříně bude přivedeno zálohované napájení 230VAC z rozvaděče vlastní spotřeby. Signalizační, měřicí a ovládací obvody jsou součástí jednotky RTU a jsou vyvedeny na svorkovnici. Jednotka má k dispozici binární vstupy, analogové vstupy a reléové výstupy.

Na základě metodického postupu provozovatele distribuční soustavy budou na výstupní svorkovnici dispečerského měření přivedeny tyto signály:

- dvoubitová signalizace stavů všech silových prvků vývodového pole z výroby (vypínač, odpojovač, uzemňovač) – z přívodního pole
- suma působení ochran
- výpadek jističe přístrojových transformátorů napětí pro ochrany a měření
- signalizace ovládání činného výkonu výroby (100 %, 60 %, 30 %, 0% výkonu)
- záložní regulace činného výkonu - stupňovitě v režimu 0 %, 30 %, 60 % a 100 % instalovaného výkonu. Regulace mezi jednotlivými stupni musí probíhat bez přechodu na mezistupeň 100 %, anebo 0 %. V případě volby 100 % bude zrušen předchozí stupeň. Stupeň 100 % může být odvozen od neaktivních stupňů 60 %, 30 %, 0 %.
- analogové měření – 3x napětí, 3x proud – z měřících transformátorů ve skříní měření rozvodny vn
- měření venkovní teploty a rychlosti větru
- z vnitřních obvodů RTU bude získána informace o překročení meze P a odpojení RTU od napájení

7.4 Uzemnění

Kolem jednotlivých větrných elektráren budou provedeny potenciálové kruhy pomocí vodiče FeZn Ø 10 mm (Příloha 4). Na toto uzemnění bude u každé věže elektrárny připojeno armování základu větrné elektrárny, pracovní a ochranné uzemnění. Z uzemnění budou dva vývody na ekvipotenciální svorkovnici v patě stožáru.

Do společných výkopů s kabely vn budou v trasách cca 50 m od věží položeny zemnicí pásy FeZn 30x4 mm. Pro pásek bude na dně výkopu pro kabely vn proveden prohloubený výkop cca 10 cm, ve kterém bude zemnicí pásek uložen a zasypán výkopovým materiálem. Veškeré spoje v zemi budou antikorozně upraveny a budou provedeny dvěma svorkami.

Zemní odpor uzemnění nemá být větší než 5 Ω , ve ztížených uzemňovacích podmínkách nesmí být větší než 15 Ω . Celkový zemní odpor všech PEN vodičů včetně zemního odporu uzemnění nesmí být větší než 2 Ω .

8 Případné vlastnosti rozvodny 110 kV

Bude se jednat o oplocený areál s vlastním vjezdem, který bude navazovat na stávající komunikaci v místě stavby. Transformovna bude navržena jako bezobslužná.

Základní parametry rozvodny 110kV budou přizpůsobeny parametrům a zkratovým poměrům sítě vvn v místě připojení a standardům provozovatele sítě. Přesné hodnoty zkratových proudů bývají řešeny v příkládané studii připojitelnosti.

Návrh transformovny 110/22 kV bude vycházet z obecných požadavků na zajištění připojení nového větrného parku do stávající sítě vvn. Technologické provedení rozvodny vvn bude s ohledem na požadovanou spolehlivost, bezpečnost a minimální dopady na životní prostředí navrženo v zapouzdřeném provedení s izolací plynem SF6.

Objekt transformovny bude orientován směrem k přívodní venkovní lince 110 kV, která bude zaústěna do budovy. Objekt bude oplocen a zajištěn proti neoprávněnému vniknutí. Vnitřní komunikace budou navrženy pro možnost bezpečné dodávky technologie.

8.1 Základní parametry rozvodny 110 kV

Samotná budova se bude skládat ze dvou nadzemních a jednoho podzemního podlaží. Komunikačně budou jednotlivá podlaží propojena schodištěm. V prvním podzemním podlaží budou umístěny kabelové prostory budovy. V prvním nadzemním podlaží budou místnosti pro osazení technologie:

- stanoviště transformátorů a kompenzace,
- vlastní spotřeby,
- sklad,
- rozvaděč vlastní spotřeby,
- akumulátorovna,
- místnost dieselgenerátoru,
- místnost kompenzace,
- kabelové stoupačky nn,
- komunikační chodby se schodištěm, a další

V tomto podlaží budou také stanoviště dvou transformátorů 110/22 kV. Dna záchytných van budou zasahovat výškově do úrovně prvního podzemního podlaží. Ve druhém nadzemním podlaží budou umístěny ochrany, velín a místnosti sociálního zařízení.

Rozvodna 110 kV bude navržena jako jednosystémová s podélným dělením. Skládat se bude z jednotlivých modulů polí, včetně podélného dělení a napojení na dva transformátory 110/22 kV. Umístěna bude ve druhém nadzemním podlaží. V prostoru pod rozvodnou 110 kV bude místnost rozvodny 22 kV.

8.2 Rozvodna 22 kV

Rozvodna bude umístěna v prvním nadzemním podlaží a bude tvořena krytým rozvaděčem s izolací SF6. Rozvaděč bude sestaven z jednotlivých polí s možností rozšíření. Rozvaděč 22 kV bude tvořen jedním systémem přípojníc, výkonovým vakuovým vypínačem, třípolohovým odpojovačem s uzemňovačem.

Pod rozvodnou vn bude vytvořen kabelový prostor, kde budou na lávkách umístěny kabely vn i nn.

8.3 Vlastní spotřeba střídavá a stejnosměrná

Vlastní spotřeba transformovny bude umístěna v prvním nadzemním podlaží. Místnosti pro dva transformátory vlastní spotřeby budou řešeny samostatně. Transformátory budou napojeny z vn rozvaděčů. Z nich bude napájena nezajištěná vlastní spotřeba $\sim 3 \times 400\text{-}230\text{V}$, 50Hz; TN-C-S, (3+N+PE+PEN).

Z důvodu nemožnosti připojení vlastní spotřeby na nezávislou síť vn je pro záložní napájení uvažováno s využitím dieselgenerátoru. Ten bude umístěn v samostatné místnosti. Připojení dieselgenerátoru bude zajištěno v případě, že dojde k beznapět'ovému stavu současně na obou přívodech od transformátorů vlastní spotřeby. Připnutí jednotlivých zdrojů bude vzájemně blokováno.

Zajištěné napájení vlastní spotřeby bude provedeno ze sítě 110V. Ta bude napájena dvěma moduly usměrňovačů napojených z vývodů střídavé vlastní spotřeby a propojena s bateriemi s odpovídající kapacitou. Pomocí střídačů bude provedeno napájení zajištěné soustavy $\sim 230\text{V}$, 50Hz; TN-S, (1+N+PE).

8.4 Napojení na distribuční vedení vvn 110 kV

Pro možnost připojení na distribuční soustavu 110 kV bude potřeba vybudovat propojovací vedení vvn od navrhované transformovny k místu napojení na stávající vzdušné vedení vvn provozovatele. Z důvodu vhodného umístění navrhované rozvody vn/vvn pro zajištění připojení je potřeba výstavba vedení 110 kV k transformovně v krátké trase.

9 Závěr

V první části práce bylo poukázáno na základní aspekty připojení větrné elektrárny z legislativní roviny. Teoreticky byly probrány požadavky na připojení ze strany provozovatele distribuční soustavy společně s rozбором zpětných vlivů na soustavu. Na základě těchto poznatků byla z hlediska připojení posouzena navržená větrná elektrárna skládající se ze čtyř věží každá o jmenovitém výkonu 2 MW od zvoleného výrobce Vestas. Napojovací bod byl zvolen na úrovni vysokého napětí 22 kV soustavy o určitém zkratovém výkonu.

Výpočty určily zkratový výkon v místě připojení a také potvrdily možnost připojení stanoveného celkového výkonu 8 MW z celkového možného o hodnotě téměř 55 MW. Problém nastal při výpočtech změn napětí při spínání pro určený napájecí bod. Hodnota sice překročila povolenou hranici 2 %, ale vhodně zvoleným časovým odstupňováním spínání minimálně jednou za 1,5 minuty může provozovatel povolit větší změny napětí, nejvýše však 4 %.

Práce přiblížila technické a elektrické vlastnosti zvolené větrné elektrárny Vestas V90 2MW. Od základního popisu, způsobu napojení na síť, přes vlastnosti fungování v závislosti na rychlosti větru a jejího výkonu. Byly stručně představeny její důležitá podpůrná zařízení, od mechanických částí, přes nejdůležitější součásti jako je generátor, transformátor a řídicí jednotka.

V části textu byla pouze okrajově nastíněna problematika regulace činného a jalového výkonu a způsobu měření elektrické energie. Zmíněn byl též způsob kontroly parametrů větrné elektrárny v rámci dispečerského měření, tedy možnost zásahu do způsobu provozu a hodnoty okamžitého výkonu v závislosti na stavech v síti a možných zpětných vlivů větrné elektrárny. V závěru byl představen základní pohled na možnou rozvodnu vvn 110 kV v případě, pokud by stanovil provozovatel soustavy napojení na této hladině napětí.

Literatura

- [1] LÖW & spol., s.r.o. Oznámení záměru – Výstavba větrné elektrárny v k.ú. Oldříšov [online]: 2014 [cit. 2014-4-13]. Dostupné z: http://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX01TSzEzMDZfb3puYW1lbmlET0NfMS5wZGY/MSK1306_oznameni.pdf
- [2] ACHRER, Jakub. Ochrana ozonové vrstvy v České republice: 20 let od podepsání Montrealského protokolu. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2007, 128 s. ISBN 978-807-2124-718.
- [3] Ústav fyziky atmosféry AV ČR [online]: 2013 [cit. 2012-11-23]. Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz/struktura-ustavu/oddeleni-meteorologie/projekty-egp/vetrna-energie/vetrna-mapa.html>
- [4] BOUDA, Zbyněk. Využití obnovitelných zdrojů energie: CZ0109 Cesta k udržitelnému rozvoji Vsetínska. 2010, 61 s. Agentura pro ekonomický rozvoj Vsetínska. Dostupné z: <http://www.eeagrants.cz/cs/programy/ehp-a-norske-fondy-2004--2009>
- [5] Nařízení vlády ze dne 24. srpna 2011 O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: 272/2011. 2011, 97. Dostupné z: <http://www.nrl.cz/legislativa/narizeni-272-2011.pdf>
- [6] E-vlivy v.2.5.21, EGC-EnerGoConsult ČB, popis programu E-vlivy. Dostupné z: http://www.egc-cb.cz/produkty_cz.php
- [7] ČEZ Distribuce, a.s., eRádce: Připojení/ změna výrobní el. energie [online]: 2014 [cit. 2014-4-14]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/eradce/pripojeni-zmena-vyrobnj-el-energie.html>
- [8] Pravidla provozování distribučních soustav: Příloha 4: Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy. Dostupné z: www.eon-distribuce.cz/cs/distribuce-elekriny/predpisy.shtml. 2011.
- [9] Pravidla provozování distribučních soustav. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds/ppds2012.html>.
- [10] Synchronní generátor, připojení na síť [online]: 2014 [cit. 2014-4-13]. Dostupné z: http://motor.feld.cvut.cz/www/materialy/X14ZSE/SYNCHRONNI_GENERATOR.pdf

- [11] Department of Electrical Power Engineering [online]: 2014 [cit. 2014-4-12].
Dostupné z: <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/cz/index.php/research-and-development/products/222-objektivni-flickrmetr>
- [12] ČSN EN 61000-3-2 ed.3. *Elektromagnetická kompatibilita (EMC) - Část 3-2: Meze - Meze pro emise proudu harmonických (zařízení se vstupním fázovým proudem ≤ 16 A)*. vyd. Praha, 2006. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.unmz.cz/default.aspx>
- [13] PNE 33 3430-6. *Parametry kvality elektrické energie - Část 6: Omezení zpětných vlivů na hromadné dálkové ovládání*. 3. vyd. Praha, 2011. Dostupné z: <http://www.csres.cz/CZ/podnikove-normy>
- [14] Ekolist.cz/ zpravodajství/ zprávy, Mmd Corporate: Významný projekt pomůže dalšímu rozvoji větrné energie ve Spojených státech [online]: 2014 [cit. 2014-4-13]. Dostupné z: http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/vyznamny-projekt-pomuze-dalsimu-rozvoji-vetrne-energie-ve-spojonych-statech?all_ids=1
- [15] Všeobecná specifikace V90 – 2,0 MW 950019.DE.R2. 2004.
- [16] Vyhláška MPO č. 82/2011 Sb. ze dne 17. března 2011 o měření elektřiny a o způsobu stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru, neoprávněné dodávce, neoprávněném přenosu nebo neoprávněné distribuci elektřiny. Dostupné z: <http://www.eon.cz/file/edee/cs/o-spolocnosti/informace-pro-partnery/energeticka-legislativa/vyhlaska-82-2011-sb.pdf>
- [17] Pravidla provozování distribučních soustav: Příloha 5: Fakturační měření. Dostupné z: www.eon-distribuce.cz/cs/distribuce-elekriny/predpisy.shtml. 2011.
- [18] EGC – EneGoConsult ČB, s.r.o. Studie proveditelnosti a předprojektová příprava farmy VTE Malý Chomutov – Řízení činného a jalového výkonu. 2013
- [19] ČSN EN 60909-0. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů*. vyd. Praha, 2002. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.unmz.cz/default.aspx>
- [20] Protokol o měření kvality větrné elektrárny VESTAS V90 – 2 MW
- [21] ČSN EN 61400-21 ed.2. *Větrné elektrárny - Část 21: Měření a vyhodnocení charakteristik kvality elektrické energie větrných turbín připojených k elektrické rozvodné soustavě*. vyd. Praha, 2009. Dostupné z: <https://csnonlinefirmy.unmz.cz/default.aspx>
- Pozn. Kapitola rozvodny vvn 110 kV a jednotlivé výkresové přílohy jsou použity se svolením projekční firmy ELEKTROPLAN, s.r.o.

Seznam příloh

Příloha 1: Možný návrh dispozice kiosků předávacího místa

Příloha 2: Schéma zapojení nepřímého měření

Příloha 3: Schéma zapojení HDO

Příloha 4: Uzemnění věže větrné elektrárny

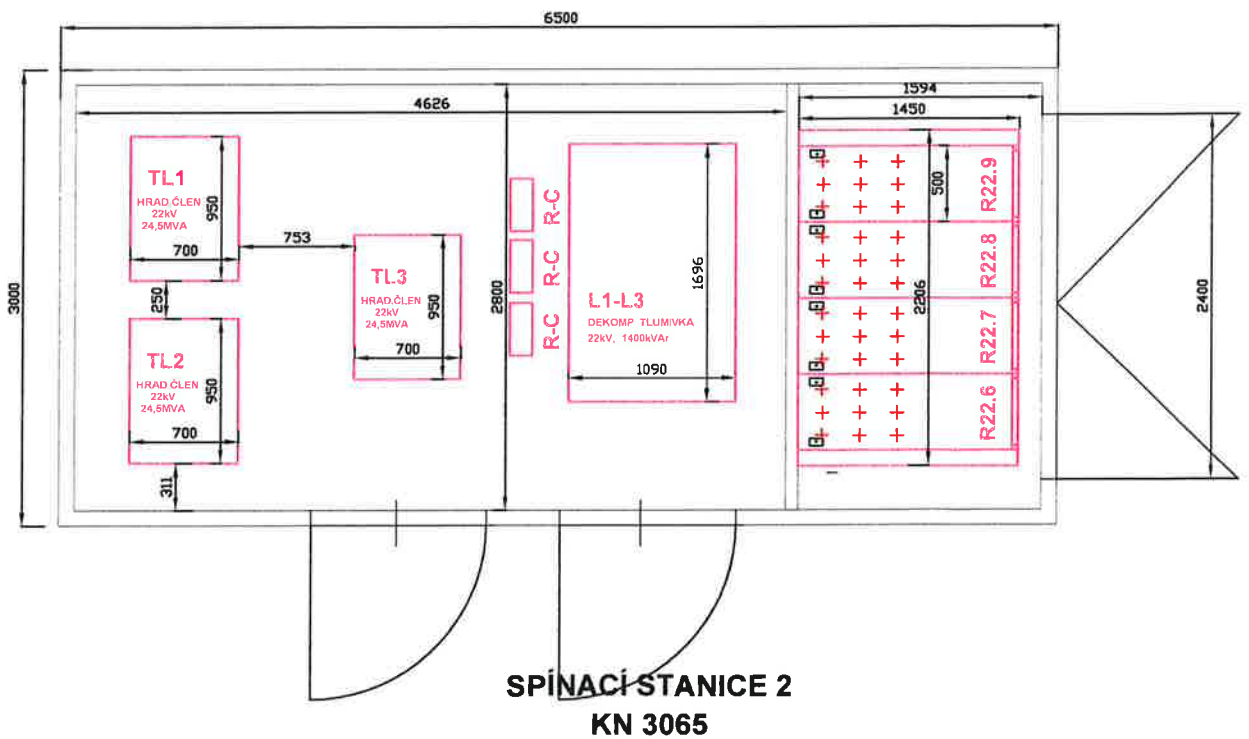
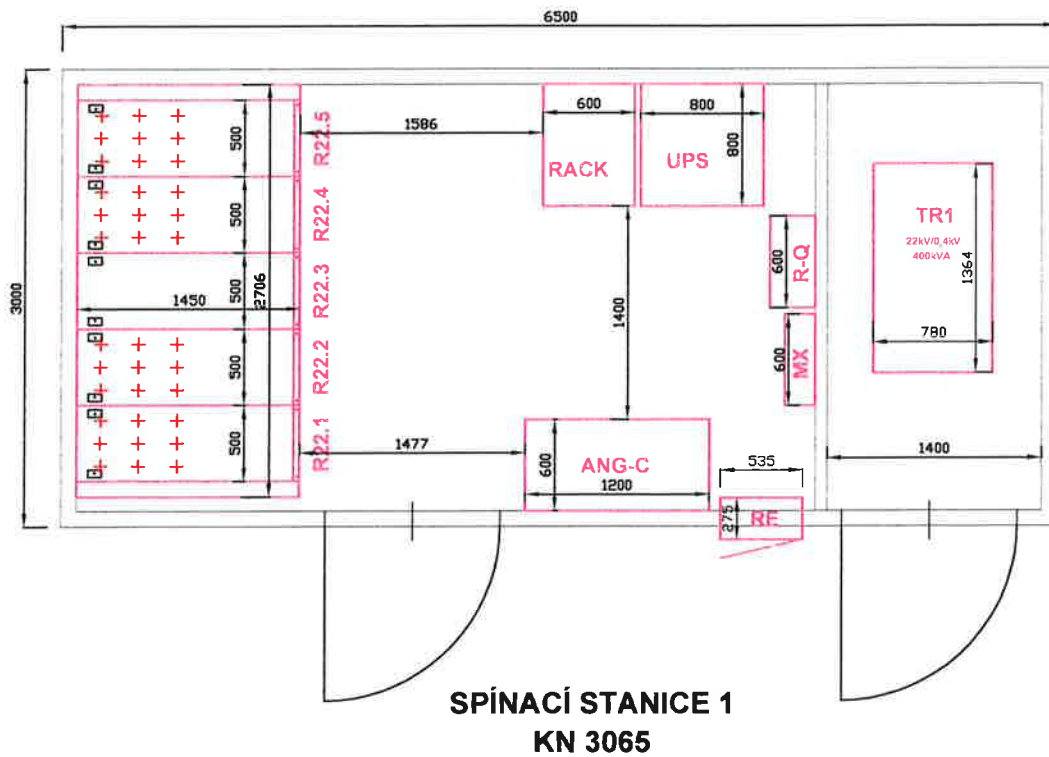
Příloha 5: Schéma vn

Příloha 6: Situace rozmístění věží + napojení do distribuční soustavy

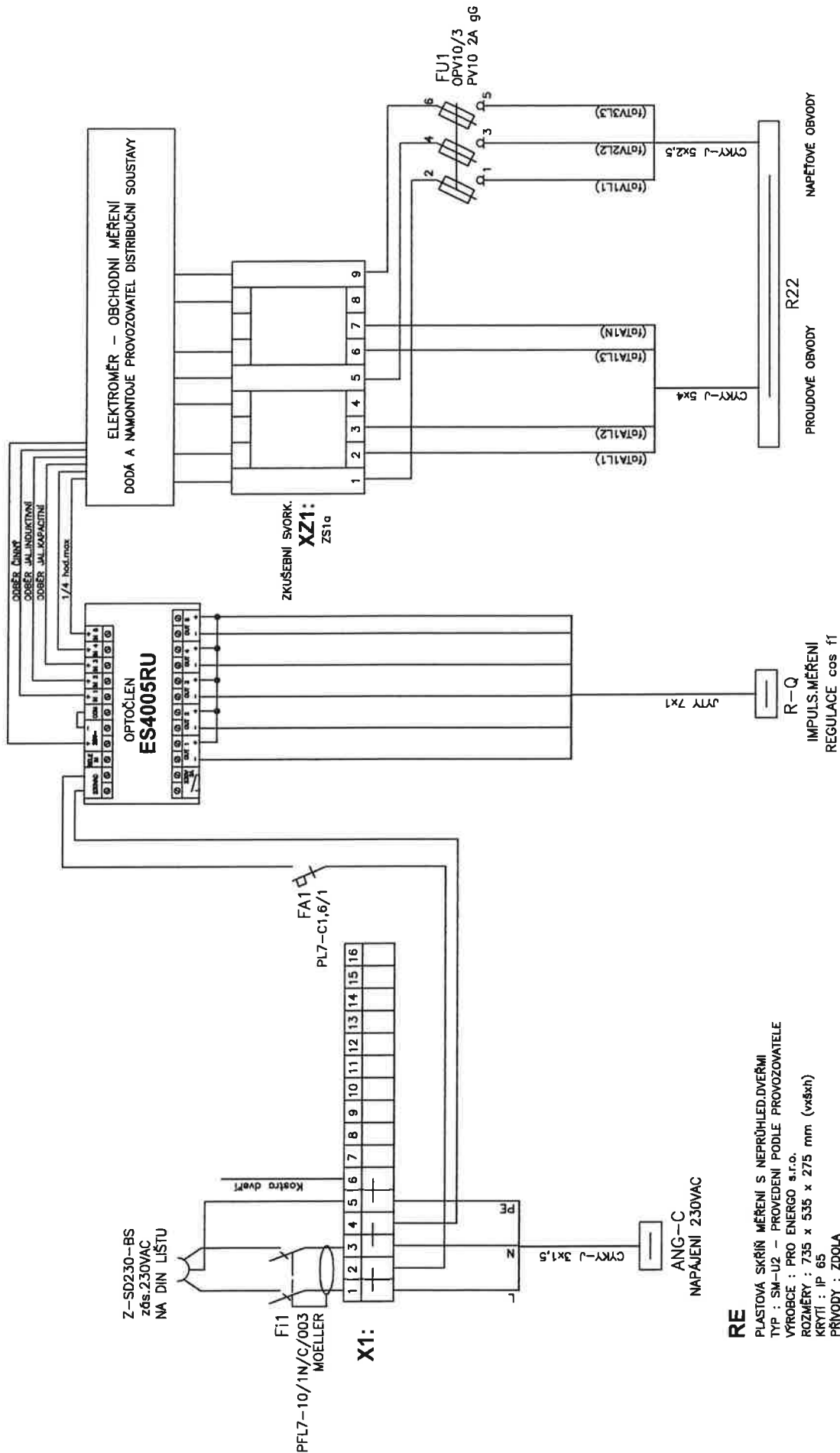
Příloha 7: Rozvodna vvn 110 kV – 1.NP

Příloha 8: Rozvodna vvn 110 kV – 2.NP

Příloha 1: Možný návrh dispozice kiosků předávacího místa



Příloha 2: Schéma zapojení nepřímého měření



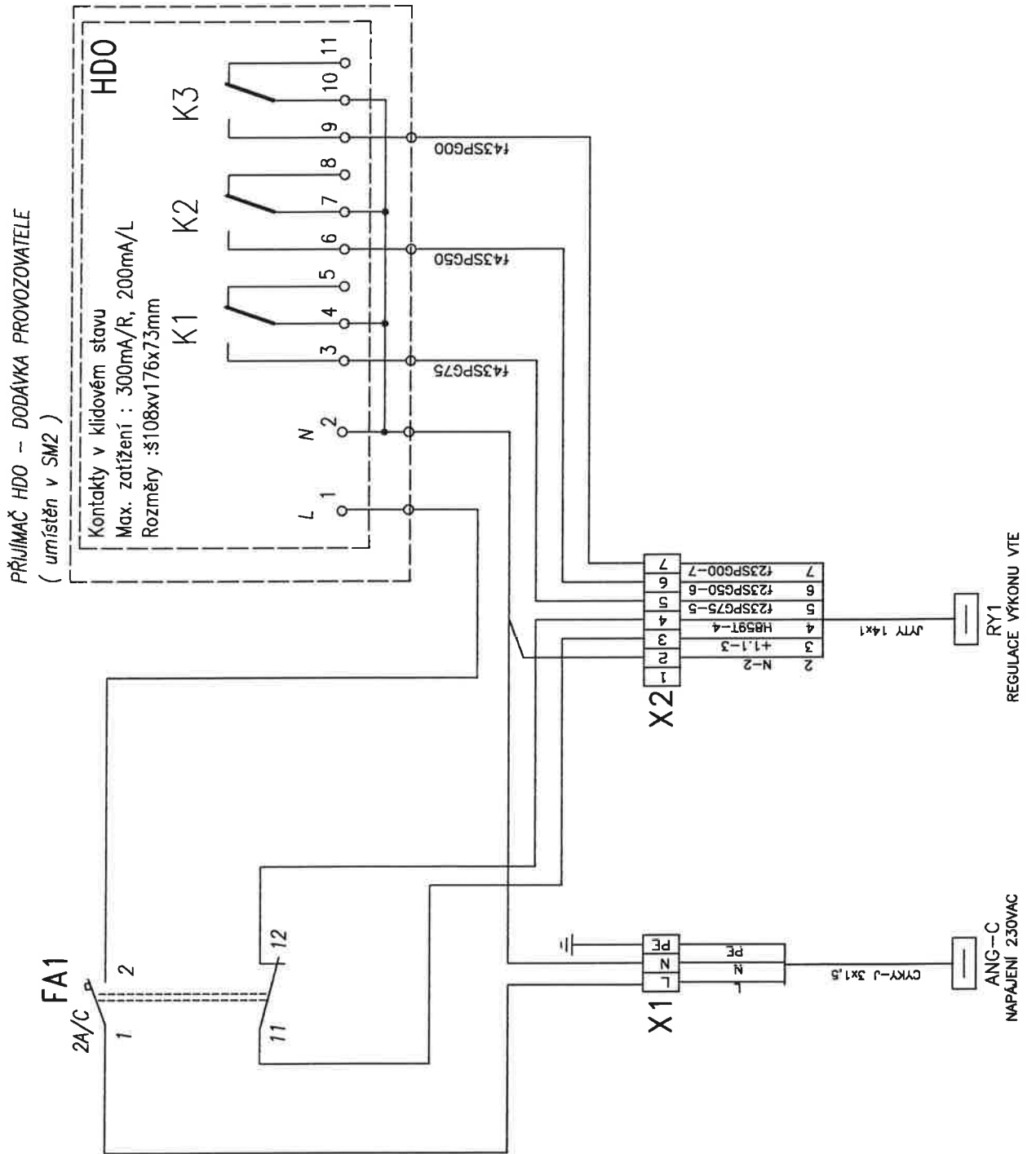
RE

PLASTOVÁ SKŘÍŇ MĚŘENÍ S NEPRŮHLÉD DVEŘÍ
 TYP : SM-U2 – PŘEVEDENÍ PODLE PROVOZOVATELE
 VÝROBCE : PRO ENERGO s.r.o.
 ROZMĚRY : 735 x 535 x 275 mm (všechny)
 KRYTÍ : IP 65
 PŘÍVODY : ZDOLA
 VÝVODY : DOLU
 ZÁMEK : ČTYŘHRAN

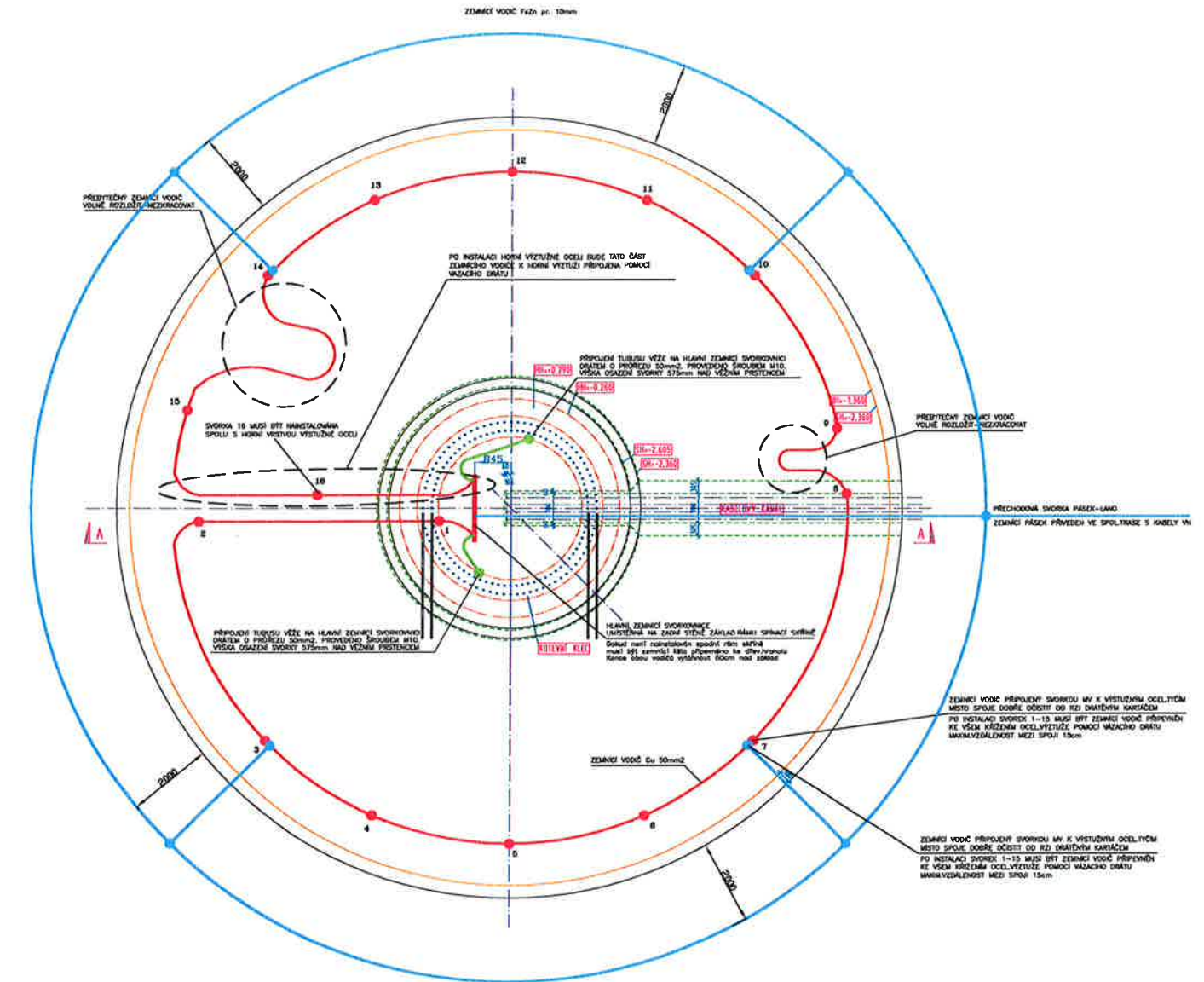
NAPĚŤOVÁ SOUSTAVA : 1 NPE stř.50Hz, 230V/7N-S
 OCHRANA PŘED ÚRAZEM EL.PROUDEM : SAMOČINNÝM VČASNÝM ODPOJENÍM OD ZDROJE
 PROUDOVÝM CHRÁŇÍČEM

MĚŘICÍ OBVODY--PROUDOVÉ : x/5A
 MĚŘICÍ OBVODY--NAPĚŤOVÉ : 3N stř.50Hz, 100V/57,8V/TT

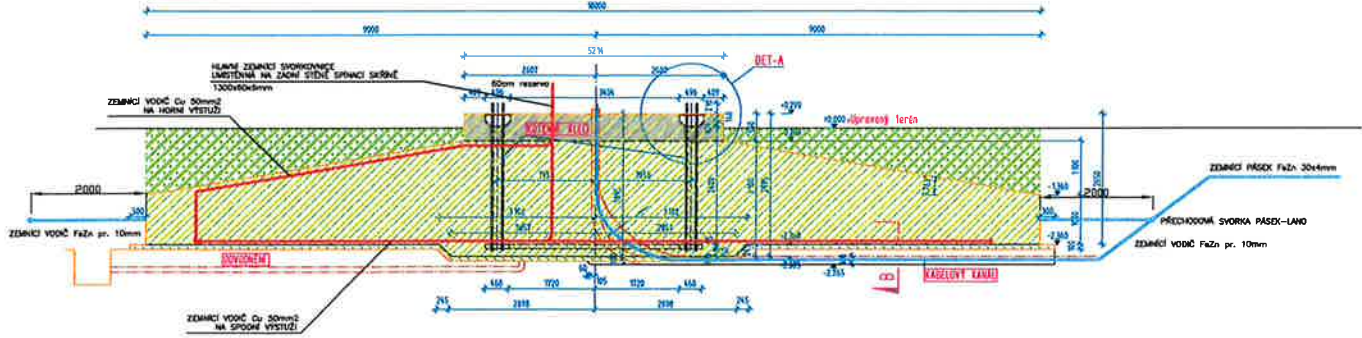
Příloha 3: Schéma zapojení HDO



Příloha 4: Uzemnění stožaru větrné elektrárny



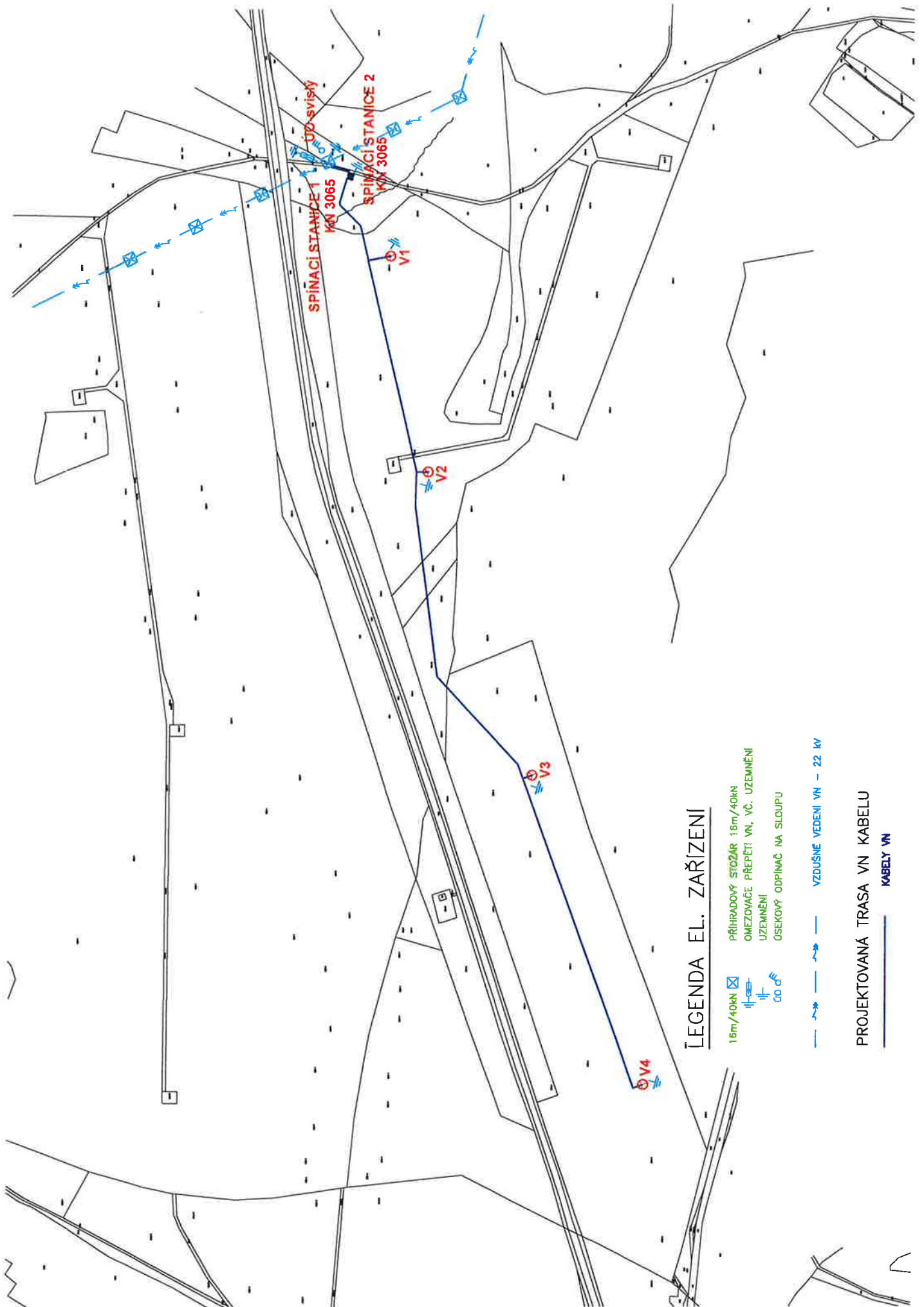
REZ A-A



LEGENDA

- ŽELEZOBETON C30/37-KC4-XD1-XB4
 - ŽELEZOBETON C45/55-KC4-XD1-XB1
 - PODKLADNÍ BETON C12/15
 - HUTNĚNÝ ZÁSYP, Objemová hmotnost
- BETON
 PODKLADNÍ C 12/15 30/37-KC4-XD1-X
 pod úrovní -0,260 + F3-XA1
 nad úrovní -0,260 C L F3-XA1
- LEGENDA
- ZEMNÍ VODIČ FeZn#10 PŘÍVEDENÝ SPOLEČNĚ S KABELY VN
 - ZEMNÍ LANO Cu 50mm² V ZÁKLADECH VE
 - ZEMNÍ LANO Cu 50mm² PRO PŘÍPOJENÍ KONSTRUKCE TUBUSU

Příloha 6: Situace rozmístění věží + napojení do distribuční soustavy



LEGENDA EL. ZAŘÍZENÍ

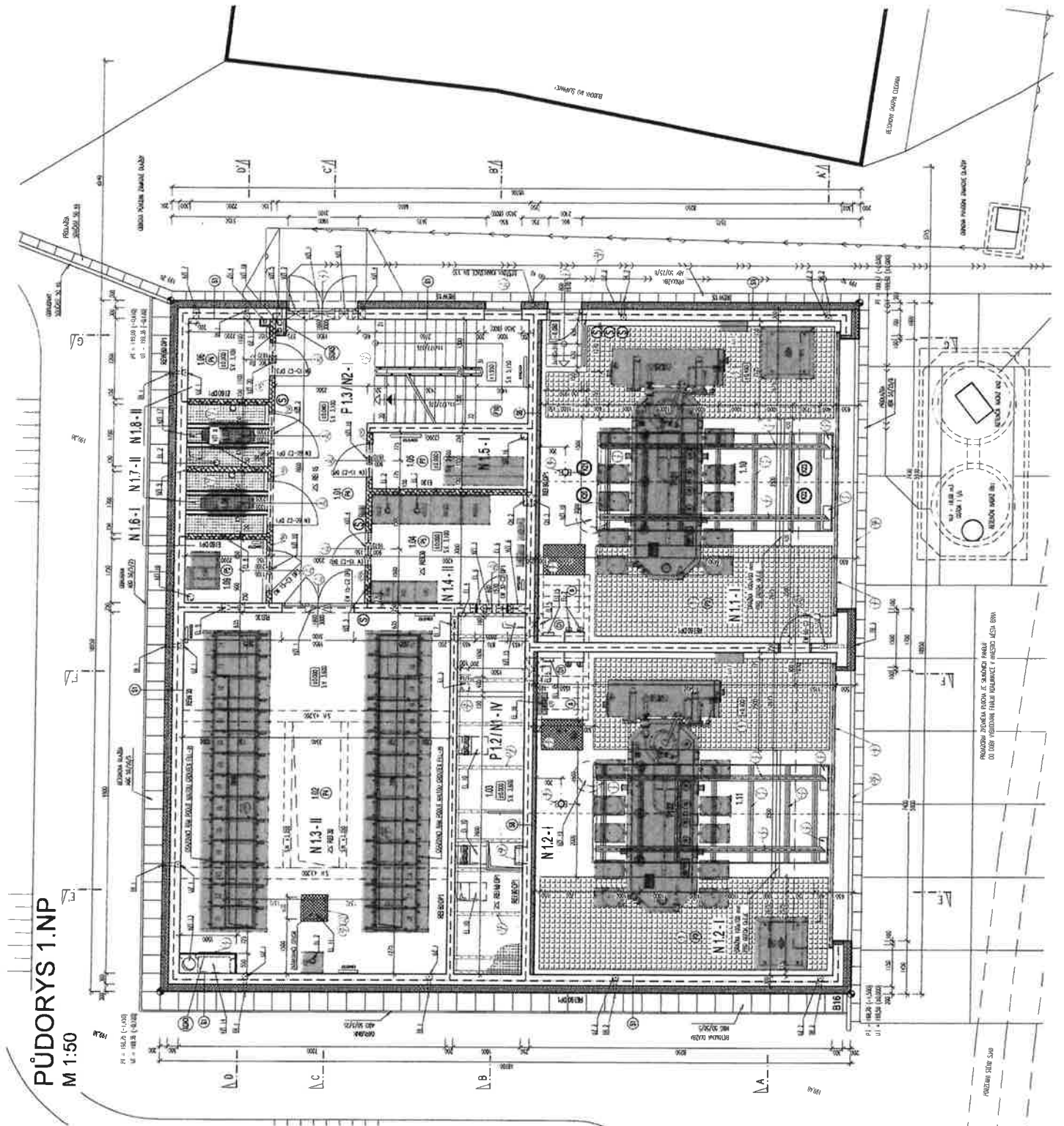
- 15m/40kV
- PRÍHRADOVÝ STODŽAR 15m/40kV
- OMEZOVACÍ PŘEPĚTI VN, VČ. UZEMNĚNÍ UZEMNĚNÍ
- ÚO-svislý
- ÚSEKOVÝ ODPÍNAČ NA SLOUPU

— — — — — VZDUŠNÉ VEDENÍ VN — 22 kV

— — — — — PROJEKTOVANÁ TRASA VN KABELU

— — — — — KABELY VN

Příloha 7: Rozvodna vvn 110 kV – 1.NP



Příloha 8: Rozvodna vvn 110 kV – 2.NP

PŮDORYS 2.NP
M 1:50

