

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING**

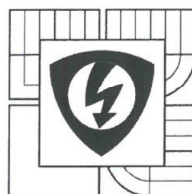
**NÁVRH VYVEDENIA VÝKONU MALEJ VODNEJ
ELEKTRÁRNE**

**BAKALÁRSKA PRÁCA
BACHELOR THESIS**

**AUTOR PRÁCE
AUTHOR**

JÁN MIŠKOVSKÝ

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií
Ústav elektroenergetiky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Ján Miškovský
Ročník: 3

ID: 154808
Akademický rok: 2014/15

NÁZEV TÉMATU:

Návrh připojení malé vodní elektrárny do elektrické sítě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Studium problematiky rozvodny VN.
2. Návrh přístrojového vybavení VN rozváděče.
3. Studium návrhu vyvedení výkonu z rozváděče.
4. Případný výpočet kabelové trasy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 9. 2. 2015

Termín odevzdání: 28.5.2015

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

Konzultanti bakalářské práce:




doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

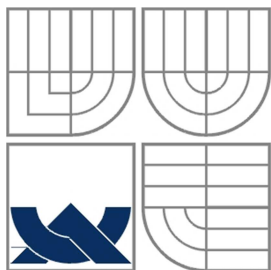
Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných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

Bibliografická citácia práce:

MIŠKOVSKÝ, J. Návrh vyvedenia výkonu malej vodnej elektrárne. Bakalárska práca. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brne, 2015, 72 strán.

Jako autor uvedené bakalárske práce ďalej prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské 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.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Bakalárska práca

Návrh vyvedenia výkonu malej vodnej elektrárne

Ján Miškovský

vedúci: Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brne, 2015

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering

Bachelor thesis

PLAN OF GRID CONNECTION FOR A SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANT

by

Ján Miškovský

Supervisor: Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

Brno University of Technology, 2015

Brno

ABSTRAKT

Predmetom tejto práce je návrh vyvedenia výkonu malej vodnej elektrárne Rašak. V úvode bakalárskej práce je popísaná principiálna schéma MVE, popis jednotlivých stavebných častí a bližšie špecifikované technologické vybavenie. Pri riešení tejto práce boli stanovené ciele ako návrh vhodného transformátora, výber vhodného VN rozvodného zariadenia a návrh vonkajšieho vzdušného vedenia. Výsledkom tejto práce je náčrt umiestnenia transformátora v budove elektrárne aj s prirodzeným chladením, výpočet skratových prúdov v mieste VN rozvodne, výber vhodných polí VN rozvodne pre MVE, prepoj transformátora a rozvodne, výpočet mechanického namáhania a geometrických rozmerov vonkajšieho vedenia o napätí 35 kV.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: malá vodná elektráreň, transformátor, skratové prúdy, VN rozvodňa, mechanika vonkajších vedení a vedenie 35 kV

ABSTRACT

The purpose of the thesis is a plan of grid connection for a small hydroelectric power plant in Rastak. The introduction briefly analyses the scheme, MVE, description of the particular constructive parts and specified technical equipment as well. The main goals of the study were choice of suitable transformer, the proper VN substation as well as a plan of overhead power lines. Particular attention was paid to: figuring the short circuit current and mechanical strain, the best choice of electric field VN substation for MVE, the transformer connection in the point VN substation and geometrical measurement of its power line with 35 kV voltage summing up, it can be concluded that above mentioned is crucial to cooling of the transformer in Raštak.

KEY WORDS: small hydroelectric power plant, transformer, short-circuit current, medium voltage substation, power line, overhead power lines, mechanical strain

OBSAH

ZOZNAM OBRÁZKOV.....	10
ZOZNAM TABULIEK.....	11
ZOZNAM PRÍLOH	12
ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV.....	13
1 ÚVOD.....	16
2 MALÁ VODNÁ ELEKTRÁREŇ RAŠTAK	17
2.1 GEOGRAFICKÉ UMIESTNENIE	17
2.1.1 LOKALITA A ENERGETICKÁ STRATÉGIA KRAJINY.....	17
2.1.2 RIEKA RAŠTAK	17
2.2 STAVEBNÁ ČASŤ MVE	18
2.2.1 VTOKOVÝ OBJEKT.....	19
2.2.2 TLAKOVÝ PRIVÁDZAČ	19
2.2.3 VÝROBNÁ A PREVÁDZKOVÁ BUDOVA	20
2.3 TECHNOLOGICKÉ VYBAVENIE MVE	20
2.3.1 ROVNOTLAKOVÁ TURBÍNA – PELTONOVÁ	20
2.3.2 SYNCHRÓNNY GENERÁTOR GSH450L4.....	21
3 ELEKTRICKÉ STANICE VYSOKÉHO NAPÄTIA	23
3.1 POŽIADAVKY:.....	23
4 TRANSFORMÁTOROVÁ STANICA.....	24
4.1 PARAMETRE TRANSFORMÁTORA MVE.....	24
4.1.1 PARAMETRE NAVRHOVANÉHO TRANSFORMÁTORA PRE MVE	26
4.1.2 UMIESTNENIE TRANSFORMÁTORA.....	27
4.2 CHLADENIE TRANSFORMÁTORA.....	27
4.2.1 NÁVRH CHLADENIA TRANSFORMÁTORA	28
5 ROZVODNÉ ZARIADENIA VN	30
5.1 PRÍPOJNICE ROZVODNÝCH ZARIADENÍ VN.....	32
5.2 HLAVNÉ ODBOČKY ROZVODNÝCH ZARIADENÍ VN.....	32
5.3 SKRIŇOVÉ ROZVÁDZAČE VN	33
5.4 VÝPOČET SKRATOVÝCH PRÚDOV V MIESTE ROZVÁDZAČA	33
5.4.1 URČENIE CELKOVEJ IMPEDANCIE JEDNOTLIVÝCH PRVKOV.....	34
5.4.2 VÝPOČET IMPEDANCIE PRVKOV	36
5.4.3 CELKOVÁ IMPEDANCIA.....	38
5.4.4 URČENIE SKRATOVÝCH PRÚDOV	38
5.5 VÝBER ROZVÁDZAČA VN:.....	39
5.5.1 VÝBER JEDNOTLIVÝCH POLÍ VN ROZVODNE.....	40
5.5.2 PREPOJ TRANSFORMÁTORA A ROZVODNE:	41
6 MECHANIKA VONKAJŠÍCH VEDENÍ.....	44

6.1 KLIMATICKÉ PODMIENKY A ICH VPLYV NA VÝPOČET VEDENIA	44
6.1.1 TEPLOTA	44
6.1.2 NÁMRAZA	45
6.1.3 VIETOR.....	46
6.1.4 KOMBINOVANÉ ZAŤAŽENIE VETROM A NÁMRAZOU	47
6.2 KRIVKA ZAVESENÉHO VODIČA	48
6.2.1 PRIEHYBOVÁ KRIVKA AKO REŤAZOVKA.....	48
6.2.2 MECHANICKÝ VÝPOČET SÚMERNE ZAVESENÉHO VODIČA (REŤAZOVKA)	49
6.2.3 VÝPOČET MAXIMÁLNEHO PRIEHYBU - F_M	49
6.2.4 VÝPOČET PRIEHYBU V LUBOVOLNOM BODE - F_X	49
6.2.5 VÝPOČET DĹŽKY - L_S	49
6.3 MECHANICKÝ VÝPOČET NESÚMERNE ZAVESENÉHO VODIČA.....	50
6.3.1 MAXIMÁLNY PRIEHB IDEÁLNEHO POĽA - F_{MI}	51
6.3.2 PRIEHB V LUBOVOLNOM BODE ŠIKMÉHO POĽA - F_X	51
6.3.3 CHARAKTERISTICKÝ PRIEHB - F_H	51
6.3.4 SÚRADNICE BODU - $C - X_C$	51
6.3.5 VIDITEĽNÝ PRIEHB - F_V	51
6.3.6 DĹŽKA NEÚMERNEJ REŤAZOVKY - L_{AB}	51
6.3.7 NAMÁHANIE VODIČA	51
6.3.8 CELKOVÉ NAMÁHANIE VODIČA	52
6.4 STAVOVÁ ROVNICA	52
7 VÝPOČET VEDENIA VN	53
7.1 PARAMETRE ALFE LANA.....	53
7.2 VÝPOČET KLIMATICKÝCH PODMIENOK.....	53
7.2.1 ZAŤAŽENIE NÁMRAZOU PRI TEPLOTE -5 °C.....	53
7.2.2 ZAŤAŽENIE VETROM PRI TEPLOTE -5 °C	54
7.2.3 KOMBINOVANÉ ZAŤAŽENIE VETROM A NÁMRAZOU PRI TEPLOTE -5 °C	55
7.3 VÝPOČET VODOROVNEJ ZLOŽKY NAMÁHANIA VODIČA PRE POLE Č.1	56
7.3.1 ZAŤAŽENIE NÁMRAZOU PRI TEPLOTE -5 °C.....	56
7.3.2 ZAŤAŽENIE PRI TEPLOTE +40 °C	56
7.3.3 KOMBINOVANÉ ZAŤAŽENIE VETROM A NÁMRAZOU PRI TEPLOTE -5 °C	56
7.3.4 ZAŤAŽENIE VETROM PRI +40 °C	57
7.3.5 MINIMÁLNA TEPLOTA -30 °C BEZ ĎALŠÍCH KLIMATICKÝCH ZAŤAŽENÍ.....	57
7.4 VÝPOČET CELKOVÉHO NAMÁHANIA VODIČA, MAXIMÁLNY PRIEHB A DĹŽKA VODIČA MEDZI ZÁVESNÝMI BODMI A,B	57
7.5 SPRACOVANIE VÝSLEDKOV POĽA Č.1	59
7.6 POUŽITÉ STOŽIARE	61
7.6.1 VYBAVENIE PRE ÚDRŽBU.....	62
7.6.2 BEZPEČNOSTNÉ POŽIADAVKY	62
7.6.3 OCHRANNÉ PÁSMO	62
8 ZÁVER.....	64
POUŽITÁ LITERATÚRA	65
PRÍLOHY	67

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 2-1 Prietoky počas roka	18
Obr. 2-2 Principiálna schéma MVE Raštak.....	18
Obr. 2-3 Vtokový objekt tirolského typu [5].....	19
Obr. 2-4 Výrobná a prevádzková budova [6]	20
Obr. 4-1 Preťažiteľnosť pre rôzne časy t: a) chladenie ONAN b) chladenie ONAF [11].....	25
Obr. 4-2 Zobrazenie kótovaných vzdialeností [12].....	26
Obr. 4-3 Rozmery krytu Gr.8.....	26
Obr. 4-4 Ukážka chladenia transformátora	27
Obr. 5-1 Jednoduchý systém prípojnic [13].....	32
Obr. 5-2 Príklad hlavných odbočiek VN rozvodne.....	32
Obr. 5-3 Elektraenský blok	33
Obr. 5-4 Náhradná schéma	38
Obr. 5-5 Polia rozvodne MVE Raštak.....	40
Obr. 5-6 Kábel 35-AVXEKVCVE [19]	41
Obr. 6-1 Reťazovka	49
Obr. 6-2 Nesúmerná reťazovka	50
Obr. 7-1 Pole č. 1	59
Obr. 7-2 stožiar C4- nosný	61
Obr. 7-3 stožiar C3-kotviaci.....	61
Obr. 7-4 Výstražná tabuľka [24]	62
Obr. 7-5 Ochranné pásmo.....	63

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 2-1 Trvanie prietoku počas roka [3]	17
Tab. 2-2 Základné parametre synchronného generátora GSH450L4 [9].....	22
Tab. 4-1 Rad menovitých výkonov transformátora [11]	24
Tab. 4-2 Parametre transformátora 1000 kVA	26
Tab. 5-1 Najmenšie vzdušné vzdialenosti živých častí [15]	30
Tab. 5-2 Normalizovaná rada skratových odolností [15]	31
Tab. 5-3 Katalógové hodnoty SM6.....	39
Tab. 5-4 Vlastnosti kábla 35-AVXEKVCVE.....	41
Tab. 6-1 Koeficienty pravdepodobnosti zaťažovacích stavov [13]	44
Tab. 6-2 Výpočet referenčného zaťaženia námrazou na jednotku dĺžky vodiča 10 m nad terénom[13]	45
Tab. 6-3 Základné referenčné rýchlosti a súčinitele nadmorskej výšky [13].....	46
Tab. 6-4 Kategórie terénu [13]	47
Tab. 7-1 Parametre lana [15]	53
Tab. 7-2 Výsledky výpočtu poľa č.1 pre jednotlivé stavy počasia	59
Tab. 7-3 Montážna tabuľka poľa č.1	60

ZOZNAM PRÍLOH

<i>Príloha A: Montážna tabuľka.....</i>	<i>67</i>
<i>Príloha B: -5 °C+námraza.....</i>	<i>68</i>
<i>Príloha C: +40 °C.....</i>	<i>69</i>
<i>Príloha D: -5 °C+vietor+námraza</i>	<i>70</i>
<i>Príloha E: -30 °C</i>	<i>71</i>
<i>Príloha F: +40 °C+vietor</i>	<i>72</i>

ZOZNAM SKRATIEK A SYMBOLOV

Značka:	Význam:	Značka jednotky:
	Metrov nad morom	m n. m.
Al	Hliník	
CO ₂	Oxid uhličitý	
Cu	Meď	
EPCG	Elektroprivreda Crne Gore A.D. Nikšič	
FU	Poistky	
FV	Bleskoistky	
ME	(Monte Negro) Čierna hora	
MVE	Malá vodná elektrárň	
NN	Nízke napätie	
Q	Odpájač	
QM	Vypínač	
QS	Odpínač	
TA	Prístrojové transformátory prúdu	
Tr	Transformátor	
TV	Prístrojové transformátory napätia	
VN	Vysoké napätie	
φ	Fázový posun	°
μ	Vplyv žalúzií alebo mriežky	1
β	Súčiniteľ náročnosti	1
ϑ	Teplota	°C
ρ	Hustota vzduchu	kg/m ³
ρ	Špecifický odpor pri 20 °C	Ωmm ² /m
μ_r	Relatívna permeabilita	
A	Prierez vetracích otvorov	m ²
c	Špecifické teplo	J/kgK
c	Napät'ový súčiniteľ daný normou	1
k	Vplyv skinefektu	1
k _l	Súčiniteľ rôznych typov skratov	1
r	Polomer vodiča	m
d	Vzdialenosť medzi fázami	m

f	Frekvencia siete	Hz
g	Gravitačné zrýchlenie	m/s^2
h	Vzdialenosť	m
I	Prúd	A
i_0	Magnetizačný prúd transformátora	%
L	Indukčnosť	H
l	Dĺžka vedenia	km
L_w	Hlučnosť transformátora	dB
N	Počet závitov	1
p	Menovitý prevod transformátora	1
P	Činný výkon	W
P_i	Inštalovaný výkon	W
Q	Prietok	m^3/s
R	Rezistencia	Ω
S	Zdanlivý výkon	VA
S_k''	Skratový výkon siete	VA
t	Čas v roku	%
t	Čas	s
U_1	Vstupné napätie transformátora	V
U_2	Výstupné napätie transformátora	V
u_k	Napätie na krátko	%
X	Reaktancia	Ω
x_d''	Subtranzitná reaktancia generátora	%
Z	Impedancia	Ω
I	Zaťaženie námrazou	N/m
h	Výška nad zemou	m
γ	Úroveň spoľahlivosti	1
I_R	Referenčné zaťaženie námrazou	N/m
d	Priemer vodiča	mm
I_k	Charakteristické zaťaženie námrazou	N/m
I_d	Návrhové zaťaženie námrazou	N/m
z	Pomerná hodnota zaťaženia vodiča	1
v_{mean}	Stredná 10 minútová rýchlosť vetra	m/s

v_R	Referenčná rýchlosť vetra	m/s
q_{Wc}	Jednotkové zaťaženie vodiča vetrom	N/m
Ψ_{Wc}	Kombinácia zaťaženia vetrom a námrazou	1
c	Parameter krivky	m
f_m	Maximálny priehyb vodiča	m
f_x	Priehyb v ľubovoľnom bode poľa	m
a	Rozpätie poľa	m
l_s	Dĺžka vodiča	m
h	Výškový rozdiel	m
f_{mi}	Priehyb ideálneho rozpätia poľa	m
f_h	Charakteristický priehyb	m
x_c	Súradnice bodu C	m
f_v	Viditeľný priehyb	m
l_{AB}	Dĺžka nesúmernej reťazovky	m
σ_H	Vodorovná zložka namáhania	Pa
σ_V	Vertikálna zložka namáhania	Pa
σ	Celkové namáhanie	Pa

1 ÚVOD

V dnešnej uponáhľanej modernej dobe, keď si ľudstvo život bez elektrickej energie nevie predstaviť, je stále sa zvyšujúca požiadavka po tejto komodite. Možností výrobných zariadení je viacero, medzi tie najrozšírenejšie typy elektrární patria tepelné, jadrové, fotovoltické, veterné a vodné. Z ekologického pohľadu a účinností premeny energií sa práca bude zaoberať vodnými elektrárnami. Ľudstvo sa už od pradávnych čias snaží skrotiť tie najdivokejšie toky riek a využiť ich vo svoj prospech. Základný princíp všetkých strojov, ktoré využívajú silu ukrytú vo vode spočíva v roztočení obežného kolesa. Tým sa vytvorí mechanická energia, ktorú je možné previesť pomocou vhodného generátora na elektrickú energiu.

Práca sa bude zaoberať malou vodnou elektrárnou „Raštak“, ktorá je v štádiu realizačných prác. Nachádza sa v Čiernej Hore (Monte Negro) oblasť Kolašin. Ako vyplýva z názvu, elektráreň využíva hydroenergetický potenciál rieky Raštak, ktorá pramení v pohorí Raško. Jedná sa o elektráreň využívajúcu spád 227 m. Elektráreň sa delí na niekoľko častí: vtokový objekt, tlakový privádzač a turbínová stanica. V turbínovej stanici sa nachádza peltonova turbína s generátorom a transformátor. Výkon MVE Raštak je 790 kW.

Cieľom bakalárskej práce je získať praktické skúsenosti a teoretické poznatky z oblasti návrhu silnoprúdovej časti MVE na strane vyššieho napätia.

V prvej časti práce je podrobnejšie popísaná lokalita MVE, presnejšie špecifikované vlastnosti rieky Raštak a taktiež jednotlivé stavebné a strojné časti elektrárne. Táto časť má informatívny charakter to znamená, v akom realizačnom stave sa elektráreň nachádza.

Ďalšie časti sa zaoberajú aktuálne riešenou problematikou na výstavbe MVE Raštak, v ktorej je obsiahnutá teoretická časť a praktické riešenie návrhu transformátorovej stanice, rozvodne VN a prepojenia transformátora s rozvodňou, výstavbou a návrhom vonkajšieho vedenia.

2 MALÁ VODNÁ ELEKTRÁREŇ RAŠTAK

2.1 Geografické umiestnenie

2.1.1 Lokalita a energetická stratégia krajiny

Čierna Hora je mladá krajina, ktorá v roku 2006 na základe referenda vyhlásila svoju nezávislosť. Jedná sa o hornatú krajinu s krasovými oblastami. Aj keď je jedna z najmenších krajín Európy s rozlohou 14 026 km², reliéf tejto krajiny je veľmi rozmanitý. Dôkazom toho je členitý terénny profil, veľa riek a západná časť krajiny má prístup k Jadranskému moru.

Vláda Čiernej Hory predstavila v roku 2007 novú energetickú stratégiu a vypísala tendre na výstavbu MVE približne na 40 lokalitách, čím si na základe tejto stratégie krajina do roku 2015 stanovila cieľ vyrábať pomocou MVE 15 – 20 MW a týmto ekologickým spôsobom znížiť energetickú závislosť od susedných krajín.

Dôvody vlády na výstavbu MVE v Čiernej Hore:

- využiť hydroenergetický potenciál krajiny,
- znížiť závislosť na importovaných energiách,
- podporovať ekologický charakter MVE a tým prispieť k redukcii CO₂ (1GWh z MVE: znamená zníženie emisií o 480 ton CO₂, ušetrí 220 ton plynu alebo 335 ton uhlia),
- pomáhať pri obhospodarovaní povodí riek a okolitej krajiny,
- vytvoriť priestor pre domáce firmy a zlepšiť ekonomiku krajiny,
- výhodný pomer medzi vyrobenou energiou a návratnosťou investície.

V Čiernej Hore sú výborné podmienky aj pre veterné elektrárne. Príkladom sú veterné farmy Mozura (najjužnejšia časť ME) a Krnovo (stred ME), kde je elektrický potenciál 97 MW [1].

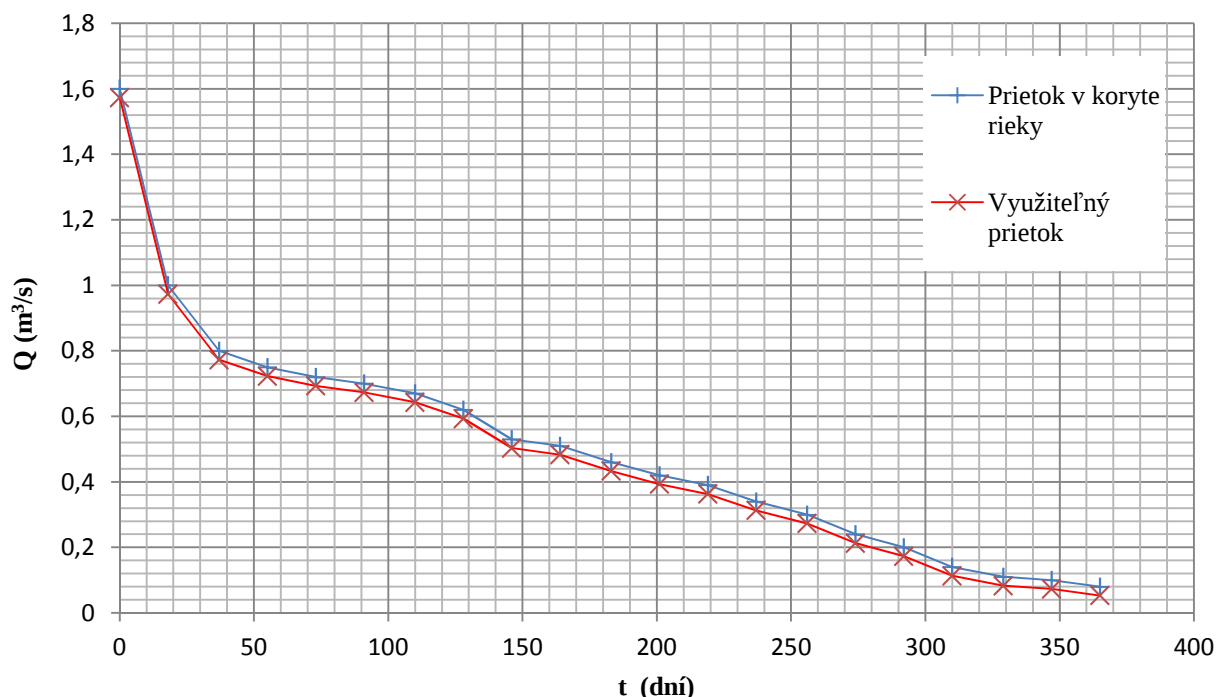
2.1.2 Rieka Raštak

Rozloha povodia rieky je 4,95 km², pričom má vejárovitý charakter, čo spôsobuje rýchly odtok vody do koryta rieky. Stredná šírka povodia je 1,59 km, minimálna výška povodia je 460 m n. m., maximálna výška 1993 m n. m. Rieka Raštak sa vlieva do Morače medzi Boana a Mioske. Celková dĺžka rieky je 1,97 km s priemerným klesaním 23,86 %, pričom sa dá využiť na výstavbu MVE spád cca 227 m. V nasledujúcej Tab. 2-1 sú hodnoty prietokov Q v priebehu roka. Ekologický prietok v koryte rieky je stanovený podľa dlhoročných záznamov hydrologického ústavu. Hodnota biologického prietoku na rieke Raštak je 0,027 m³/s [3].

Tab. 2-1 Trvanie prietoku počas roka [3]

Doba t (dni)	18	37	55	73	91	110	128	146	164	183
Prietok Q (m³/s)	1,00	0,80	0,75	0,72	0,70	0,67	0,62	0,53	0,51	0,46
Doba t (dni)	201	219	237	256	274	292	310	329	347	365
Prietok Q (m³/s)	0,42	0,39	0,34	0,30	0,24	0,20	0,14	0,11	0,10	0,08

Prietoky v priebehu roka

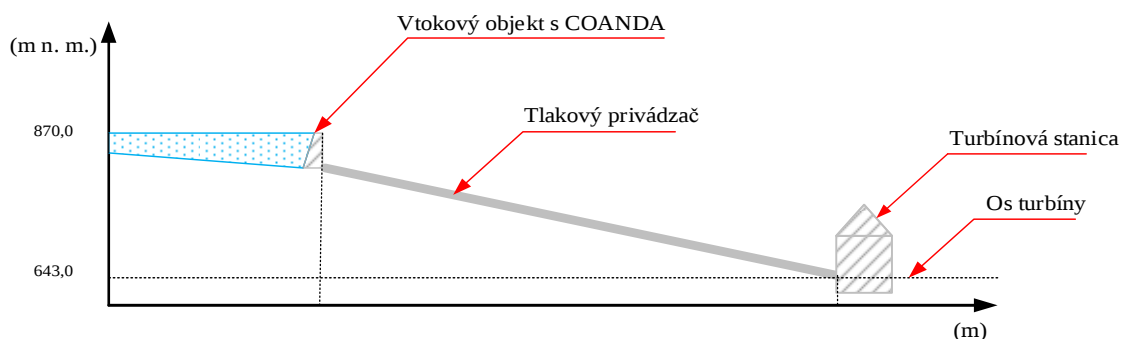


Obr. 2-1 Prietoky počas roka

Na Obr. 2-1 sú graficky znázornené (modrá spojnica) prietoky počas roka, od ktorých odčítaním $0,027 \text{ m}^3/\text{s}$ získame skutočný využitelný prietok pre MVE (červená spojnica).

2.2 Stavebná časť MVE

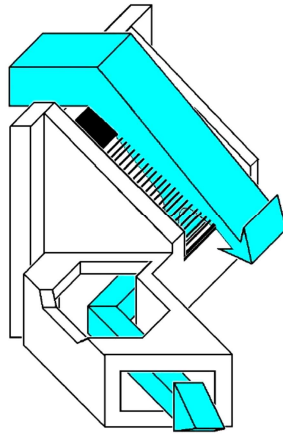
Na základe prírodných podmienok, ako je spád a prietok do tejto lokality, sa najviac hodí vysokotlaková MVE (pozri Obr. 2-2). Charakteristickým znakom je dlhý tlakový privádzač s vyrovnávacou komorou alebo nádržou pre ochranu pred rázovými javmi a vhodným uzáverom pred turbínou. Voda sa odoberá vtokovým objektom z hornej nádrže alebo priamo z koryta rieky. Pre riešenia týchto typov MVE sa najviac používajú turbíny typu Pelton, Bánki alebo Francis [4].



Obr. 2-2 Principiálna schéma MVE Raštak

2.2.1 Vtokový objekt

Vtokovými objektmi nachádzajúcich sa na horných úsekoch riek, môžeme získať veľký spád pri výskyte malých prietokov. Dôležité je vytvoriť hlavne vtok z hľadiska ochrany pred naplaveninami a to aj na úkor vtokových strát. Do týchto podmienok sa navrhuje dnový odber vody nazývaný ako vtok Tirolský typu s COANDA. Tento vtokový objekt je vystavaný na rieke vo výške 870 m n. m.. Vtok s COANDA je kombinácia profilovaných betónových pražcov s oceľovou mrežou, ktorá je navrhnutá tak, aby neprepustila nečistoty obsiahnuté vo vode väčšie ako 1 mm. Obrovské výhody tohto riešenia sú odolnosť voči mrazom a absencia pohyblivých častí. Hltnosť vody sa pohybuje od 100 – 3000 l/s. Princíp činnosti tohto vtokového objektu popisuje Obr. 2-3 [4],[5].



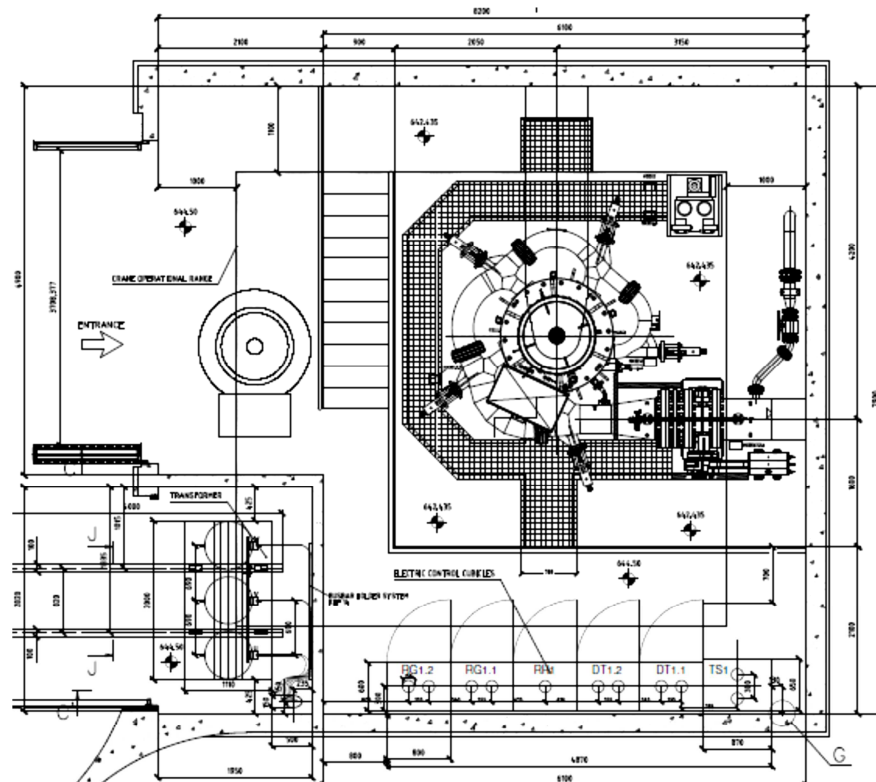
Obr. 2-3 Vtokový objekt tirolského typu [5]

2.2.2 Tlakový privádzač

Pri vysokotlakových MVE, kde je vtokový objekt a turbínová stanica od seba vzdialená stovky metrov, je dôležité správne navrhnuť tlakový privádzač. Účelom privádzača je spoľahlivo pomocou potrubia priviesť vodu z vtokového objektu do turbíny. Na Raštaku je navrhnuté CRD potrubie (sklolaminátové potrubie vyrobené technológiou odstredivého liatia), ktorého dĺžka je 682,59 m o priemere 500 mm. Umiestnením vtoku 870 m n. m. a turbíny 643 m n. m. potrubie vytvára spád 227 m. Voda, ktorá sa v ňom nachádza v rôznych častiach pôsobí inou tlakovou silou. Je rozdelené na tri časti podľa menovitého tlaku potrubia. Prvých 250 m potrubia je navrhnuté na tlak 10 bar, stredný úsek o dĺžke 300 m pre tlak 16 bar, posledná časť potrubia o dĺžke 132,59 m je na tlak 25 bar [5].

Pozn.: 1 bar = 100000 Pa

2.2.3 Výrobná a prevádzková budova



Obr. 2-4 Výrobná a prevádzková budova [6]

Výrobná a prevádzková budova je vybavená turbínou, generátorom, žeriavom, riadiacou a komunikačnou jednotkou, transformátorom, rozvodňou VN a NN, výtokovým objektom a technologickým zariadením, ktoré má zabezpečiť spoľahlivú prevádzku MVE. Na Obr. 2-4 vidíme, že budova je rozdelená na strojovňu, transformátorovú stanicu, rozvodnú stanicu a výtokový objekt, ktorý je umiestnený pod turbínou. Budova je naprojektovaná najefektívnejším spôsobom z pohľadu ekonomiky stavby a funkčnosti budovy, ako sú priestory pre montáž technologického vybavenia, bezpečnosť a odolnosť voči geologickým aktivitám pôdy.

2.3 Technologické vybavenie MVE

Táto časť sa zaoberá popisom princípu činnosti a technických parametrov navrhovaného technologického vybavenia MVE.

2.3.1 Rovnotlaková turbína – Peltonová

V 70. rokoch 18. storočia Američan Lester Allen Pelton (1829-1908) vyvinul Peltonovú turbínu. Hlavnou myšlienkou pri vývoji novej turbíny boli banské zariadenia počas Kalifornskej zlatej horúčky [7].

Základným princípom funkcie rovnotlakových turbín je prenos kinetickej energie vody na lopatky turbíny pomocou vodného lúča, ktorý pri kontakte s lopatkou obežného kola turbíny predá skoro všetku energiu priamo na hriadeľ. Zvyšok energie je využitý na odtok vody z lopatky. Maximálna účinnosť akú dosahuje tento typ turbíny sa pohybuje medzi 92 – 93 % [4].

Z konštrukčného hľadiska Peltonovej turbíny musíme dodržať dve základné pravidlá:

- **KOMPAKTNOSŤ LÚČA POČAS LETU VZDUCHOM:** Pri pohybe vodného lúča vzduchom dochádza k strhávaniu vzduchu a vplyvom pôsobenia odporu vzduchu sa vonkajšie vrstvy lúča odtrhávajú. Po určitej vzdialenosti dôjde k úplnému rozpadnutiu vodného lúča, s veľkou spotrebou energie. Tieto dôvody pri návrhu turbín kladú dôraz na vzdialenosť medzi lopatkami obežného kola a dýzou.
- **PREDANIE ENERGIE LÚČA LOPATKE OBEŽNÉHO KOLESA:** Spočíva v návrhu tvaru lopatky pre najlepšie predanie kinetickej energie. Lopatky majú vydutý tvar a sú upravené takým spôsobom, aby umožňovali odchýlenie lúča o 180° [4].

Peltonová turbína o výkone 790 kW je navrhnutá a realizovaná firmou ČKD Blansko SMALL HYDRO, s.r.o (viď Obr. 2-4). Turbína má vertikálne orientované obežné koleso s priemerom 400 mm. Roztočenie kola na menovité otáčky 1500 ot/min zabezpečuje 5 dýz. Vychádzajúci prúd vody je regulovaný zasúvaním ihliel ovládaných hydraulickými piestmi. Pre úplné zastavenie kola je umiestnený na konci tlakového privádzača ventil, ktorý uzatvára prívod vody. Keďže sa jedná o zastavovanie veľkých tlakov, musí tento proces prebiehať zopár minút a preto je v priestore turbíny na každej dýze namontovaný deflektor, ktorý zabezpečí odklonenie lúča vody od obežného kola. Dôsledkom čoho koleso stratí kinetickú energiu a vytvorí sa čas pre bezpečné odstavenie. Pre zabezpečenie správnej funkcie je turbína vybavená mazacím agregátom vykonávajúcim mazanie ložísk taktiež hydraulickým agregátom, ktorý zabezpečuje pohyb jednotlivých častí turbíny ako sú regulačné ihly, deflektory a tlakový ventil. Pre rýchlu analýzu stavu turbíny sa na ložiskách nachádzajú snímače vibrácií, schopné informovať o prípadnej poruche otáčavých častí.

2.3.2 Synchronný Generátor GSH450L4

Synchronne stroje sú najčastejšie používané na výrobu elektrickej energie. Majú svoj názov odvodený z toho, že sa ich rotor otáča takou istou rýchlosťou ako točivé magnetické pole statora. Trojfázové vinutie je súčasťou statoru. Rotor obsahuje budiace vinutie napájané jednosmerným prúdom. Z konštrukčného hľadiska sa alternátor delí na:

- stroj s vyjadrenými pólmi,
- stroj s hladkým rotorom.

V prípade MVE Raštak je použitý stroj s hladkým rotorom (rovnomerná vzduchová medzera medzi rotorom a statorom), ktorý dodáva firma TES Vsetín, s.r.o (parametre generátora viď. Tab. 2-2). Typický znakom tohto typu stroja je menší priemer a väčšia osová dĺžka. Rotor má tvar plného ocelového valca s vyfrézovanými drážkami pre budiace vinutie. Obrovskou výhodou je, že zmenou budiaceho prúdu môžeme zlepšovať účinník siete.

Bezpečné pripojenie generátora na sieť musí spĺňať 4 podmienky:

1. rovnakú hodnotu efektívneho napätia,
2. rovnakú frekvenciu,
3. rovnaký sled fáz,
4. rovnaké okamžité hodnoty napätia [8].

Tab. 2-2 Základné parametre synchronného generátora GSH450L4 [9]

Veličina:	Jednotka:
Výkon na svorkách gen.:	850 kVA
Výkon na hriadeli turbíny:	790 kW
Menovité otáčky:	1500 ot/min
Otáčky max.(prechodné):	2380 ot/min max. po 3 min
Teplota okolia:	Do 40 °C
Napätie:	690 V
Prúd:	711,2 A
Frekvencia:	50 Hz
Zapojenie:	hviezda
Účinník:	0,9
Účinnosť:	95,94 %

3 ELEKTRICKÉ STANICE VYSOKÉHO NAPÄTIA

3.1 Požiadavky:

Na základe platných legislatívnych predpisov a elektrotechnických noriem, musia všetky rozvodné zariadenia spĺňať nasledujúce požiadavky:

- BEZPEČNOSŤ OSÔB A VECÍ: prevedenie rozvodného zariadenia takým spôsobom, aby sa zabránilo možnosti úrazu el. prúdom.
- PREVÁDZKOVÁ SPOLAHLIVOSŤ: zaisťuje dodávku energie rôznym subjektom na základe stupňa dôležitosti spotreby:
 1. stupeň dôležitosti
 2. stupeň dôležitosti
 3. stupeň dôležitosti
- PREHLAD ROZVODU: má svoj význam tam, kde je sústredené veľké množstvo elektrických zariadení.
- PRISPÔBOVANIE ROZVODNÉHO ZARIADENIA: jedná sa o rozvodne, kde niektoré stroje alebo spotrebiče v priebehu pracovnej činnosti menia svoje stanovisko.
- RÝCHLE ODSTRÁNENIE PORÚCH: zabezpečujú elektrické ochrany, ktoré majú schopnosť zistiť miesto a druh poruchy, v čo najkratšom čase odpojiť porušený úsek a predísť ohrozeniu života alebo poškodeniu majetku.
- HOSPODÁRNOSŤ PREVÁDZKY: rozvod by mal byť navrhnutý takým spôsobom, aby fungoval s čo najlepšou účinnosťou a najmenšími stratami.
- HOSPODÁRNE VYUŽITIE OPAKOVANÝCH CELKOV: realizovať návrh celej rozvodne, aby nedochádzalo k zbytočným výkonovým rezervám.
- HOSPODÁRNOSŤ V SPOTREBE FAREBNÝCH KOVOV: je potrebné navrhovať prierezy vodičov tak, aby odpovedali stupňu zaťaženia.
- ESTETICKÉ POŽIADAVKY [10].

4 TRANSFORMÁTOROVÁ STANICA

Hlavnou úlohou transformátorových staníc je transformovať elektrickú energiu jednej napäťovej úrovne na druhú bez zmeny frekvencie. Hlavným zariadením stanice je transformátor.

Transformátory rozlišujeme podľa úpravy výstupného napätia:

- ak je $U_1 > U_2$ hovoríme o transformátore znižovacom,
- ak je $U_1 < U_2$ hovoríme o transformátore zvyšovacom,
- ak je $U_1 = U_2$ ide o transformátor oddeľovací.

Na určenie výkonu hlavných transformátorov v staniciach, treba zakladať na týchto podmienkach:

- výpočtové zaťaženie transformátorov,
- požadovaný stupeň dôležitosti dodávky el. energie do siete,
- prijateľné odchýlky za transformátorom,
- prijateľné skratové prúdy za transformátorom,
- nízke investičné náklady [11].

4.1 Parametre transformátora MVE

- 1) MENOVITÉ VSTUPNÉ A VÝSTUPNÉ NAPÄTIE- určujeme podľa napäťových hladín, medzi ktorými má daný transformátor vykonávať svoju funkciu. V skutočnosti napätie U_2 je o 5 % vyššie ako menovité.

Menovitý prevod transformátora p :

$$p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (4-1)$$

- Kde:
- N_1 počet závitov na primárnej strane (1),
 - N_2 počet závitov na sekundárnej strane (1),
 - I_1 prúd na primárnej strane (A),
 - I_2 prúd na sekundárnej strane (A).

Menovitý prevod sa počíta z menovitých hodnôt transformátora.

- 2) MENOVITÝ VÝKON TRANSFORMÁTORA- sa určuje z normalizovanej rady menovitých výkonov vid'. Tab. 4-1 hodnoty, ktoré sú uvedené v zátvorke sa používajú výnimočne.

Tab. 4-1 Rad menovitých výkonov transformátora [11]

Menovitý výkon S_N (kVA)									
12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100
(125)	160	(200)	250	(315)	400	(500)	630	(800)	1000

Výkony uvedené v Tab. 4-1 tvoria základný rad do 1000 kVA pre rozšírenie výkonu. Tieto hodnoty sú násobené desiatkami, stovkami a tisíckami VA.

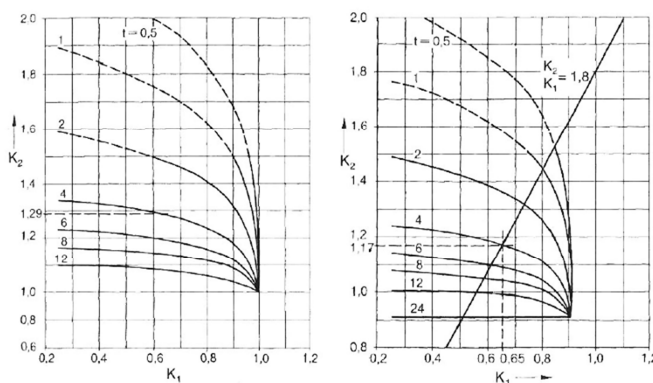
Výkon blokových transformátorov je daný výkonom generátora a vlastnou spotrebou, ktorá sa pri MVE pohybuje približne do 1 %. Na základe týchto parametrov sa vyberie podľa typizovanej rady výkonov vhodný transformátor.

- 3) MENOVIÁ FREKVENCIA- v našich podmienkach je 50 Hz. Pri inej frekvencii ako je menovitá dochádza k zmene parametrov transformátora.
- 4) ZAPOJENIE TRANSFORMÁTORA- pri blokových transformátoroch (sériové zapojenie generátora a transformátora) sa používa Yd.
- 5) NAPÄTIE NA KRÁTKO- je napätie u_k na vstupnej strane Tr, pri ktorom bude tiecť menovitý prúd výstupnou stranou Tr spojenou nakrátko.
- 6) ÚČINNOSŤ- η sa vypočíta podľa vzťahu:

$$\eta = 100 - \frac{P_0 + a^2 P_k}{S_N \cos \varphi + P_0} \cdot 100 \quad (\%) \quad (4-2)$$

Kde: P_0 straty naprázdno (W),
 P_k straty nakrátko (W),
 a pomer skutočného zaťaženia a menovitého výkonu Tr (1),
 $\cos \varphi$ účinník (1).

- 7) STRATY TRANSFORMÁTORA- straty v železe P_0 , straty vo vinutí P_k .
- 8) SKRATOVÁ ODOLNOSŤ- transformátor musí odolávať účinkom skratových prúdov po určitý čas bez poškodenia.
- 9) PRÚD NAPRÁZDNO- i_0 je magnetizačný prúd, ktorý tečie Tr pri rozpojenom vinutí sekundárnej časti.
- 10) PREŤAŽITEĽNOSŤ- je čas za ktorý môže byť Tr preťažovaný pre danú záťaž a teplotu chladiaceho média.



Obr. 4-1 Preťažiteľnosť pre rôzne časy t: a) chladenie ONAN b) chladenie ONAF [11]

Koeficienty K_1 a K_2 :

$$K_1 = \frac{S_1}{S_N} ; K_2 = \frac{S_2}{S_N} \quad (1) \quad (4-3)$$

Kde: S_1 počiatočné zaťaženie (VA),
 S_2 maximálne dovolené zaťaženie (VA),
 K_1, K_2 koeficienty (1).

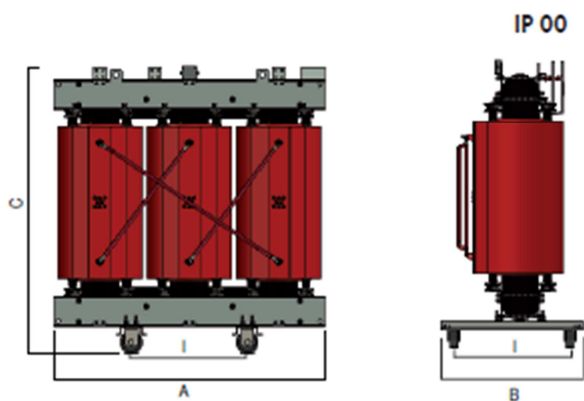
4.1.1 Parametre navrhovaného transformátora pre MVE

Pri MVE ako je Raštak, sa zvyčajne navrhuje 1 transformátor. V tom prípade hovoríme o prevádzke 2. stupňa dôležitosti. Pri výpadku dodávky elektrickej energie, vlastnú spotrebu pokrývajú záložné zdroje, ktoré uvedú elektrárňu do nečinnosti bez poškodenia.

Na základe parametrov synchronného generátora uvedeného v Tab. 2-2 a najbližšej vedenej linky VN s hodnotou napätia 35 kV. Navrhujem podľa katalógu firmy TMC ITALIA, S.p.A suchý transformátor o výkone 1000 kVA, 0,69/35 kV s hodnotami uvedenými v katalógu liste vid'. Tab. 4-2.

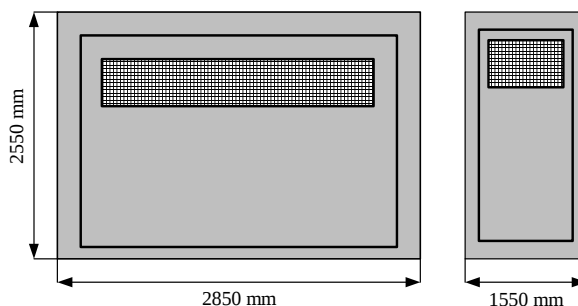
Tab. 4-2 Parametre transformátora 1000 kVA

Výkon	Trieda izolácie	Straty				Hlučnosť	Rozmery					Kryt
S_N	V	P_0	P_k	i_0	u_k	L_w	A	B	C	l	m	-
(kVA)	(kV)	(W)	(W)	(%)	(%)	(dB)	mm	mm	mm	mm	kg	typ
1000	36	2250	11000	0,9	6	57	2030	1000	2350	820	4550	8



Obr. 4-2 Zobrazenie kótovaných vzdialeností [12]

Parametre krytu pre suchý transformátor udávajú výrobcom TNC vid'. Obr. 4-3, výrobcom je odporúčaný typ Gr.8:



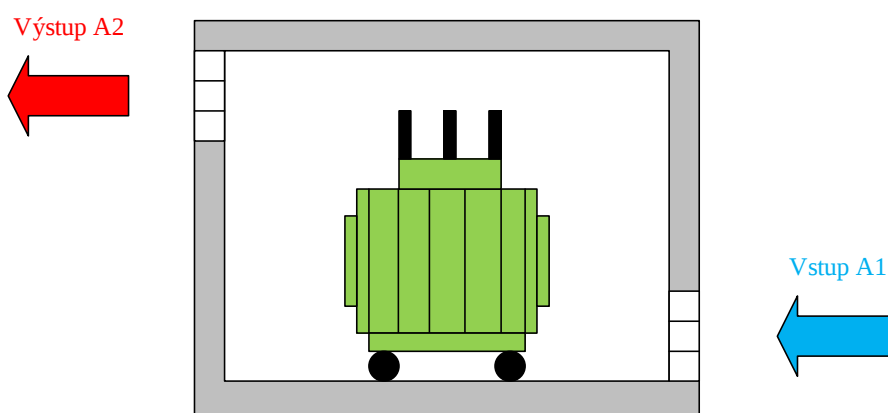
Obr. 4-3 Rozmery krytu Gr.8

4.1.2 Umiestnenie transformátora

Na umiestnenie transformátora sú kladené prísne požiadavky s ohľadom na bezpečnosť osôb, majetku a ochrany životného prostredia. Tieto opatrenia majú hlavne preventívny charakter pred možnou poruchou. Transformátor bude umiestnený na koľajniciach vo vyhradenej miestnosti prevádzkovej a turbínovej stanice.

4.2 Chladenie transformátora

Chladenie transformátora sa realizuje prirodzenou alebo nútenou cirkuláciou vzduchu. Vstupný otvor chladnejšieho vzduchu sa nachádza v spodnej časti transformátorovej stanice a ohriaty vzduch nachádza priestor úniku z objektu otvorom v najvyššej časti vid'. Obr. 4-4. Pokiaľ to podmienky umožňujú, najvhodnejšie je umiestnenie týchto dvoch otvorov proti sebe [13].



Obr. 4-4 Ukážka chladenia transformátora

V praxi sa pre chladenie trafostanice používajú otvory, v ktorých sú vložené žalúzie alebo oceľové mriežky. Výpočet vstupných otvorov vid' (4-6) a výstupných otvorov vid' (4-7).

Skutočné zaťaženie transformátora počítame podľa (4-4):

$$\beta = \frac{S_G}{S_N} \quad (1) \quad (4-4)$$

Kde:

- S_G menovitý výkon generátora (VA),
- S_N menovitý výkon transformátora (VA),
- β skutočné zaťaženie transformátora (1).

Z parametrov transformátora uvedených v Tab. 4-2 vypočítame podľa vzorca (4-5) celkové straty Tr :

$$P_z = P_0 + P_k \beta^2 \quad (W) \quad (4-5)$$

Kde:

- P_z celkové straty transformátora (W),
- P_0 straty naprázdno (W),
- P_k straty nakrátko (W).

Pre výpočet minimálnych vetracích otvorov sa používajú vzorce (4-6), (4-7) so súčiniteľom μ zahŕňajúcim vplyvom obmedzenia mriežkou alebo pletivom:

$$\mu A_1 \geq \frac{0,6P_Z}{c(\vartheta_2 - \vartheta_1) \sqrt{2(\rho_1 - \rho_s) \frac{h}{2} g \rho_1}} \quad (\text{m}^2) \quad (4-6)$$

$$\mu A_2 \geq \frac{0,6P_Z}{c(\vartheta_2 - \vartheta_1) \sqrt{2(\rho_1 - \rho_s) \frac{h}{2} g \rho_2}} \quad (\text{m}^2) \quad (4-7)$$

Kde:	A_1	prierez vstupného vetracieho otvoru (m^2),
	A_2	prierez výstupného vetracieho otvoru (m^2),
	μ	vplyv žalúzií alebo mriežky (1),
	ϑ_1	teplota vstupujúceho vzduchu ($^{\circ}\text{C}$),
	ϑ_2	teplota vystupujúceho vzduchu ($^{\circ}\text{C}$),
	ρ_1	hustota vstupujúceho vzduchu (kg/m^3),
	ρ_s	hustota vzduchu v trafostanici (kg/m^3),
	ρ_2	hustota vystupujúceho vzduchu (kg/m^3),
	h	vertikálna vzdialenosť otvorov (m),
	g	gravitačné zrýchlenie (m/s^2),
	P_Z	celkové straty transformátora (W) [13].

4.2.1 Návrh chladenia transformátora

Po dosadení do vzorca (4-4) vypočítame skutočné zaťaženie Tr :

$$S_G = 850 \text{ kVA (z Tab. 2-2)}$$

$$S_N = 1000 \text{ kVA (z Tab. 4-2)}$$

$$\beta = \frac{850}{1000} = 0,85 \quad (4-8)$$

Celkový stratový výkon Tr podľa vzťahu (4-5):

$$P_0 = 2250 \text{ W (z Tab. 4-2)}$$

$$P_k = 11000 \text{ W (z Tab. 4-2)}$$

$$\beta = 0,85 \text{ (z (4-8))}$$

$$P_Z = P_0 + P_k \beta^2 = 2250 + 11000 \cdot 0,85^2 = 10197,5 \text{ W} \quad (4-9)$$

Pre výpočet veľkosti vstupného otvoru použijeme vzťah (4-6) a budeme uvažovať:

Hodnoty pre výpočet:

$$\mu = 0,5 \text{ (žalúziové vetracie kryty)}$$

$$c = 1010 \text{ J/kgK}$$

$$P_z = 10197,5 \text{ W}$$

$$\vartheta_1 = 25 \text{ °C}$$

$$\vartheta_2 = 45 \text{ °C}$$

$$\rho_1 = 1,177 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_s = 1,137 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_2 = 1,102 \text{ kg/m}^3$$

$$h = 2 \text{ m (ale výška miestnosti je 3 m)}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\mu A_1 \geq \frac{0,6 \cdot 10197,5}{1010(45-25) \sqrt{2(1,177-1,137)^2_2 \cdot 9,81 \cdot 1,177}} = 0,3151 \text{ m}^2 \quad (4-10)$$

V (4-10) sme vypočítali veľkosť otvoru bez použitia mriežky, zahrnutie vplyvu mriežky je vo vzťahu (4-11):

$$A_1 \geq \frac{0,3151}{0,5} = 0,63 \text{ m}^2 \quad (4-11)$$

Pre výpočet veľkosti výstupného otvoru použijeme vzťah (4-7):

$$\mu A_2 \geq \frac{0,6 \cdot 10197,5}{1010(45-25) \sqrt{2(1,177-1,137)^2_2 \cdot 9,81 \cdot 1,102}} = 0,325 \text{ m}^2 \quad (4-12)$$

V (4-12) sme vypočítali veľkosť otvoru bez použitia mriežky, zahrnutie vplyvu mriežky je vo vzťahu (4-13):

$$A_2 \geq \frac{0,3257}{0,5} = 0,65 \text{ m}^2 \quad (4-13)$$

Na základe vypočítaných otvorov A_1 a A_2 z katalógu (viď. [14]) volím veľkosť vetracích žalúzií 2x(500 mm x 800 mm) pre vstupný otvor aj pre výstupný otvor vetrania.

5 ROZVODNÉ ZARIADENIA VN

Rozvádzač je rozvodné zariadenie, pri ktorom všetky prístroje a nosné konštrukcie tvoria kompletný celok zostavený a vyskúšaný vo výrobnom závode.

Hlavné parametre rozvodných zariadení:

- menovité napätie hlavných obvodov,
- menovité napätie pomocných obvodov,
- skratová odolnosť,
- menovité prúdy prípojnic a odbočiek,
- počet systémov prípojnic.

Rozdelenie rozvodných zariadení podľa ďalších kritérií:

- vyhotovenie,
 - krytie,
 - počet odbočiek,
 - vybavenie odbočiek prístrojmi v hlavných odbočkách,
 - spôsob riadenia,
 - hlavné rozmery.
- 1) Menovité napätie sa volí z radu hodnôt 6, 23, 35, 110, 220 a 400 kV tak, aby zodpovedalo menovitému napätiu siete, v ktorej má byť zariadenie zaradené. Podľa menovitého napätia siete treba dodržiavať aj minimálne vzdialenosti prípojnic. V Tab. 5-1 sú uvedené vzdialenosti pre vybrané napäťové hladiny.

Tab. 5-1 Najmenšie vzdušné vzdialenosti živých častí [15]

Menovité napätie siete	Najmenšie vzdušné vzdialenosti	
	Vnútorň priestor	Vonkajší priestor
kV	mm	mm
0,4	8	100
0,69	10	100
6	100	160
23	220	300
35	320	400
110	900	1000

2) Menovitá skratová odolnosť rozvodných zariadení sa vyjadruje:

- menovitým krátkodobým prúdom I_k ,
- menovitým dynamickým skratovým prúdom I_{dyn} .

Pre spínacie prístroje:

- menovitým vypínacím prúdom vypínačov (poistiek) I_{vyp} ,
- menovitým zapínacím prúdom vypínačov I_z .

Rozvodné zariadenia sa dimenzujú podľa skratových odolností uvedených v Tab. 5-2.

Tab. 5-2 Normalizovaná rada skratových odolností [15]

$I_{vyp} \text{ (kA)}$	6,3	8	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63
$I_k \text{ (kA)}$	6,3	8	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63
$I_{dyn} \text{ (kA)}$	16	20	31,5	40	50	63	80	100	125	160

Rozvodné zariadenie vyhoví po splnení týchto podmienok:

$$I_{dyn} \geq I_{km} \quad (5-1)$$

$$I_k \geq I_{ke} \quad (5-2)$$

Kde:

- I_{dyn} menovitý dynamický skratový prúd (kA),
- I_{km} nárazový skratový prúd v mieste rozvodného zariadenia (kA),
- I_k menovitý krátkodobý prúd (kA),
- I_{ke} ekvivalentný skratový otepľovací prúd (kA).

Vzťah (5-3) pre výpočet ekvivalentného skratového otepľovacieho prúdu:

$$I_{ke} = k_e \cdot I_k'' \text{ (kA)} \quad (5-3)$$

Kde:

- k_e súčiniteľ ekvivalentného otepľovacieho prúdu (z [15]) (1),
- I_k'' počiatočný rázový skratový prúd (kA),

Vzťah (5-4) pre výpočet nárazového skratového prúdu v mieste rozvodného zariadenia:

$$I_{km} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \text{ (kA)} \quad (5-4)$$

Kde: κ súčiniteľ určený z [15] (1).

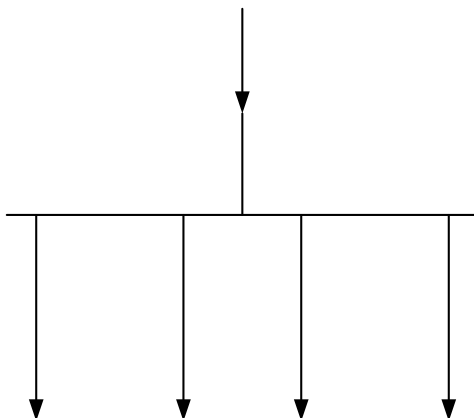
- 3) Menovité prúdy prípojnic a odbočiek sa volia z radu : 200, 400, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000, 6300, 8000, 10 000, 12 500, 16 000, 20 000 A.
- 4) Krytím rozvodných zariadení a ich častí sa zabraňuje vniknutiu cudzích predmetov, vode, ale hlavne zabráneniu dotyku živých častí. Keďže do týchto priestorov nemajú povolený vstup osoby bez kvalifikácie, používa sa krytie IP 20 alebo IP 23.
- 5) Počet odbočiek určuje rozsah rozvodného zariadenia. Okrem hlavných odbočiek treba uvažovať aj nad pomocnými. Hlavným faktorom ovplyvňujúcim veľkosť zariadenia je prístrojové vybavenie.
- 6) Prípojnice rozvodných zariadení sa volia z ohľadom na ich dovoľené trvalé prúdové zaťaženie, taktiež sa kontroluje odolnosť proti účinkom skratových prúdov. Musia odolávať dynamickým silám a zväčšenému tepelnému namáhaniu [11].

5.1 Prípojnice rozvodných zariadení VN

Tvorí základ rozvodného zariadenia, sú na nich pripojené privody a vývody elektrickej energie, vo VN rozvodoch sa realizujú z holých plochých tyčí z Al alebo Cu. Porucha znamená vyradenie rozvodného zariadenia z prevádzky. Z tohto dôvodu poznáme viacej systémov prípojnic:

- jednoduché prípojnice bez pozdĺžneho delenia,
- dvojité alebo pozdĺžne delené jednoduché prípojnice,
- trojité alebo dvojité pozdĺžne delené prípojnice.

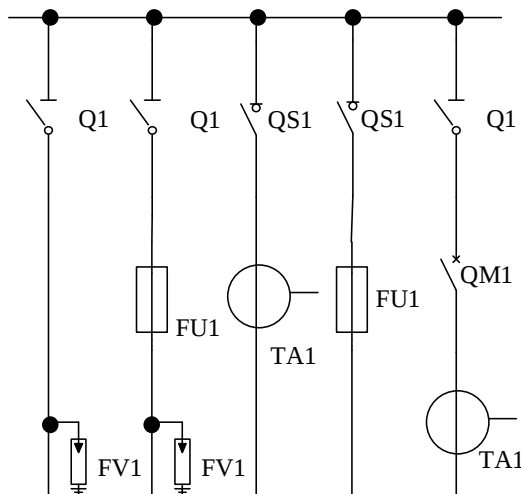
V našom prípade sa budeme zaoberať jednoduchým systémom prípojnic (Obr. 5-1), ktorý sa môže používať tam, kde nie je požiadavka na nepretržitú prevádzku pri revíziách a opravách. Používajú sa tam, kde ich vyradenie nespôsobuje zníženie bezpečnosti osôb, ani poškodenie majetku [11].



Obr. 5-1 Jednoduchý systém prípojnic [13]

5.2 Hlavné odbočky rozvodných zariadení VN

Schéma zapojenia a spoľahlivosť rozvodne VN závisí od hlavných odbočiek a ich vybavení, ktoré slúžia na spínanie, odpínanie, odpájanie, chránenie a meranie hlavných obvodov. Príklad hlavných odbočiek VN rozvodne je uvedený na Obr. 5-2.



Obr. 5-2 Príklad hlavných odbočiek VN rozvodne

5.3 Skriňové rozvádzače VN

Boli vyvinuté z kobkových zariadení VN za účelom zmenšiť rozmery rozvodných zariadení a taktiež chrániť obsluhu pred úrazom elektrickým prúdom. Vďaka tomuto riešeniu je možné tieto rozvodné zariadenia umiestňovať v blízkosti miesta spotreby alebo výroby elektrickej energie. V dnešnej dobe sa v skriňových rozvádzačoch používajú izolované prípojnice. Rozvádzač je rozdelený na jednotlivé priestory:

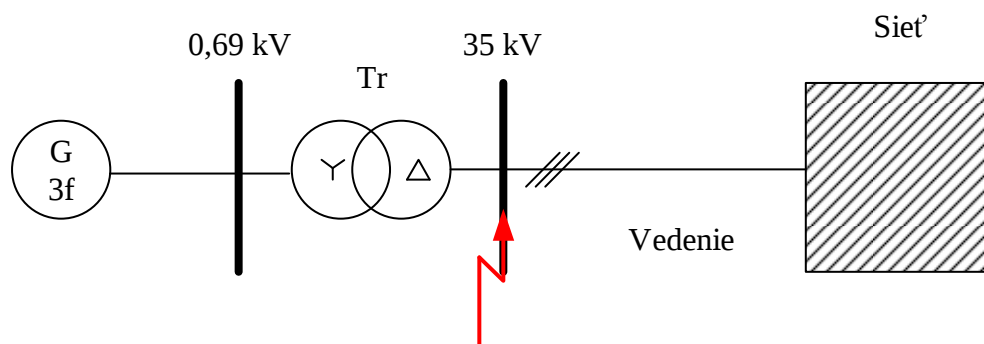
- priestor prípojnic,
- priestor spínača,
- priestor káblového vývodu,
- priestor sekundárnej výbroje.

Podľa konštrukcie delíme rozvádzače VN na:

- plne izolované vzduchom,
- plne izolované plynom,
- čiastočne izolované plynom[15] [11].

5.4 Výpočet skratových prúdov v mieste rozvádzača

Vďaka náročnosti získavania vstupných hodnôt pre výpočet skratových pomerov siete sa uvažuje z radov zjednodušujúcich opatrení. Vzťahy a parametre výpočtu skratových prúdov sú dané normou ČSN EN 60909-0. Pri návrhu rozvodného zariadenia uvažujeme jednoduchý skrat napájaný z jedného elektrárenského bloku v Obr. 5-3 [16].



Obr. 5-3 Elektrárenský blok

Počiatkový rázový skratový prúd pre výpočet použijeme vzťah (5-5):

$$I_k'' = k_1 \cdot \frac{c \cdot U_{VN}}{\sqrt{3} \cdot |Z_s|} \quad (\text{kA}) \quad (5-5)$$

Kde:

I_k''	počiatočný rázový skratový prúd (A),
k_1	súčiniteľ rôznych typov skratov (pre trojfázový skrat $k_1=1$) (1),
c	napäťový súčiniteľ daný normou (1),
U_{VN}	napätie v mieste skratu (V),
Z_s	celková vypočítaná impedancia (Ω).

5.4.1 Určenie celkovej impedancie jednotlivých prvkov

NETOČIVÁ SKRATOVÁ IMPEDANCIA TRANSFORMÁTORA:

$$Z_{Tr} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{VN}^2}{S_N} \quad (\Omega) \quad (5-6)$$

Kde:

- Z_{Tr} náhradná impedancia Tr (Ω),
- U_{VN} napätie v mieste skratu (V),
- S_N menovitý výkon transformátora (VA).
- u_k napätie nakrátko (%).

Náhradná rezistancia:

$$R_{Tr} = \frac{P_k \cdot U_{VN}^2}{S_N^2} \quad (\Omega) \quad (5-7)$$

Kde:

- R_{Tr} náhradná rezistancia Tr (Ω),
- P_k straty nakrátko (W).

Náhradná reaktancia:

$$X_{Tr} = \sqrt{Z_{Tr}^2 - R_{Tr}^2} \quad (\Omega) \quad (5-8)$$

Kde:

- X_{Tr} náhradná reaktancia Tr (Ω)

Náhradná impedancia transformátora:

$$\mathbf{Z}_{Tr} = R_{Tr} + jX_{Tr} \quad (\Omega) \quad (5-9)$$

PRECHODNÁ IMPEDANCIA GENERÁTORA:

Pri výpočte náhradnej impedancie pre zjednodušenie zanedbáme rezistanciu generátora a budeme vychádzať zo vzťahu:

$$\mathbf{Z}_g \cong jx_d'' \cdot \frac{U_{VN}^2}{S_g} \quad (\Omega) \quad (5-10)$$

Kde:

- x_d'' subtranziná reaktancia generátora (%),
- S_g menovitý výkon generátora (VA),
- $\mathbf{Z}_g$ impedancia generátora (Ω).

MODUL NÁHRADNE IMPEDANCIE SIETE:

$$\mathbf{Z}_s = \frac{c \cdot U_{VN}^2}{S_k''} \quad (\Omega) \quad (5-11)$$

Kde:

- c napäťový súčiniteľ (1),
- S_k'' skratový výkon (VA),
- $\mathbf{Z}_s$ impedancia siete (Ω).

V prípade, keď nie je známa žiadna presná hodnota impedancie siete, je možné podľa normy do výpočtu celkovej impedancie vložiť:

$$R_s = 0,1X_s, \quad X_s = 0,995Z_s \quad (5-12)$$

Kde: R_s rezistencia siete (Ω),
 X_s reaktancia siete (Ω).

SUSLEDNÁ SKRATOVÁ IMPEDANCIA PRÍVODNÉHO VEDENIA:

$$Z_v = l \cdot (R_v + j \cdot 2\pi f \cdot L_v) \quad (\Omega) \quad (5-13)$$

Kde: Z_v impedancia vedenia (Ω),
 l dĺžka vedenia (km),
 R_v rezistencia vedenia (Ω/km),
 f frekvencia siete (Hz),
 L_v indukčnosť vedenia (mH/km).

Výpočet indukčnosti vedenia:

$$L_v = 0,46 \cdot \log \frac{\sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{13}}}{k \cdot r} + 0,05 \cdot \mu_r \quad (\text{mH/km}) \quad (5-14)$$

Kde: L_v indukčnosť vedenia (mH/km),
 d_{12} vzdialenosť medzi fázami 1 a 2 (m),
 d_{23} vzdialenosť medzi fázami 2 a 3 (m),
 d_{13} vzdialenosť medzi fázami 1 a 3 (m),
 k vplyv skinefektu (1),
 r polomer vodiča (m),
 μ_r relatívna permeabilita (1).

5.4.2 Výpočet impedancie prvkov

NÁHRADNÁ IMPEDANCIA TRANSFORMÁTORA (5-6):

Hodnoty pre výpočet:

$$u_k = 6 \% \quad (\text{Tab. 4-2})$$

$$U_{VN} = 35\,000 \text{ V}$$

$$S_n = 1000 \text{ kVA} \quad (\text{Tab. 4-2})$$

$$Z_{Tr} = \frac{6}{100} \cdot \frac{35000^2}{1000 \cdot 10^3} = 73,5 \, \Omega \quad (5-15)$$

Náhradná rezistencia Tr (5-7):

Hodnoty pre výpočet:

$$P_k = 11000 \text{ W} \quad (\text{Tab. 4-2})$$

$$R_{Tr} = \frac{11000 \cdot 35000^2}{(1000 \cdot 10^3)^2} = 13,475 \, \Omega \quad (5-16)$$

Náhradná reaktancia Tr (5-8):

$$X_{Tr} = \sqrt{73,5^2 - 13,475^2} = 72,254 \, \Omega \quad (5-17)$$

Celková impedancia Tr (5-9):

$$Z_{Tr} = (13,475 + j72,254) \, \Omega \quad (5-18)$$

NÁHRADNÁ IMPEDANCIA GENERÁTORA (5-10):

Hodnoty pre výpočet:

$x_d'' = 0,098$ Túto hodnotu výrobca neuvádzal, tak na základe porovnávania parametrov generátorov od iných výrobcov som stanovil predpokladanú hodnotu subtranzitnej reaktancie.

$$U_{VN} = 35\,000 \text{ V}$$

$$S_n = 1000 \text{ kVA} \quad (\text{Tab. 4-2})$$

$$Z_g \cong j \cdot 0,098 \cdot \frac{35000^2}{1000 \cdot 10^3} = j120,05 \, \Omega \quad (5-19)$$

MODUL NÁHRADNE IMPEDANCIE SIETE (5-11):

Hodnoty pre výpočet:

$$c = 1,1 \quad \text{dané normou ČSN EN 60909-0}$$

$$U_{VN} = 35\,000 \text{ V}$$

$$S_k'' = 750 \text{ MVA} \quad \text{Určil prevádzkovateľ siete EPCG.}$$

$$Z_s = \frac{1,1 \cdot 35000^2}{750 \cdot 10^6} = 1,797 \, \Omega \quad (5-20)$$

Výpočet rezistancie a reaktancie podľa normy ČSN EN 60909-0 (5-12):

$$R_s = 0,1 \cdot 1,788 = 0,178 \, \Omega, \quad X_s = 0,995 \cdot 1,797 = 1,788 \, \Omega \quad (5-21)$$

Impedancia siete:

$$\mathbf{Z}_s = (0,178 + j1,788) \, \Omega \quad (5-22)$$

IMPEDANCIA PRÍVODNÉHO VEDENIA:

Indukčnosť vedenia (5-14):

Hodnoty pre výpočet:

$d_{12} = 0,4 \, \text{m}$ uvažujeme minimálnu vzdušnú vzdialenosť medzi fázami [15]

$d_{23} = 0,4 \, \text{m}$

$d_{13} = 0,8 \, \text{m}$

$k = 0,809$ stanovené podľa [16]

$\mu_r = 1$ stanovené podľa [16]

$r = 6,805 \, \text{mm}$ získané z tabuľky [17]

$$L_v = 0,46 \cdot \log \frac{\sqrt[3]{0,4 \cdot 0,8 \cdot 0,4}}{0,809 \cdot 6,805 \cdot 10^{-3}} + 0,05 \cdot 1 = 0,902 \, \text{mH/km} \quad (5-23)$$

Odpor 95/15 AlFe lana pri 20 °C $R_v = 0,3115 \, \Omega/\text{km}$.

Výpočet impedancie vedenia(5-13):

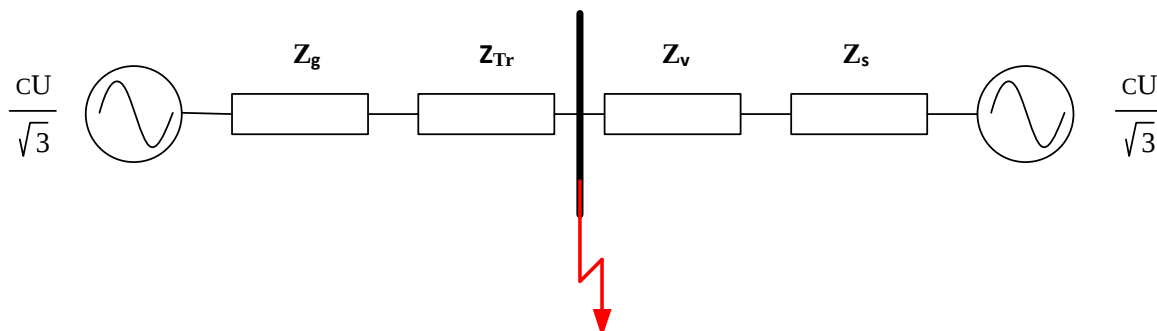
$l = 6,5 \, \text{km}$

$f = 50 \, \text{Hz}$

$$\mathbf{Z}_v = 6,5 \cdot (0,3115 + j \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0,902 \cdot 10^{-3}) = (2,025 + j1,842) \, \Omega \quad (5-24)$$

5.4.3 Celková impedancia

Na Obr. 5-4 je zobrazená náhradná schéma obvodu pre výpočet celkovej impedancie.



Obr. 5-4 Náhradná schéma

Pre výpočet celkovej impedancie použijeme vzťah (5-25):

$$Z_c = \frac{(Z_g + Z_{Tr}) * (Z_v + Z_s)}{Z_g + Z_{Tr} + Z_v + Z_s} (\Omega) \quad (5-25)$$

Dosadenie do vzorca (5-25) impedancií vypočítaných v kap. 5.4.2:

$$Z_c = \frac{(0,178 + j1,788 + 2,025 + j1,842) * (j120,05 + 13,475 + j72,254)}{0,178 + j1,788 + 2,025 + j1,842 + j120,05 + 13,475 + j72,254} = (2,125 + j3,581) \Omega = 4,16 \angle 59,31^\circ \Omega \quad (5-26)$$

5.4.4 Určenie skratových prúdov

Výpočet počiatočného rázového skratového prúdu podľa vzťahu (5-5):

$$I_k'' = 1 \cdot \frac{1,1 \cdot 35000}{\sqrt{3} \cdot |4,16|} = 5343 \text{ A} = 5,343 \text{ kA} \quad (5-27)$$

Ekvivalentný skratový prúd podľa vzťahu (5-3):

Hodnoty pre výpočet:

$k_e = 1,5$ uvažujeme skrat za alternátorom alebo blokovým TR pri dobe skratu 0,08 s [15]

$$I_{ke} = 1,5 \cdot 5,343 = 8,015 \text{ kA} \quad (5-28)$$

Nárazový skratový prúd (5-4):

$\kappa = 1,95$ skrat za alternátorom alebo blokovým Tr do 55 MW [15]

$$I_{km} = 1,95 \cdot \sqrt{2} \cdot 5,343 = 14,734 \text{ kA} \quad (5-29)$$

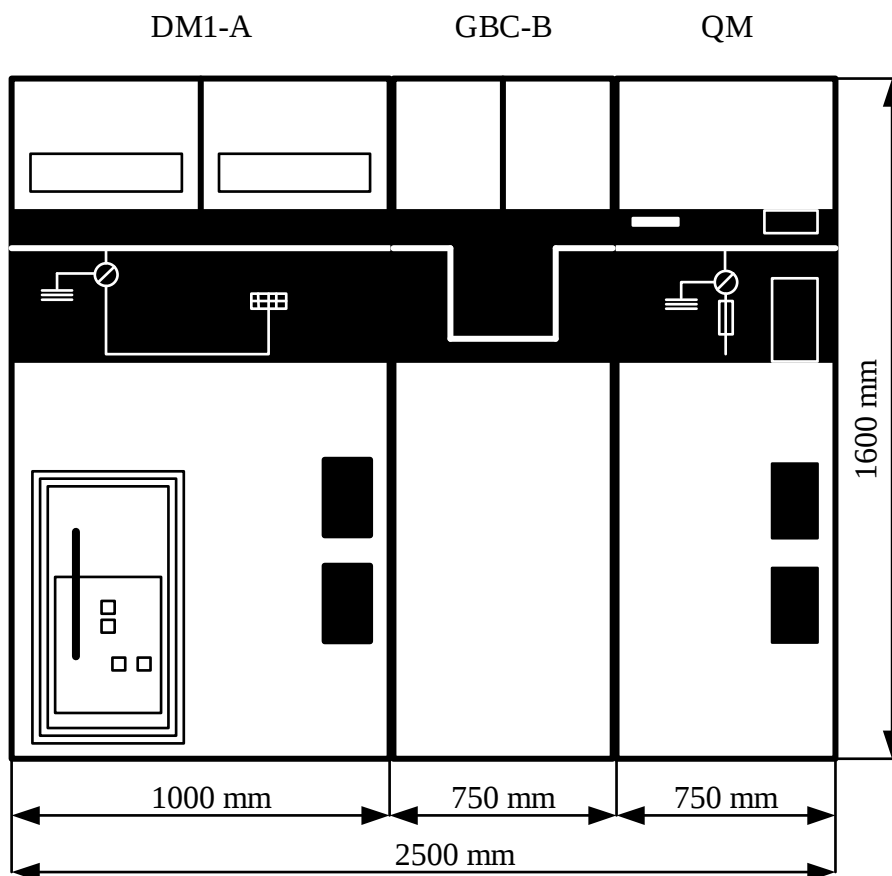
5.5 Výber rozvádzača VN:

Pre výber správneho typu rozvádzača VN musia byť splnené všetky požiadavky a parametre, ktoré sú uvedené v kapitole číslo 5. Podľa radu prúdov uvedených v Tab. 5-2 a vypočítaných prúdov $I_{ke} = 8,015 \text{ kA}$, $I_{km} = 14,734 \text{ kA}$ musia byť splnené podmienky (5-1) a (5-2). Do rozvodne MVE Raštak na základe parametrov je vhodný VN modulárny rozvádzač SM6 vyrobený firmou Schneider Electric. S katalógovými hodnotami uvedenými v Tab. 5-3 [18].

Tab. 5-3 Katalógové hodnoty SM6

Elektrické charakteristiky		
Menovité napätie		36 kV
Izolačná hladina		
Izolácia	50/60 Hz, 1 min (kV ef.)	70 kV
Oddelenie		80 kV
Izolácia	1,2/50 μs (kV max.)	170 kV
Oddelenie		195 kV
Vypínacia schopnosť		
Transformátor naprázdno		16 A
Kábel naprázdno		50 A
Menovitý prúd		630 A
Menovitý krátkodobý prúd		12,5 kA
Menovitý dynamický skratový prúd		31,5 kA

5.5.1 Výber jednotlivých polí VN rozvodne



Obr. 5-5 Polia rozvodne MVE Raštak

1. **DM1-A:** Jedná sa o pole vyvedenia výkonu a pripojenia na sieť EPCG, ktoré je vybavené vypínačom SF1 a odpojovačom. Tento typ vypínača má tri samostatné komory s tlakom 2000 hPa pre každú fázu. Póly sú navzájom prepojené pomocou spínacieho mechanizmu. Do základného vybavenia tiež výrobca inštaluje ovládací mechanizmus vypínača a odpojovača, indikátor prítomnosti napätia, tri prúdové transformátory, pomocné kontakty na vypínači, mechanické blokovanie vypínača a odpojovača s doplnením 150 W ohrievacieho telesa.
2. **GBC-B:** Je pole merania. Obsahuje meracie transformátory prúdu a napätia. Keďže sa jedná o fakturačné meranie musia byť meracie transformátory úradne ciachované. Pole obsahuje tri meracie transformátory prúdu ARM6T 25/5 A s výkonom 15 VA, triedou presnosti 0,5 a tri meracie transformátory napätia VRF3n s prevodom $(36000/\sqrt{3})/(100/\sqrt{3})$ s výkonom 50 VA a presnosťou 0,5. Tiež je toto pole vybavené 150 W ohrievacím telesom.
3. **QM:** Pole vývodu transformátora 1000 kVA je vyzbrojené odpínačom s uzemňovačom a ochranou transformátora tvorenou poistkami s menovitým prúdom 40 A. Základné vybavenie pola tvorí ovládací mechanizmus odpínača, systém indikácie prepálenia poistiek a ohrievacie teleso s výkonom 150 W.

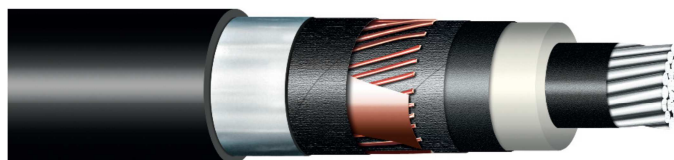
5.5.2 Prepoj transformátora a rozvodne:

Ako prepojenie medzi rozvodňou a transformátor je vhodné použiť celoplastové VN káble od firmy NKT cables typu 35-AVXEKVCVE. Pre voľbu prierezu budeme postupovať spôsobom dimenzovania vodičov podľa tepelných účinkov skratových prúdov. Minimálny prierez S_{min} vypočítame zo vzťahu (5-30):

$$S_{min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c(\vartheta_f + 20)}{\rho_{20}} \ln \frac{(\vartheta_f + \vartheta_k)}{(\vartheta_f + \vartheta_z)}}} \leq S \text{ (mm}^2\text{)} \quad (5-30)$$

- Kde:
- S_{min} minimálny prierez vodiča (mm²),
 - I_{ke} ekvivalentný skratový otepľovací prúd (A),
 - t_k doba skratu (s),
 - c špecifické teplo (J/cm³/°C),
 - ρ_{20} špecifický odpor pri teplote 20 °C (Ωmm²/m),
 - ϑ_f fiktívna teplota (°C),
 - ϑ_k najvyššia dovolená teplota pri skrate (°C),
 - ϑ_z najvyššia dovolená prevádzková teplota (°C).

Jednotlivé vrstvy kábla sú znázornené na Obr. 5-6:



Obr. 5-6 Kábel 35-AVXEKVCVE [19]

Tento typ kábla je vhodný pre uloženie voľne vo vzduchu alebo na konštrukciu, do zeme, do tvárnic, do trubiek z nemagnetického materiálu. Kábel je vhodný do suchého aj mokrého prostredia.

Tab. 5-4 Vlastnosti kábla 35-AVXEKVCVE

Vlastnosti kábla	
Menovité napätie	35 kV
Maximálne napätie	40,5 kV
Skúšobné napätie	75 kV
Najvyššia dovolená prevádzková teplota	90 °C
Najvyššia dovolená teplota pri skrate	250 °C
Rozsah teplôt pri prevádzke	-35 až 90 °C
Balenie	drevené alebo kovové bubny

Výpočet minimálneho prierezu prepojenia rozvodne VN a transformátora podľa vzťahu (5-30):

Hodnoty pre výpočet:

$$I_{ke} = 8015 \text{ A} \quad (5-28)$$

$$t_k = 0,08 \text{ s} \quad \text{Hodnota použitá pri výpočte } I_{ke}$$

$$c = 2,417 \text{ J/cm}^3/\text{m} \quad \text{určené podľa [15]}$$

$$\rho_{20} = 0,02941 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m} \quad \text{určené podľa [15]}$$

$$\vartheta_f = 228 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{určené podľa [15]}$$

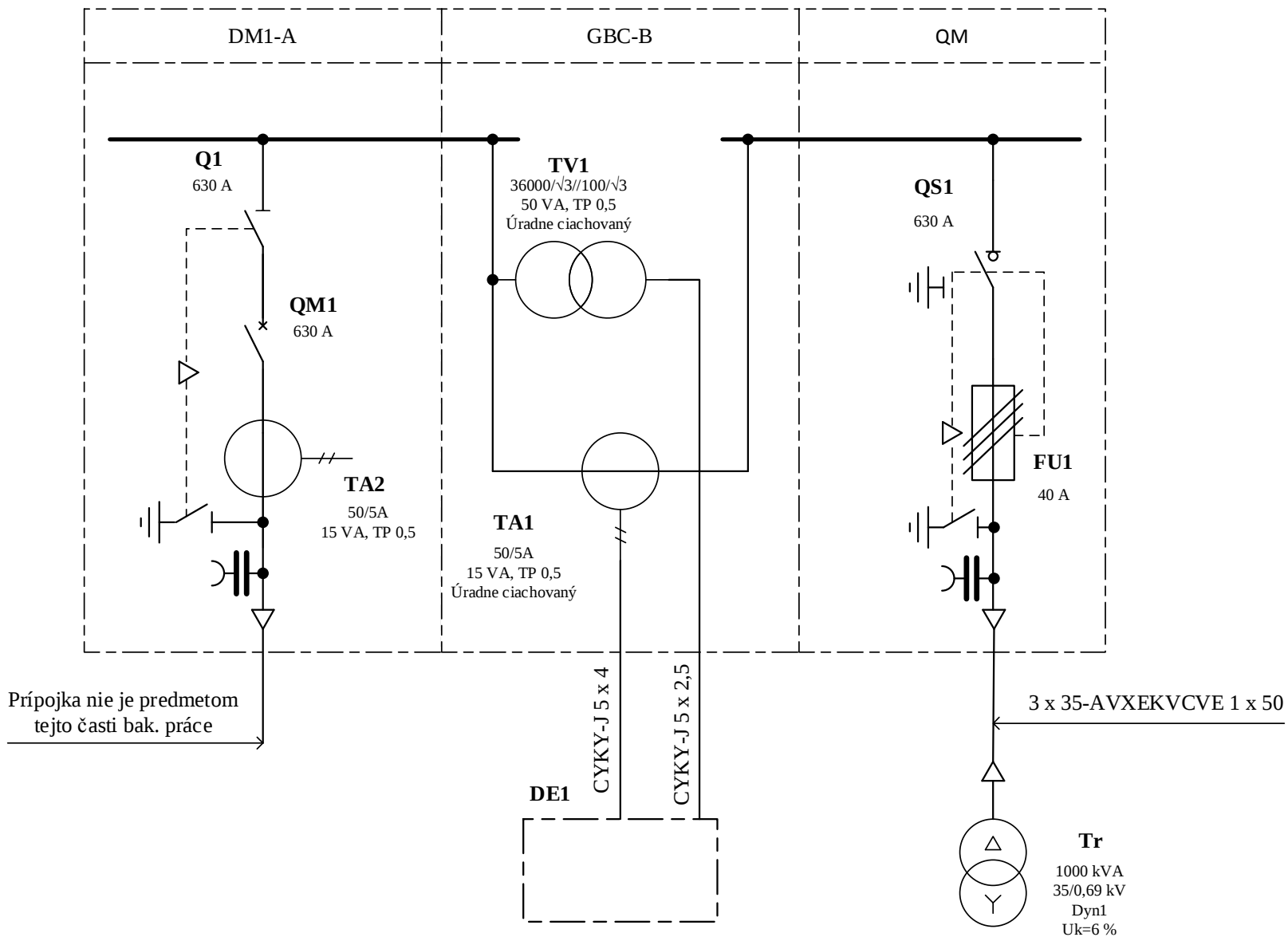
$$\vartheta_k = 250 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{určené z (Tab. 5-4)}$$

$$\vartheta_z = 90 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{určené z (Tab. 5-4)}$$

$$S_{min} = \frac{8015 \cdot \sqrt{0,08}}{\sqrt{\frac{2,417(228+20)}{0,02941} \ln \frac{(228+250)}{(228+90)}}} = 24,87 \text{ mm}^2 \quad (5-31)$$

Vo vzťahu (5-31) sme vypočítali minimálny prierez vodiča vzhľadom na dimenzovanie podľa tepelných účinkov skratových prúdov. Z katalógu typu kábla 35-AVXEKVCVE volíme najbližší vyšší prierez $S = 50 \text{ mm}^2$ [19].

R-35 kV MVE Raštak SM6- SCHNEIDER ELECTRIC – 3 STR. 50 Hz; 35 kV – IT – OCHRANA ZEMNENÍM



NN časť malej vodnej elektrárne Raštak nie je predmetom riešenia bakalárskej práce.

6 MECHANIKA VONKAJŠÍCH VEDENÍ

6.1 Klimatické podmienky a ich vplyv na výpočet vedenia

Pri návrhu vzdušného silového vedenia je potrebné vypočítať maximálne dovolené mechanické napätie na vodiči za týchto podmienok:

1. maximálna a minimálna teplota,
2. vietor,
3. námrazy,
4. búrky,
5. súčasné pôsobenie javov:
 - a) teplota a vietor,
 - b) teplota a námraza,
 - c) teplota, vietor a námraza,
 - d) teplota a búrková činnosť.

Ani pri jednej z týchto podmienok nesmie byť maximálne dovolené mechanické napätie vo vodiči prekročené [20]. Klimatické podmienky a ich vplyv na výpočet vedenia stanovuje norma ČSN EN 50341-1.

Koeficienty pravdepodobnosti zaťažovacích stavov sa určujú Tab. 6-1 pre rôzne úrovne spoľahlivosti.

Tab. 6-1 Koeficienty pravdepodobnosti zaťažovacích stavov [13]

Zaťažovací stav	Tiaž	Úroveň spoľahlivosti					
		1		2		3	
	γ_G	γ_w	γ_I	γ_w	γ_I	γ_w	γ_I
Extrémny vietor (-5 °C)	1,00	1,00		1,20		1,40	
Minimálna teplota	1,20	-30 °C		-35 °C		-40 °C	
Rovnomerné zaťaženie námrazou (-5 °C)	1,00		1,00		1,25		1,50
Kombinované zaťaženie vetrom a námrazou (-5 °C)	1,00	1,00		1,00		1,00	
		$\Psi_{wc}=0,25$		$\Psi_{wc}=0,25$		$\Psi_{wc}=0,25$	

6.1.1 Teplota

Vplyvom teploty sa mení namáhanie vo vodiči a súčasne aj jeho prehyb. Zvyčajne sa uvažuje s teplotami od -30 °C do +40 °C, ak ide o základnú úroveň spoľahlivosti 1. Teplota -5 °C je referenčná teplota. V každom projekte pri tejto teplote musí byť uvedená hodnota vodorovného mechanického napätia vodiča.

6.1.2 Námraza

Na zavesený vodič pôsobia prídavné zaťaženia, ako je napríklad námraza a vietor. Ďalej je uvedený postup pri výpočte zaťaženia námrazou. V úvahu sa berie námraza vo forme inovati o hustote 500 kg/m^3 . Referenčné zaťaženie námrazou vo výške 10 m nad zemou sa určuje z Tab. 6-2 [13].

Tab. 6-2 Výpočet referenčného zaťaženia námrazou na jednotku dĺžky vodiča 10 m nad terénom[13]

Námrazová oblasť	Referenčné zaťaženie námrazou I_R (N/m) na jednotku dĺžky vodiča o priemere d (mm)	
	$d \leq 30 \text{ mm}$	$d > 30 \text{ mm}$
N0	$1,298 + 0,1562 d$	$5,267 + 0,0239 d$
N1	$3,873 + 0,2698 d$	$10,566 + 0,0467 d$
N2	$10,566 + 0,4457 d$	$21,423 + 0,0838 d$
N3	$18,305 + 0,5866 d$	$33,032 + 0,0957 d$
N5	$35,376 + 0,8155 d$	$55,569 + 0,1424 d$
N8	$63,077 + 1,0890 d$	$90,254 + 0,1831 d$
N12	$102,063 + 1,3852 d$	143,619
N18	$162,924 + 1,7501$	215,427
NK	Stanoví sa individuálne	

Charakteristické zaťaženie námrazou I_k (N/m) na jednotku dĺžky vodiča sa určí vo výške h nad zemou zo vzťahu (6-1):

$$I_k = K_h \cdot I_R \text{ (N/m)} \quad (6-1)$$

Kde: K_h je súčiniteľ výšky pre zaťaženie námrazou (1).

Pre oblasť N0-N3:

$$K_h = \left(\frac{h}{10}\right)^{0,13} (1) \quad (6-2)$$

Pre oblasť N4-NK:

$$K_h = \left(\frac{h}{10}\right)^{0,25} (1) \quad (6-3)$$

Kde: h výška vodiča nad zemou pri referenčnej teplote -5°C (m).

Návrhové zaťaženie námrazou I_d (N/m) vo výške h nad zemou sa určí zo vzťahu

$$I_d = \gamma_I \cdot I_k \text{ (N/m)} \quad (6-4)$$

Kde: γ_1 koeficient pravdepodobnosti z Tab. 6-1 Koeficienty pravdepodobnosti zaťažovacích stavov [13] (1).

Pre výpočet mechanického zaťaženia sa počíta pomerná hodnota zaťaženia vodiča:

$$z_n = \frac{g_1 + I_d}{g_1} \quad (1) \quad (6-5)$$

Kde: z_n pomerná hodnota zaťaženia námrazou (1),
 g_1 tiaž vodiča (N/m).

6.1.3 Vietor

Tak ako námraza aj vietor spôsobuje i vietor prídavne zaťaženie vodičov a iných častí vedenia. Stredná 10 minútová rýchlosť vetru v_{mean} (m/s) vo výške 10 m nad zemou sa vypočíta zo vzťahu (6-6):

$$v_{mean} = c_{ALT} \cdot v_{mean,0} \quad (\text{m/s}) \quad (6-6)$$

Kde: c_{ALT} je súčiniteľ nadmorskej výšky (1)
 $v_{mean,0}$ stredná rýchlosť vetra podľa veternej oblasti (m/s).

Tab. 6-3 Základné referenčné rýchlosti a súčinitele nadmorskej výšky [13]

Veterná oblasť	$v_{mean,0}$ (m/s)	Nadmorská výška H (m)	c_{ALT}
1	24	$H \leq 700$	1
		$700 < H \leq 1300$	1,25
2	26	$H \leq 700$	1
		$700 < H \leq 1300$	1,16
		$H > 1300$	1,27

Referenčná rýchlosť vetra v_R (m/s) vo výške 10 m nad zemou zo vzťahu:

$$v_R = k_T \cdot \ln \frac{10}{z_0} \cdot v_{mean} \quad (\text{m/s}) \quad (6-7)$$

Kde: k_T súčiniteľ terénu (1),
 z_0 trecia výška (1).

Tab. 6-4 Kategórie terénu [13]

Kategória terénu	Charakteristika terénu	k_T	z_0
I	Búrlivé otvorené more, jazerá do vzdialenosti 5 km proti smeru vetra a rovná plocha krajina bez prekážok	0,17	0,01
II	Poľnohospodárska plocha s hraničnými živými plotmi, rozptýlené malé poľnohospodárske budovy	0,19	0,05
III	Predmestské alebo priemyselné oblasti a trvale zalesnené plochy	0,22	0,30
IV	Mestské oblasti	0,24	1,0
V	Hornatý terén	Hodnotí sa individuálne	

Jednotkové zaťaženie vodiča vetrom podľa vzťahu (6-8):

$$q_{wc} = q_h \cdot G_q \cdot G_c \cdot C_c \cdot d \cdot \sin^2 \beta \text{ (N/m)} \quad (6-8)$$

Kde:

- q_h dynamický tlak vetra, pri teplote -5 °C bez námrazy a vetra (m/s),
- G_q poryvový súčiniteľ(1),
- G_c dynamický súčiniteľ(1),
- C_c súčiniteľ aerodynamického odporu vodiča (1),
- β Uhol medzi smerom vetra a pozdĺžnou osou vodiča (°).

Pretáženie vodiča vetrom podľa vzťahu (6-9):

$$z_v = \frac{\sqrt{(g_1)^2 + (q_{wc})^2}}{g_1} \quad (1) \quad (6-9)$$

6.1.4 Kombinované zaťaženie vetrom a námrazou

Hodnota kombinácie zaťaženia Ψ_{wc} sa určí z Tab. 6-1, dynamický tlak vetra na omrznutý vodič sa vypočíta (6-10):

$$q_{hcl} = \Psi_{wc} \cdot q_h \text{ (Pa)} \quad (6-10)$$

Jednotkové zaťaženie (6-11):

$$q_{wc} = q_{hcl} \cdot G_q \cdot G_c \cdot C_{cl} \cdot D \cdot \sin^2 \beta \text{ (N/m)} \quad (6-11)$$

Kde:

- C_{cl} je súčiniteľ aerodynamického odporu omrznutého vodiča (1),
- D ekvivalentný priemer zamrznutého vodiča (m).

Pret'azenie vetrom a námrazou:

$$z_{n+v} = \frac{\sqrt{(g_1 + l_d)^2 + (q_{wc})^2}}{g_1} \quad (1) \quad (6-12)$$

6.2 Krivka zaveseného vodiča

Vodič zavesený medzi dvoma bodmi sa prehne do priehybovej krivky. Pre výpočet krivky možno postupovať podľa reťazovky a paraboly.

6.2.1 Priehybová krivka ako reťazovka

Vyjadrenie parametra krivky je názorne zobrazené v [13]. Parameter krivky je priamo úmerný horizontálnej zložke napätia lana σ_H a nepriamo úmerné mernej tiaži vodiča.

$$c = \frac{F_H}{g_1 \cdot z} = \frac{\sigma_H}{\gamma \cdot z} \quad (\text{m}) \quad (6-13)$$

Výsledný tvar rovnice je:

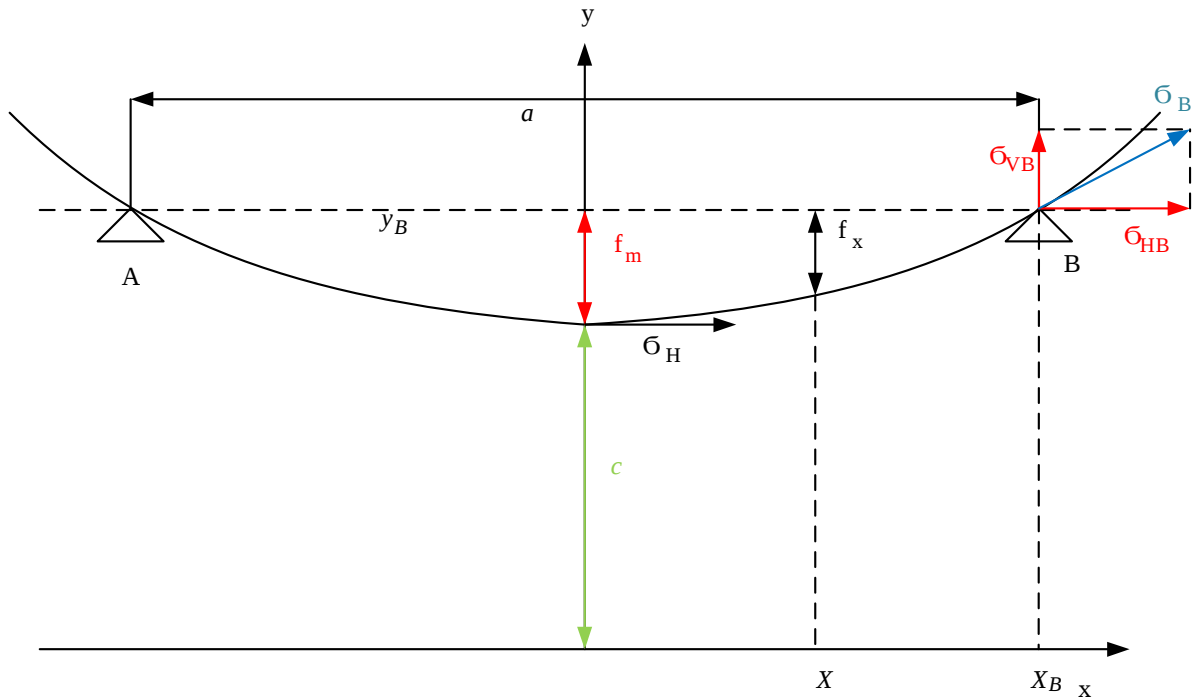
$$y = c \cdot \cosh \frac{x}{c} = \frac{\sigma_H}{\gamma \cdot z} \cdot \cosh \frac{x \cdot \gamma \cdot z}{\sigma_H} \quad (1) \quad (6-14)$$

Kde:	F_H	vodorovná zložka ťahu vo vodiči (N),
	g_1	tiaž 1 m vodiča (N/m),
	σ_H	vodorovné namáhanie vo vodiči (MPa),
	γ	merná tiaž vodiča (N/(mm ² ·m)),
	z	pret'azenie vodiča,
	s	matematický prierez vodiča (mm ²).

6.2.2 Mechanický výpočet súmerne zaveseného vodiča (Reťazovka)

Pod pojmom mechanický výpočet sa rozumie stanovenie geometrických rozmerov a namáhania vodiča. Jednotlivé rozmery a namáhania sú na

Obr. 6-1.



Obr. 6-1 Reťazovka

6.2.3 Výpočet maximálneho prihybu - f_m

$$f_m = y_B - c = \cosh \frac{x_B}{c} - c = c \cdot \cosh \frac{a}{2 \cdot c} - c = c \cdot \left(\cosh \frac{a}{2 \cdot c} - 1 \right) \text{ (m)} \quad (6-15)$$

$$f_m = \frac{\sigma_H}{\gamma \cdot z} \cdot \left(\cosh \frac{a \cdot \gamma \cdot z}{2 \cdot \sigma_H} - 1 \right) \text{ (m)} \quad (6-16)$$

Kde: c parameter krivky (m),
 a rozpätie poľa (m).

6.2.4 Výpočet prihybu v ľubovoľnom bode - f_x

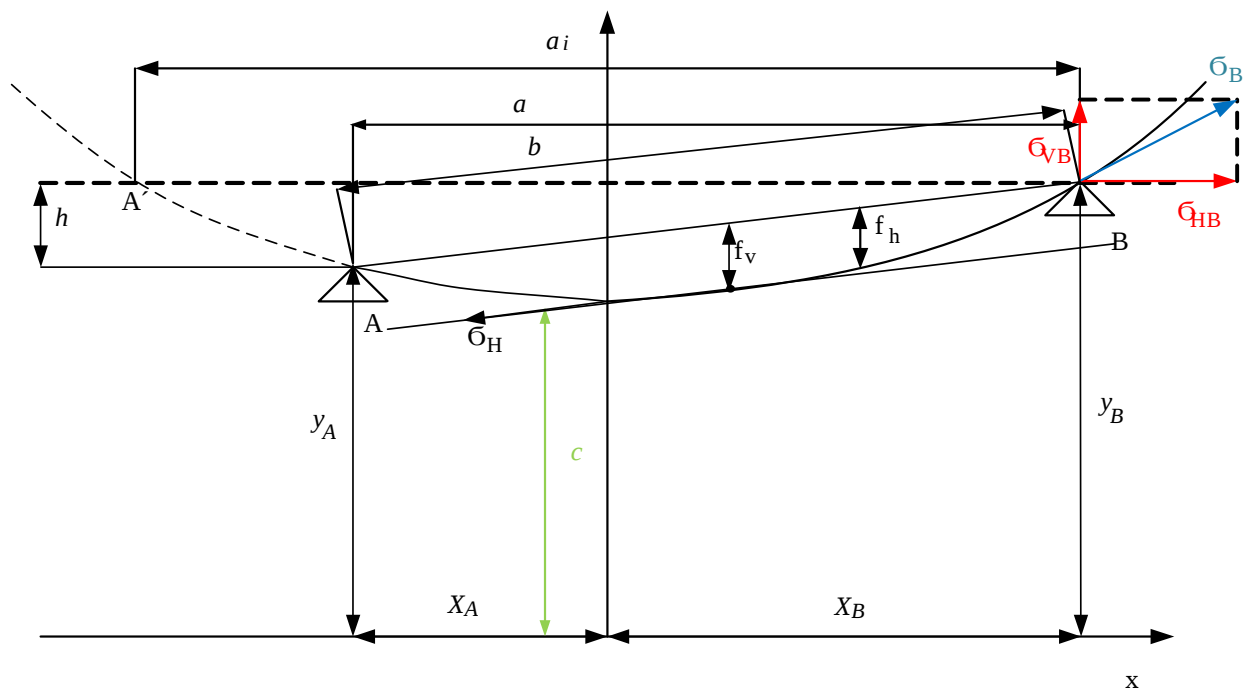
$$f_x = y_B - y = c \cdot \cosh \frac{a}{2 \cdot c} - c \cdot \cosh \frac{x}{c} = c \cdot \left(\cosh \frac{a}{2 \cdot c} - \cosh \frac{x}{c} \right) \text{ (m)} \quad (6-17)$$

6.2.5 Výpočet dĺžky - l_s

$$l_s = 2 \cdot c \cdot \sinh \frac{a}{2 \cdot c} \text{ (m)} \quad (6-18)$$

6.3 Mechanický výpočet nesúmerne zaveseného vodiča

Pri nesúmernom zavesení vodiča závesné body nie sú v rovnakej výške, preto vzniká medzi nimi výškový rozdiel h . Tento rozdiel je znázornený na Obr. 6-2.



Obr. 6-2 Nesúmerná reťazovka

Vzt'ahy pre výpočet nesúmerne zaveseného závesu:

$$\frac{h}{l_s} = \frac{h}{2 \cdot c \cdot \sinh \frac{a}{2 \cdot c}} = \sinh \left(\frac{x_B}{c} - \frac{a}{2 \cdot c} \right) \quad (6-19)$$

$$\frac{h}{l_s} = \sinh \left(\frac{x_B}{c} - \frac{a}{2 \cdot c} \right) \rightarrow \frac{x_B}{c} - \frac{a}{2 \cdot c} = \arg \sinh \frac{h}{l_s} \quad (6-20)$$

$$x_B = c \cdot \arg \sinh \frac{h}{l_s} + \frac{a}{2} \text{ (m)} \quad (6-21)$$

$$x_A = a - x_B = \frac{a}{2} - c \cdot \arg \sinh \frac{h}{l_s} \text{ (m)} \quad (6-22)$$

$$a_i = 2 \cdot x_B = a + 2 \cdot c \cdot \arg \sinh \frac{h}{l_s} \text{ (m)} \quad (6-23)$$

6.3.1 Maximálny prieťah ideálneho poľa – f_{mi}

$$f_{mi} = y_B - c = c \cdot \cosh \frac{x_B}{c} - c = \frac{a_i^2 \cdot \gamma}{8 \cdot \sigma_H} \text{ (m)} \quad (6-24)$$

6.3.2 Prieťah v ľubovoľnom bode šikmého poľa - f_x

$$f_x = y_B - y_x = c \cdot \cosh \frac{x_B}{c} - c \cdot \cosh \frac{x}{c} = c \cdot \left(\cosh \frac{a_i}{2 \cdot c} - \cosh \frac{x}{c} \right) \text{ (m)} \quad (6-25)$$

6.3.3 Charakteristický prieťah – f_h

$$f_h = c \cdot \left(\cosh \frac{x_B}{c} - \cosh \frac{x_B - \frac{a}{2}}{c} \right) - \frac{h}{2} \text{ (m)} \quad (6-26)$$

6.3.4 Súradnice bodu - C - x_c

$$x_c = c \cdot \arg \sinh \frac{h}{a} \text{ (m)} \quad (6-27)$$

6.3.5 Viditeľný prieťah - f_v

$$f_v = y_B - y_c - (x_B - x_c) \cdot \frac{h}{a} = c \cdot \cosh \frac{x_B}{c} - c \cdot \cosh \frac{x_c}{c} - (x_B - x_c) \cdot \frac{h}{a} \text{ (m)} \quad (6-28)$$

6.3.6 Dĺžka neúmernej reťazovky - l_{AB}

$$l_{AB} = l_{0A} + l_{0B} = c \cdot \sinh \frac{x_B}{c} + c \cdot \sinh \frac{x_A}{c} \text{ (m)} \quad (6-29)$$

$$l_{0A} = c \cdot \sinh \frac{x_A}{c} \text{ (m)} \quad (6-30)$$

$$l_{0B} = c \cdot \sinh \frac{x_B}{c} \text{ (m)} \quad (6-31)$$

6.3.7 Namáhanie vodiča

Vodorovná zložka namáhania σ_H je rovnaká v každom bode vodiča. Zvislé zložky σ_{VA} , σ_{VB} sú dané podmienkou rovnováhy síl v osi y.

$$\sigma_{VA} = l_{0A} \cdot \gamma \cdot z \text{ (Pa)} \quad (6-32)$$

$$\sigma_{VB} = l_{0B} \cdot \gamma \cdot z \text{ (Pa)} \quad (6-33)$$

6.3.8 Celkové namáhanie vodiča

$$\sigma_A = \sqrt{\sigma_{VA}^2 + \sigma_H^2} \text{ (Pa)} \quad (6-34)$$

$$\sigma_B = \sqrt{\sigma_{VB}^2 + \sigma_H^2} \text{ (Pa)} \quad (6-35)$$

6.4 Stavová rovnica

Pri zmenách teplôt a preťažení sa menia mechanické napätia vo vodiči a tiež jeho priehyb. Mechanický výpočet sa robí pre také podmienky, kde vzniká max. priehyb alebo najväčšie mechanické napätie.

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \left[A \left(\frac{a \cdot z_0}{\sigma_{H0}} \right)^2 + B(\vartheta_1 - \vartheta_2) - \sigma_{H0} \right] = A(a \cdot z_1)^2 \quad (6-36)$$

$$A = \frac{\gamma^2 \cdot E}{24}, B = \alpha \cdot E \quad (6-37)$$

7 VÝPOČET VEDENIA VN

Výpočet namáhania vedenia 35 kV VN linky bude uskutočnený podľa platných noriem ČSN EN 50423-1, ČSN EN 50423-3 a PNE 333301.

Návrhové situácie, na základe ktorých je potrebné dimenzovať vedenie VN:

1. zaťaženie námrazou pri teplote -5 °C,
2. zaťaženie pri teplote +40 °C,
3. kombinované zaťaženie vetrom a námrazou pri teplote -5 °C,
4. zaťaženie vetrom pri +40 °C,
5. minimálna teplota -30 °C bez ďalších klimatických zaťažení pre úroveň spoľahlivosti 1 [23].

7.1 Parametre AlFe lana

Tab. 7-1 Parametre lana [15]

	Lano								
Prierez	Priemer lana d (mm)	S (mm ²)	g_1 (N/m)	E (MPa)	α (10 ⁻⁶ /°C)	F_p (kN)	σ_p (MPa)	σ_{dov} (MPa)	σ_H (MPa)
95	13,5	111,33	3,337	80000	18,71	30,2	271,266	103,081	87

Pozn.: Priemer vodiča je stanovený distribučnou spoločnosťou.

7.2 Výpočet klimatických podmienok

7.2.1 Zaťaženie námrazou pri teplote -5 °C

Podľa zistených parametrov námrazovej oblasti N2, vyberieme z Tab. 6-2 rovnicu pre výpočet referenčného zaťaženia námrazou.

$$d = 13,5 \text{ mm} \quad (\text{Tab. 7-1})$$

Výpočet I_R podľa Tab. 6-2 pre námrazovú oblasť N2:

$$I_R = 10,566 + 0,4457 \cdot 13,5 = 16,583 \text{ N/m} \quad (7-1)$$

Charakteristické zaťaženie námrazou podľa (6-1):

$$K_h = 1 \quad \text{pre vodiče zavesené v menšej výške ako 20 m [22]}$$

$$I_k = 1 \cdot 16,583 = 16,583 \text{ N/m} \quad (7-2)$$

Návrhové zaťaženie námrazou podľa (6-4):

$$\gamma = 1 \quad (\text{Tab. 6-1})$$

$$I_d = 1 \cdot 16,583 \text{ N/m} \quad (7-3)$$

Pomerná hodnota pret'azenia vodiča (6-5):

$$g_1 = 3,337 \quad (\text{Tab. 7-1})$$

$$z_n = \frac{3,337+16,583}{3,337} = 5,969 \quad (7-4)$$

7.2.2 Zaťaženie vetrom pri teplote -5 °C

Referenčné zaťaženie vetrom:

V tomto prípade sa jedná o oblasť číslo 1 do 700 m, kde sme na základe Tab. 6-3 určili:

$$v_{mean,0} = 24 \text{ m/s},$$

$$C_{ALT} = 1.$$

Stredná rýchlosť vetra podľa (6-6):

$$v_{mean} = 1 \cdot 24 = 24 \text{ m/s} \quad (7-5)$$

Referenčná rýchlosť vetra podľa (6-7):

$$k_T = 0,22 \text{ (Tab. 6-3) kat. III,}$$

$$z_0 = 0,30 \text{ (Tab. 6-3) kat. III.}$$

$$v_R = 0,22 \cdot \ln \frac{10}{0,3} \cdot 24 = 18,515 \text{ m/s} \quad (7-6)$$

U prvkov do 20 m nad zemou sa uvažuje s rýchlosťou vetra pri 10 m nad zemou.

$$v_R = v_h = 18,515 \text{ m/s} \quad (7-7)$$

Dynamický tlak vetra [23]:

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \quad \text{-hustota vzduchu}$$

$$q_h = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_h^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 18,515^2 = 214,25 \text{ Pa} \quad (7-8)$$

Zaťaženie vodiča vetrom podľa (6-8):

$$q_h = 214,25 \text{ Pa} \quad \text{zo vzťahu (7-8),}$$

$$G_q = 2,72 \quad \text{poryvový súčiniteľ podľa [23],}$$

$$G_c = 0,78 \quad \text{dynamický súčiniteľ podľa [23],}$$

$$C_c = 1,1 \quad \text{súčiniteľ aerodynamického odporu podľa [22],}$$

$$d = 13,5 \text{ mm} \quad \text{(Tab. 7-1),}$$

$$\beta = 90^\circ \quad \text{najhorší možný variant.}$$

$$q_{wc} = 214,25 \cdot 2,72 \cdot 0,78 \cdot 1,1 \cdot 0,0135 \cdot \sin^2 90 = 6,75 \text{ N/m} \quad (7-9)$$

Preťaženie vodiča vetrom podľa vzťahu (6-9):

$$z_v = \frac{\sqrt{(3,337)^2 + (6,75)^2}}{3,337} = 2,256 \quad (7-10)$$

7.2.3 Kombinované zaťaženie vetrom a námrazou pri teplote -5 °C

Dynamický tlak na omrznutý vodič podľa vzťahu (6-10):

$$\Psi_{wc} = 0,25 \quad \text{podľa [23],}$$

$$q_h = 214,25 \text{ Pa} \quad \text{zo vzťahu (7-8).}$$

$$q_{hcl} = 0,25 \cdot 214,25 = 53,56 \text{ Pa} \quad (7-11)$$

Jednotkové zaťaženie (6-11):

$$q_{hcl} = 53,56 \text{ Pa} \quad \text{zo vzťahu (7-11),}$$

$$G_q = 2,72 \quad \text{poryvový súčiniteľ podľa [23],}$$

$$G_c = 0,78 \quad \text{dynamický súčiniteľ podľa [23],}$$

$$C_c = 1,1 \quad \text{súčiniteľ aerodynamického odporu podľa [22],}$$

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4I_d}{g \cdot \pi \cdot \rho_I}} = \sqrt{0,0135^2 + \frac{4 \cdot 16,583}{9,81 \cdot 3,14 \cdot 500}} = 0,067 \text{ m} \quad (7-12)$$

$$\beta = 90^\circ \quad \text{najhorší možný variant.}$$

$$q_{wc} = 53,56 \cdot 2,72 \cdot 0,78 \cdot 1,1 \cdot 0,067 \cdot \sin^2 90 = 8,375 \text{ N/m} \quad (7-13)$$

Preťaženie námrazou a vetrom podľa:

$$z_{n+v} = \frac{\sqrt{(3,337+16,583)^2 + (8,375)^2}}{3,337} = 6,476 \quad (7-14)$$

7.3 Výpočet vodorovnej zložky namáhania vodiča pre pole č. 1

7.3.1 Zaťaženie námrazou pri teplote -5 °C

Pri zaťažení námrazou pri teplote -5 °C je hodnota vodorovnej zložky namáhania σ_H rovná hodnote uvádzanej v Tab. 7-1.

7.3.2 Zaťaženie pri teplote +40 °C

Pre výpočet vodorovnej zložky namáhania pri teplote 40 °C budeme vychádzať z vypočítanej pomernej hodnoty zaťaženia z_n pri stave -5 °C a námraze.

Výpočet stavovej rovnice pre + 40 °C podľa (6-36),(6-37):

Hodnoty pre výpočet:

$$z_n = z_0 = 5,969 \quad (7-4),$$

$z_1 = 1$ vyplýva zo vzťahu (6-5), keďže pri teplote 40 °C sa námraza nevytvára je $I_d = 0$ N/m,

$$a = 188,16 \text{ m},$$

$$\vartheta_1 = 40 \text{ °C},$$

$$\vartheta_0 = -5 \text{ °C},$$

$$\sigma_{H0} = 87 \text{ MPa} \quad (\text{Tab. 7-1}),$$

$$\gamma = \frac{g_1}{s} = \frac{3,337}{111,33 \cdot 10^{-6}} = 29973,95 \text{ N/m}^3 \quad (\text{Tab. 7-1}),$$

$$E = 80\,000 \text{ MPa} \quad (\text{Tab. 7-1}),$$

$$\alpha = 18,71 \cdot 10^{-6} \text{ °C}^{-1} \quad (\text{Tab. 7-1}).$$

$$\sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \left[A \left(\frac{188,16 \cdot 5,969}{87 \cdot 10^6} \right)^2 + B(40 + 5) - 87 \cdot 10^6 \right] = A(188,16 \cdot 1)^2 \quad (7-15)$$

$$A = \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} = \frac{29973,95^2 \cdot 80000 \cdot 10^6}{24} \quad (7-16)$$

$$B = \alpha \cdot E = 18,71 \cdot 10^{-6} \cdot 80000 \cdot 10^6$$

Riešenie členov bolo uskutočnené v programe excel.

$$\sigma_{H1} = 14,65 \text{ MPa} \quad (7-17)$$

7.3.3 Kombinované zaťaženie vetrom a námrazou pri teplote -5 °C

V tomto prípade postupujeme tým istým spôsobom ako v 7.3.2 s tým, že:

$$\vartheta_1 = -5 \text{ °C}$$

$$z_1 = z_{n+v} = 6,476 \quad (7-14).$$

Výsledné vodorovné namáhanie vodiča je:

$$\sigma_{H1} = 93,75 \text{ MPa} \quad (7-18)$$

7.3.4 Zat'azenie vetrom pri +40 °C

V tomto prípade postupujeme tým istým spôsobom ako v 7.3.2 s tým, že:

$$\vartheta_1 = 40 \text{ °C},$$

$$z_1 = z_v = 2,256 \quad (7-10).$$

Výsledné vodorovné namáhanie vodiča je:

$$\sigma_{H1} = 32,47 \text{ MPa} \quad (7-19)$$

7.3.5 Minimálna teplota -30 °C bez ďalších klimatických zat'azení

V tomto prípade postupujeme tým istým spôsobom ako v 7.3.2 s tým, že:

$$z_1 = 1 \text{ vyplýva zo vzťahu (6-5), keďže pri teplote } -30 \text{ °C sa námraza nevytvára je } I_d = 0 \text{ N/m},$$

$$\vartheta_1 = -30 \text{ °C}.$$

Výsledné vodorovné namáhanie vodiča je:

$$\sigma_{H1} = 16,46 \text{ MPa} \quad (7-20)$$

7.4 Výpočet celkového namáhania vodiča, maximálny priehyb a dĺžka vodiča medzi závesnými bodmi A,B

Výpočet celkového namáhania vodiča, maximálny priehyb vodiča je vykonaný podľa vzťahov uvedených v 6.3. Ako príklad výpočtu uvediem pole č.1 pri teplote -5 °C s námrazou.

Hodnoty pre výpočet:

$$\sigma_H = 87 \text{ MPa} \quad (\text{Tab. 7-1}),$$

$$\gamma = \frac{g_1}{s} = \frac{3,337}{111,33 \cdot 10^{-6}} = 29973,95 \text{ N/m}^3 \quad (\text{Tab. 7-1}),$$

$$z_n = 5,969 \quad (7-4),$$

$$a = 188,16 \text{ m},$$

$$h = -11,4 \text{ m},$$

Parameter krivky zo vzťahu (6-13):

$$c = \frac{87 \cdot 10^6}{29973,95 \cdot 5,969} = 486,266 \text{ m} \quad (7-21)$$

Výpočet geometrie vodiča:

$$\frac{h}{l_s} = \frac{-11,4}{2 \cdot 486,266 \cdot \sinh \frac{188,16}{2 \cdot 486,266}} = -0,06021 \quad (7-22)$$

$$x_B = 486,266 \cdot \arg \sinh(-0,06021) + \frac{188,16}{2} = 64,82 \text{ m} \quad (7-23)$$

$$x_A = 188,16 - 64,82 = 123,34 \text{ m} \quad (7-24)$$

$$a_i = 2 \cdot 64,82 = 129,69 \text{ m} \quad (7-25)$$

Súradnice bodu C (6-27):

$$x_c = 486,266 \cdot \arg \sinh \frac{-11,4}{188,6} = -29,44 \text{ m} \quad (7-26)$$

Viditeľný prieťah podľa (6-28):

$$\begin{aligned} f_v &= 486,266 \cdot \cosh \frac{64,82}{486,266} - 486,266 \cdot \cosh \frac{64,82}{486,266} - (64,82 + 29,44) \cdot \frac{-11,4}{188,16} = \\ &= 9,15 \text{ m} \end{aligned} \quad (7-27)$$

Dĺžka nesúmernej reťazovky (6-29), (6-30), (6-31):

$$l_{AB} = 486,266 \cdot \sinh \frac{64,82}{486,266} + 486,266 \cdot \sinh \frac{123,34}{486,266} = 189,68 \text{ m} \quad (7-28)$$

$$l_{0A} = 486,266 \cdot \sinh \frac{123,34}{486,266} = 124,67 \text{ m} \quad (7-29)$$

$$l_{0B} = 486,266 \cdot \sinh \frac{64,82}{486,266} = 65,01 \text{ m} \quad (7-30)$$

Výpočet vertikálneho namáhania vodiča v závesných bodoch (6-32), (6-33):

$$\sigma_{VA} = 124,67 \cdot 29973,95 \cdot 5,969 = 22,30 \text{ MPa} \quad (7-31)$$

$$\sigma_{VB} = 65,01 \cdot 29973,95 \cdot 5,969 = 11,63 \text{ MPa} \quad (7-32)$$

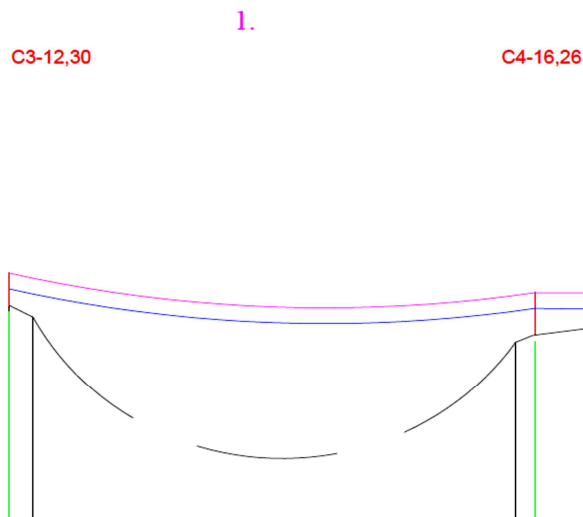
Výpočet celkového namáhania vodiča v závesných bodoch (6-34), (6-35)

$$\sigma_A = \sqrt{22,3^2 + 87^2} = 89,81 \text{ MPa} \quad (7-33)$$

$$\sigma_B = \sqrt{11,63^2 + 87^2} = 87,77 \text{ MPa} \quad (7-34)$$

Celkové namáhanie vodiča vyhovuje podmienke $\sigma_{A,B} < \sigma_{dov}$ v bode A aj B.

Celková dĺžka navrhovanej trasy VN linky je 6293,48 m. Pre zjednodušenie a ušetrenie času sú namáhania, viditeľný priehyb a dĺžka lana pri rôznych poveternostných podmienkach vypočítané v programe Microsoft EXCEL 2010, ktorý je priložený ako elektronická príloha k bakalárskej práci. Zakreslenie poľa je na Obr. 7-1, výsledky sú spracované v tabuľkách Tab. 7-2 a Tab. 7-3.



Obr. 7-1 Pole č. 1

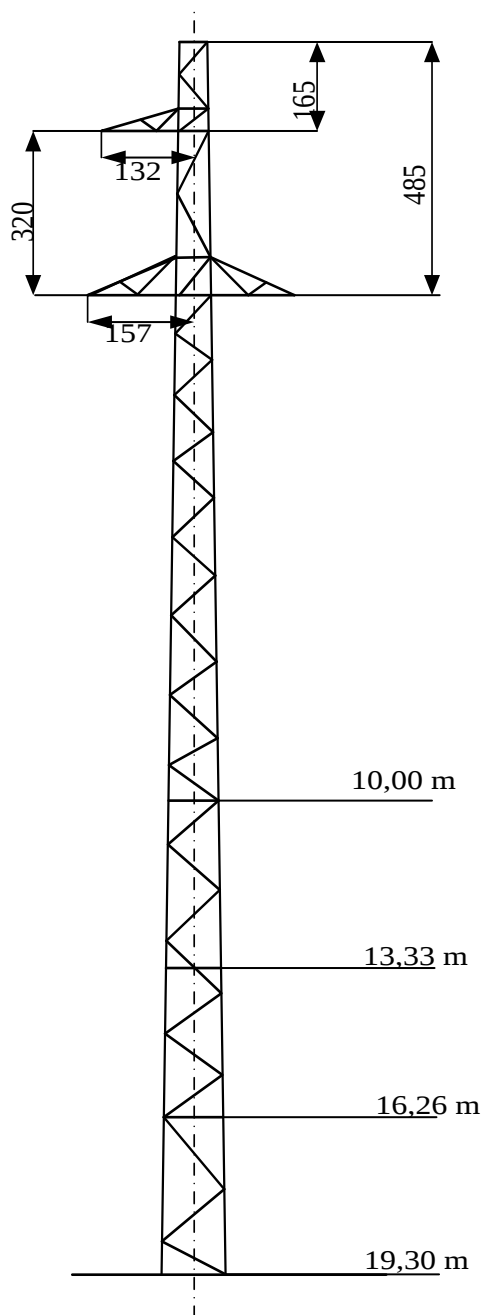
Pole č. 1						
a= 188,16 m h= -7,44 m						
Stav počasia	Horizontálne mechanické napätie	Celkové mechanické napätie		Viditeľný priehyb	Dĺžka lana	-
-	σ_H (MPa)	σ (MPa)		f_v (m)	l_{AB} (m)	-
-5 °C + námraza	87,00	Bod A:	89,4	9,14	189,48	Splňuje
		Bod B:	88,0			
+40 °C	14,65	Bod A:	15,0	9,09	189,47	Splňuje
		Bod B:	14,8			
-5 °C + vietor + námraza	92,40	Bod A:	95,0	9,18	189,49	Splňuje
		Bod B:	93,5			
-30 °C	16,46	Bod A:	16,8	8,08	189,23	Splňuje
		Bod B:	16,6			
40 °C + vietor	32,50	Bod A:	33,4	9,25	189,51	Splňuje
		Bod B:	32,9			

Tab. 7-3 Montážna tabuľka poľa č.1

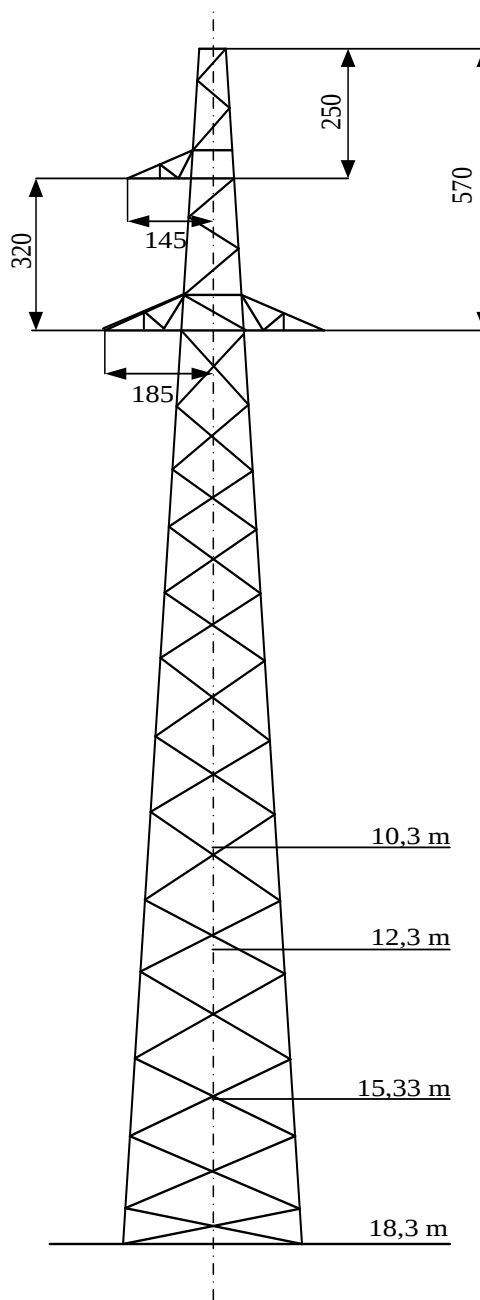
Pole č. 1- montážna tabuľka					
a= 188,16 m h= -7,44 m					
Stav počasia	Horizontálne mechanické napätie	Celkové mechanické napätie		Viditeľný priehyb	Dĺžka lana
-	σ_H (MPa)	σ (MPa)		f_v (m)	l_{AB} (m)
-30 °C	16,46	Bod A:	16,8	8,08	189,23
		Bod B:	16,6		
-20 °C	16,16	Bod A:	16,5	8,23	189,26
		Bod B:	16,3		
-10 °C	15,88	Bod A:	16,3	8,38	189,30
		Bod B:	16,0		
0 °C	15,61	Bod A:	16,0	8,53	189,33
		Bod B:	15,8		
10 °C	15,35	Bod A:	15,7	8,67	189,37
		Bod B:	15,5		
20 °C	15,11	Bod A:	15,5	8,81	189,40
		Bod B:	15,3		
30 °C	14,87	Bod A:	15,3	8,95	189,44
		Bod B:	15,0		
40 °C	14,65	Bod A:	15,0	9,09	189,47
		Bod B:	14,8		

7.6 Použité stožiare

Pre výstavbu linky budú použité priehradové oceľové stožiare, ktoré sú označované firmou „energoinvest“ ako „typ C“. Tvar a konštrukcia stožiarov bola zistená od projektantov pri návšteve Čiernej Hory. Ochrana povrchu proti hrdzi je tvorená pozinkovaním. Stúpačky pre výstup na stožiar musia byť vo výške 2,5 m nad hranou základu. Na navrhovanej trase VN linky sa nachádza miesto ponad rieku Morača, kde rozpätie poľa č. 12 je rovné 314,9 m. V tomto mieste museli byť použité stožiare od firmy „energoinvest“ označované ako „typ I“. Jedná sa o stožiar bežne používaný pre vedenia 110 kV.



Obr. 7-2 stožiar C4- nosný



Obr. 7-3 stožiar C3-kotviaci

7.6.1 Vybavenie pre údržbu

Najnižšie stúpadla a priečky rebríka nesmú byť nižšie ako 2,5 m nad hornou hranou základu, prípadne terénom. Špecifické požiadavky pre výstup na stožiar musia byť uvedené v projektovej dokumentácii.

7.6.2 Bezpečnostné požiadavky

1. Zábrany proti výstupu na stožiar: Stožiar musí byť zabezpečený proti výstupu nepovolaných osôb minimálnou vzdialenosťou priečok rebríka 0,4 m.
2. Bezpečnostné výstražné tabuľky: Každý podperný bod vedenia musí byť vybavený výstražnou tabuľkou (pozri Obr. 7-4) pripevnenou na stožiar vo výške 1,8 – 2,5 m nad zemou.



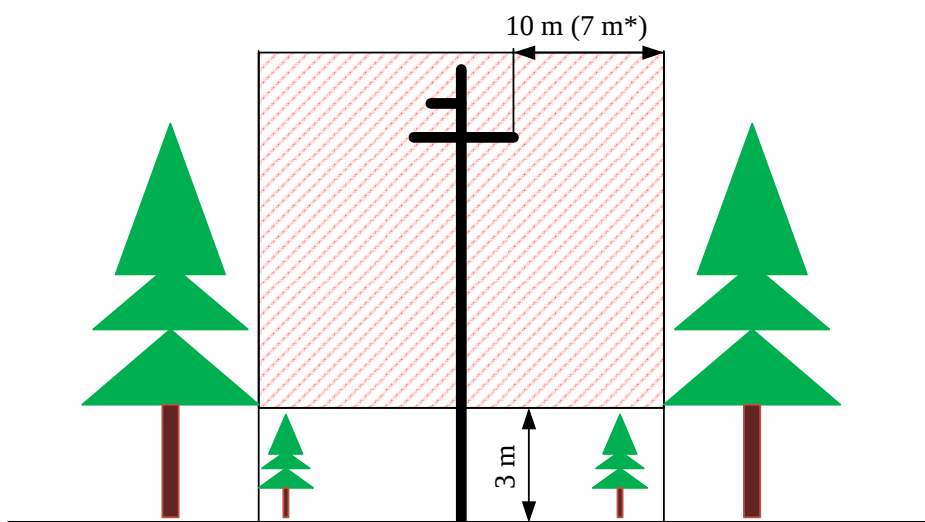
Obr. 7-4 Výstražná tabuľka [24]

3. Číslovanie podperných bodov: Každý podperný bod musí byť označený poradovým číslom [23].

7.6.3 Ochranné pásmo

Na ochranu zariadení sústavy sa vytvárajú ochranné pásma. Ochranné pásmo je vymedzený priestor blízkosti energetického zariadenia, ktorý slúži na zabezpečenie spoľahlivej a plynulej prevádzky, ochrany zdravia, života a majetku. Ochranné pásmo je vymedzené zvislými rovinami po oboch stranách vedenia vo vodorovnej vzdialenosti meranej kolmo na vedenie od krajného vodiča. Vzdialenosť týchto myslených rovín pre napätie 1 kV až 35 kV vrátane holých vodičov je 10m a v súvislých lesných priesekoch 7 m* (Obr. 7-5). V ochrannom pásme vonkajšieho nadzemného vedenia je zakázané:

1. zriaďovať stavby, skládky a konštrukcie,
2. vysádzať a pestovať trvalé porasty s výškou presahujúcou 3m,
3. uskladňovať ľahko horľavé a výbušné látky,
4. vykonávať činnosti ohrozujúce bezpečnosť osôb a majetku,
5. vykonávať činnosti ohrozujúce elektrické vedenie, bezpečnosť a spoľahlivosť prevádzky [25].



Obr. 7-5 Ochranné pásmo

8 ZÁVER

Bakalárska práca sa zaoberá návrhom vyvedenia výkonu malej vodnej elektrárne Raštak. Projekt sa delí na niekoľko častí. Prvá časť tejto práce sa zaoberá technickým a stavebným riešením elektrárne, a taktiež približuje dôvody Čiernej Hory pre výstavbu MVE. Jedná sa o súhrn informácií získaných z projektovej dokumentácie a skutočného vyhotovenia elektrárne. Tieto údaje sú vstupom pre naplnenie stanovených cieľov semestrálneho projektu.

Cieľom druhej časti projektu je získanie teoretických a praktických poznatkov pri návrhu transformátorovej stanice. Na základe inštalovaného výkonu synchronného generátora bol navrhnutý suchý transformátor od firmy TMC ITALIA s menovitým výkonom 1000 kVA. Tento transformátor je vybavený ochranným krytom od toho istého výrobcu. Spomínané zariadenie je umiestnené vo vyhradenej miestnosti turbínovej a prevádzkovej budovy na koľajniciach inštalovaných v betónovej podlahe. Pre chladenie transformátorovej stanice bola zvolená veľkosť žalúzií vetracích otvorov vstupu chladnejšieho vzduchu 2x (500x800 mm) a pre výstup ohriateho vzduchu 2x (500x800 mm).

V tretej časti tohto projektu je vypracovaný návrh rozvodne VN. Pri výbere vhodného rozvodného zariadenia pre MVE Raštak je potrebné vychádzať z výpočtov skratových prúdov v mieste rozvodného zariadenia a ďalších podmienok uvedených v kapitole 5. Postup výpočtu počiatočného rázového skratového prúdu v mieste rozvodného zariadenia bol vykonaný v súlade s príslušnou normou. Z vypočítaného počiatočného skratového prúdu $I_k'' = 5,343$ kA bol vypočítaný ekvivalentný skratový prúd $I_{ke} = 8,015$ kA a nárazový skratový prúd $I_{km} = 14,734$ kA. Na základe týchto vypočítaných prúdov boli z radu normalizovaných skratových odolností vybrané najbližšie vyššie hodnoty prúdov (I_k a I_{dyn}). Podľa I_k a I_{dyn} , bol vybraný vhodný rozvádzač od firmy Schneider electric typu SM6. Rozvádzač VN je zložený z troch polí, a to: vývod z transformátora (QM), fakturačné meranie (GBC-B) a pole prípojky (DM1-A). Ako prepoj medzi transformátorom a rozvodňou VN bol zvolený vodič 3 x 35-AVXEKVCVE1 x 50 mm. Tento prepoj bol dimenzovaný podľa minimálneho prierezu odolnosti proti tepelným účinkom skratových prúdov.

Poslednou úlohou bakalárskej práce bol návrh vonkajšieho vedenia 35 kV o dĺžke 6293,48 m. Trasa vedie cez kopcovitý terén zarastený prevažne listnatým lesom. Pri riešení problematiky návrhu VN linky som sa oboznámil s výpočtom geometrických rozmerov a výpočtom namáhání pre rôzne klimatické stavy dané normou. Pre zjednodušenie a urýchlenie práce som v programe Microsoft EXCEL vytvoril tabuľkový dokument, v ktorom sú uvedené všetky výpočty aj s montážnou tabuľkou. Výsledky výpočtov som spracoval graficky v AutoCAD 2010, kde je zakreslený celý profil trasy s rozmiestnením stožiarov a previsom vodičov. V súbore AutoCAD je čiernou farbou zakreslený terénny profil, červenou stĺpy, ružovou spodný vodič umiestnený na stožiaroch a modrou je vyznačený imaginárny vodič posunutý o 6 m nižšie ako skutočný. Tento imaginárny vodič znázorňuje minimálnu vzdialenosť stanovenú normou.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Čierna Hora [online]. © 2008 [cit. 2014-11-09]. Dostupné z: <http://www.ciernahora.sk>
- [2] UNDP in Europe and Central Asia [online]. © 2014 [cit. 2014-11-09]. Dostupné z: <http://www.eurasia.undp.org/content/rbec/en/home.html>
- [3] Hidrološka obrada. In: Mhe Raštak [online]. Podgorica, 2011 [cit. 2014-11-09]. Dostupné z: http://www.oie-res.me/uploads/archive/mHE-Hidroloski%20izvjestaj%20mHE-UNDP_2.pdf
- [4] Gabriel, P., P. Kalandra a F. Čihák. Malé vodní elektrárny. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01812-1.
- [5] IDEJNY PROJEKAT: Mala hidroelektrana na rijeci Raštak. Opština Kolašin, 2014. godina.
- [6] Raštak HEPP: Detail desing. Praha, 2014.
- [7] ČKD Blansko SMALL HYDRO, s.r.o. *Peltonovy turbíny* [online]. 2014 [cit. 2014-11-14]. Dostupné z: <http://www.ckdsh.cz/cs/vyrobni-program/peltonova-turbina>
- [8] *Synchronní stroje* [online]. Brno [cit. 2014-11-14]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/elearning/mod/resource/view.php?id=265485>. Skript. Vysoké učení technické v Brně.
- [9] *Synchronous generators series GSH*. Vsetín, 2012. Dostupné z: http://www.tes.cz/dokumenty/03generators_gsh_endefr.pdf
- [10] Fencel, F. *Elektrický rozvod a rozvodná zařízení*. Vyd. 4. Praha: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04351-6.
- [11] Janíček, F., Arnold, J. Šedivý, I. Šulc, A. Cerman a P. Petrek. *Elektrické stanice*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-227-3678-7.
- [12] Riapower.cz. *TMC technical data sheet* [online]. 2014 [cit. 2014-11-17]. Dostupné z: <http://www.riapower.cz/assets/ST0714.pdf>
- [13] Orságová, J. *Elektrické stanice a vedení* [online]. Brno, 2013.
- [14] MultiVAC. Katalóg- protidešťová žaluzie [online]. [cit. 2014-11-23]. Dostupné z: <http://www.multivac.sk/editor/filestore/File/ceniky/komponenty%20VZT/PDZ-Z.pdf>
- [15] Orságová J.: *Rozvodná zařízení*. Brno 2008.
- [16] Blažek, V. a P. Skala. *Distribuce elektrické energie* [online]. [cit. 2014-12-14].
- [17] *Elektrické vedenia 22 kV* [online]. 2014 [cit. 2014-12-14]. Dostupné z: <http://www.kves.uniza.sk/SmartGrids/?menu=riesenie&page=vedenie>
- [18] SM6 Modulárny rozvádzač. [online]. [cit. 2014-12-25]. Dostupné z: http://katalog.schneider-electric.cz/dsmapp/data/pdf/CZ/CMS/SM6%202011_sk.pdf
- [19] 35-AVXEKVCVE. [online]. [cit. 2014-12-26]. Dostupné z: <http://www.nktcables.com/cz/products/medium-voltage/mv-according-to-pn/18->
- [20] OTČENÁŠOVÁ, A. *Mechanika vonkajších silových vedení*. Žilina: EDIS ŽU, 2010. ISBN 978-80-554-0181-2.
- [21] ČSN EN 50423-1. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV do AC 45 kV včetně - Část 1: Všeobecné požadavky - Společné specifikace*. 2005.
- [22] ČSN EN 50423-3. *Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV do AC 45 kV včetně - Část 3: Soubor Národních normativních aspektů*. 2005.

- [23] PNE 333301. *Elektrická venkovní vedení s napětím od 1 kV AC do 45 kV včetně*. 2008.
- [24] *e-safetyshop.eu* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://www.e-safetyshop.sk/product.asp?P_ID=624
- [25] ZÁKON č. 251/2012. 2012. In: Z. z. o energetike a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

PRÍLOHY

Príloha A: Montážna tabuľka

		-30			-20			-10			0			10			20			30			40			"5°C námraza"		
Pole č.:	a	σ_H (MPa)	f_v (m)	l_{AB} (m)	σ_H (MPa)	f_v (m)	l_{AB} (m)	σ_H (MPa)	f_v (m)	l_{AB} (m)	σ_H (MPa)	f_v (m)	l_{AB} (m)	σ_H (MPa)	f_v (m)	l_{AB} (m)	σ_H (MPa)	f_v (m)	l_{AB} (m)	σ_H (MPa)	f_v (m)	l_{AB} (m)	σ_H (MPa)	f_v (m)	l_{AB} (m)	σ_H (MPa)	f_v (m)	l_{AB} (m)
1	188,16	16,46	8,08	189,23	16,16	8,23	189,26	15,88	8,38	189,30	15,61	8,53	189,33	15,35	8,67	189,37	15,11	8,81	189,40	14,87	8,95	189,44	14,65	9,09	189,47	87,00	9,14	189,48
2	131,6	19,31	3,38	132,65	18,41	3,55	132,67	17,61	3,71	132,70	16,90	3,87	132,72	16,27	4,02	132,74	15,71	4,16	132,77	15,19	4,30	132,79	14,72	4,44	132,82	87,00	4,49	132,82
3	158,37	17,45	5,40	158,98	16,96	5,55	159,01	16,51	5,71	159,03	16,09	5,86	159,06	15,70	6,00	159,09	15,34	6,14	159,12	15,00	6,28	159,15	14,68	6,42	159,18	87,00	6,47	159,19
4	55,27	82,69	0,14	55,34	68,35	0,17	55,34	54,50	0,21	55,34	41,71	0,27	55,34	31,00	0,37	55,34	23,33	0,49	55,35	18,44	0,62	55,36	15,36	0,75	55,36	87,00	0,79	55,37
5	44,14	97,57	0,08	45,30	82,84	0,09	45,30	68,27	0,11	45,30	54,05	0,14	45,30	40,62	0,18	45,30	29,04	0,26	45,30	20,73	0,36	45,31	15,74	0,48	45,31	87,00	0,51	45,32
6	110,05	22,89	2,13	118,07	21,00	2,32	118,09	19,47	2,50	118,11	18,21	2,67	118,12	17,15	2,84	118,14	16,25	3,00	118,16	15,47	3,15	118,18	14,79	3,29	118,20	87,00	3,34	118,20
7	170,15	16,98	6,50	173,58	16,58	6,66	173,58	16,21	6,81	173,64	15,86	6,96	173,67	15,54	7,11	173,70	15,23	7,26	173,73	14,94	7,40	173,76	14,67	7,54	173,79	87,00	7,58	173,80
8	157,04	17,51	5,28	157,53	17,01	5,44	157,56	16,55	5,59	157,58	16,12	5,74	157,61	15,72	5,89	157,64	15,35	6,03	157,67	15,00	6,17	157,70	14,68	6,31	157,73	87,00	6,35	157,74
9	74,61	52,09	0,41	77,29	40,93	0,53	77,29	32,14	0,67	77,30	25,90	0,83	77,31	21,65	1,00	77,32	18,71	1,15	77,33	16,60	1,30	77,34	15,02	1,44	77,35	87,00	1,48	77,36
10	90,61	32,28	1,00	95,34	27,13	1,19	95,35	23,45	1,38	95,36	20,77	1,56	95,37	18,75	1,73	95,39	17,18	1,88	95,40	15,92	2,03	95,41	14,88	2,18	95,43	87,00	2,22	95,43
11	135,32	18,95	3,66	137,07	18,13	3,83	137,09	17,40	3,99	137,11	16,75	4,15	137,14	16,17	4,30	137,16	15,64	4,44	137,19	15,16	4,58	137,21	14,72	4,72	137,23	87,00	4,77	137,24
12	314,9	15,18	24,91	323,12	15,09	25,06	323,18	15,01	25,21	323,24	14,92	25,35	323,30	14,84	25,49	323,36	14,76	25,64	323,42	14,68	25,78	323,48	14,60	25,92	323,54	87,00	25,97	323,55
13	86,85	35,76	0,85	92,97	29,35	1,03	92,97	24,82	1,22	92,98	21,60	1,40	93,00	19,24	1,57	93,01	17,45	1,73	93,02	16,04	1,89	93,04	14,91	2,03	93,05	87,00	2,08	93,06
14	113,61	22,04	2,34	121,17	20,40	2,53	121,19	19,05	2,71	121,20	17,92	2,88	121,22	16,96	3,04	121,24	16,13	3,20	121,26	15,41	3,35	121,28	14,77	3,49	121,30	87,00	3,54	121,31
15	115,39	21,67	2,44	122,32	20,13	2,63	122,32	18,86	2,80	122,35	17,79	2,97	122,37	16,87	3,13	122,39	16,08	3,29	122,41	15,38	3,44	122,43	14,77	3,58	122,45	87,00	3,63	122,46
16	112,45	22,30	2,26	119,56	20,58	2,45	119,58	19,18	2,63	119,60	18,01	2,80	119,61	17,02	2,96	119,63	16,17	3,12	119,65	15,43	3,26	119,67	14,78	3,41	119,69	87,00	3,46	119,70
17	178,86	16,71	7,48	186,83	16,36	7,64	186,86	16,04	7,79	186,89	15,73	7,94	186,92	15,44	8,09	186,96	15,17	8,24	186,99	14,90	8,39	187,02	14,66	8,53	187,05	87,00	8,58	187,06
18	89,67	33,08	0,95	93,86	27,63	1,14	93,87	23,77	1,33	93,88	20,96	1,50	93,89	18,86	1,67	93,91	17,24	1,83	93,92	15,95	1,98	93,93	14,89	2,12	93,95	87,00	2,16	93,95
19	218,58	15,91	11,32	220,71	15,71	11,47	220,75	15,51	11,61	220,79	15,32	11,76	220,83	15,14	11,90	220,87	14,96	12,04	220,91	14,79	12,18	220,95	14,63	12,32	220,99	87,00	12,37	221,01
20	47,38	93,54	0,09	49,29	78,89	0,11	49,29	64,46	0,14	49,29	50,51	0,17	49,29	37,65	0,23	49,29	27,09	0,32	49,30	19,92	0,44	49,30	15,61	0,56	49,31	87,00	0,60	49,31
21	66,84	64,64	0,28	73,33	51,51	0,36	73,33	39,91	0,46	73,33	30,72	0,60	73,34	24,27	0,76	73,34	20,01	0,92	73,35	17,15	1,07	73,36	15,13	1,21	73,37	87,00	1,26	73,37
22	112,51	22,29	2,28	120,47	20,57	2,47	120,49	19,17	2,65	120,50	18,01	2,82	120,52	17,02	2,98	120,54	16,17	3,14	120,56	15,43	3,29	120,58	14,78	3,44	120,60	87,00	3,48	120,60
23	86,8	35,81	0,83	91,36	29,38	1,01	91,37	24,84	1,20	91,38	21,61	1,37	91,39	19,25	1,54	91,41	17,45	1,70	91,42	16,05	1,85	91,43	14,91	1,99	91,45	87,00	2,04	91,45
24	142,72	18,35	4,22	145,04	17,67	4,38	145,07	17,06	4,54	145,09	16,50	4,70	145,12	15,99	4,85	145,14	15,52	4,99	145,17	15,10	5,13	145,19	14,70	5,27	145,22	87,00	5,32	145,23
25	178,28	16,72	7,22	181,11	16,38	7,37	181,15	16,05	7,52	181,18	15,74	7,67	181,21	15,45	7,82	181,24	15,17	7,96	181,28	14,91	8,10	181,31	14,66	8,24	181,34	87,00	8,29	181,35
26	104,47	24,60	1,71	107,55	22,16	1,90	107,57	20,26	2,08	107,59	18,74	2,25	107,60	17,49	2,41	107,62	16,45	2,56	107,64	15,57	2,70	107,66	14,81	2,84	107,67	87,00	2,89	107,68
27	71,35	57,30	0,34	73,63	45,16	0,44	73,64	35,10	0,56	73,64	27,67	0,71	73,65	22,61	0,87	73,66	19,19	1,03	73,67	16,81	1,17	73,68	15,06	1,31	73,69	87,00	1,35	73,69
28	88,33	34,30	0,87	89,99	28,41	1,05	90,00	24,25	1,23	90,01	21,25	1,40	90,03	19,04	1,56	90,04	17,34	1,72	90,05	15,99	1,86	90,07	14,90	2,00	90,08	87,00	2,04	90,09
29	104,64	24,54	1,70	106,28	22,12	1,88	106,30	20,23	2,06	106,31	18,72	2,23	106,33	17,48	2,38	106,35	16,45	2,53	106,37	15,57	2,68	106,39	14,81	2,81	106,40	87,00	2,86	106,41
30	112,72	22,24	2,17	114,49	20,54	2,35	114,51	19,15	2,52	114,53	17,99	2,69	114,55	17,01	2,84	114,57	16,16	2,99	114,59	15,42	3,13	114,61	14,78	3,27	114,63	87,00	3,32	114,64
31	93,21	30,29	1,08	93,41	25,87	1,26	93,42	22,66	1,44	93,43	20,28	1,61	93,45	18,46	1,77	93,46	17,01	1,92	93,48	15,84	2,06	93,50	14,87	2,19	93,51	87,00	2,24	93,52
32	65,12	67,43	0,26	71,97	54,02	0,33	71,97	41,93	0,42	71,97	32,08	0,55	71,97	25,03	0,70	71,98	20,38	0,86	71,99	17,29	1,02	72,00	15,16	1,16	72,00	87,00	1,20	72,01
33	113,69	22,02	2,35	121,76	20,39	2,54	121,78	19,04	2,72	121,80	17,91	2,89	121,82	16,96	3,06	121,84	16,13	3,21	121,85	15,41	3,37	121,87	14,77	3,51	121,89	87,00	3,56	121,90
34	176,69	16,77	7,29	185,16	16,41	7,45	185,19	16,08	7,61	185,22	15,76	7,76	185,25	15,46	7,91	185,28	15,18	8,06	185,32	14,91	8,21	185,35	14,66	8,35	185,38	87,00	8,40	185,39
35	161,32	17,32	5,65	162,24	16,86	5,81	162,27	16,43	5,96	162,30	16,03	6,11	162,32	15,66	6,26	162,35	15,31	6,40	162,38	14,98	6,54	162,41	14,68	6,68	162,44	87,00	6,72	162,45
36	159,7	17,39	5,56	161,99	16,91	5,72	162,02	16,47	5,88	162,05	16,06	6,03	162,08	15														

Príloha B: -5 °C + námraza

Pole č.:	h (m)	a (m)	σ _{II} (Pa)	c (m)	h/ls (l)	x _B (m)	x _A (m)	a _I (m)	x _C (m)	f _v (m)	l _{AB} (m)	l _{BA} (m)	l _{BB} (m)	σ _{VA} (Pa)	σ _{VB} (Pa)	σ _A (Pa)	σ _B (Pa)	
1	-7,44	188,16	87000000,00	486,27	-0,04	74,98	113,18	149,95	-19,22	9,14	189,48	114,21	75,27	20433425,34	13467690,60	89367359,09	88036235,10	TRUE
2	14,75	131,60	87000001,00	486,27	0,11	120,02	11,58	240,05	54,39	4,49	132,82	11,58	121,25	2071443,22	21692611,35	87024657,72	89663646,82	TRUE
3	6,13	158,37	87000002,00	486,27	0,04	97,92	60,45	195,84	18,82	6,47	159,19	60,61	98,58	10843398,12	17637813,47	87673140,87	88769886,85	TRUE
4	-2,73	55,27	87000003,00	486,27	-0,05	3,64	51,63	7,28	-24,01	0,79	55,37	51,73	3,64	9254882,59	651095,58	87490875,95	87002439,32	TRUE
5	-10,19	44,14	87000004,00	486,27	-0,23	-89,18	133,32	-178,35	-111,28	0,51	45,32	134,99	-89,68	24152113,39	-16044474,46	90290228,03	88467089,12	TRUE
6	-42,53	110,05	87000005,00	486,27	-0,39	-128,14	238,19	-256,27	-183,53	3,34	118,20	247,82	-129,62	44339446,73	-23191490,13	97647260,11	90038025,77	TRUE
7	-30,97	170,15	87000006,00	486,27	-0,18	-2,51	172,66	-5,02	-88,03	7,58	173,80	176,31	-2,51	31544378,77	-448869,28	92542146,49	87001163,94	TRUE
8	-2,15	157,04	87000007,00	486,27	-0,01	71,89	85,15	143,78	-6,66	6,35	157,74	85,58	72,15	15312240,83	12909376,20	88337228,49	87952562,28	TRUE
9	-20,16	74,61	87000008,00	486,27	-0,27	-92,41	167,02	-184,83	-129,84	1,48	77,36	170,33	-92,97	30474031,94	-16633855,39	92182796,74	88575880,11	TRUE
10	-29,56	90,61	87000009,00	486,27	-0,33	-110,43	201,04	-220,85	-155,95	2,22	95,43	206,81	-111,38	37001688,68	-19927066,15	94541665,58	89252952,51	TRUE
11	-20,14	135,32	87000010,00	486,27	-0,15	-4,22	139,54	-8,43	-72,11	4,77	137,24	141,46	-4,22	25309244,30	-754505,73	90606620,00	87003281,66	TRUE
12	-44,85	314,90	87000011,00	486,27	-0,14	89,61	225,29	179,22	-69,02	25,97	323,55	233,44	90,12	41765458,01	16123220,04	96505727,27	88481411,26	TRUE
13	33,11	86,85	87000012,00	486,27	0,38	224,36	-137,51	448,71	181,16	2,08	93,06	-139,35	232,40	-24930850,55	5179774,02	90501654,11	96425513,72	TRUE
14	41,82	113,61	87000013,00	486,27	0,37	231,60	-117,99	463,21	175,18	3,54	121,31	-119,16	240,46	-21318735,79	43022006,70	89573940,17	97056145,21	TRUE
15	40,23	115,39	87000014,00	486,27	0,35	223,59	-108,20	447,19	166,27	3,63	122,46	-109,10	231,56	-19519474,70	41428945,36	89162841,63	96360572,59	TRUE
16	40,32	112,45	87000015,00	486,27	0,36	226,68	-114,23	453,36	170,82	3,46	119,70	-115,28	234,98	-20625878,51	42041249,03	89411573,49	96625406,75	TRUE
17	51,37	178,86	87000016,00	486,27	0,29	226,48	-47,62	452,97	137,81	8,58	187,06	-47,70	234,76	-8534144,57	42002202,36	87417586,37	96608425,03	TRUE
18	27,64	89,67	87000017,00	486,27	0,31	192,24	-102,57	384,48	147,61	2,16	93,95	-103,33	197,29	-18488019,40	35297883,08	88942733,37	93887930,58	TRUE
19	-16,01	218,58	87000018,00	486,27	-0,07	74,00	144,58	148,00	-35,59	12,37	221,01	146,72	74,29	26249847,65	13291252,00	90873855,61	88009434,22	TRUE
20	13,59	47,38	87000019,00	486,27	0,29	161,27	-113,89	322,54	137,63	0,60	49,31	-114,93	164,24	-20562941,01	29384949,07	89397079,65	91828527,91	TRUE
21	-30,15	66,84	87000020,00	486,27	-0,45	-178,94	245,78	-357,87	-212,51	1,26	73,37	256,38	-183,00	45869272,99	-32741717,73	98351378,66	92957106,02	TRUE
22	-42,78	112,51	87000021,00	486,27	-0,38	-124,07	236,58	-248,13	-180,71	3,48	120,60	246,02	-125,42	44016571,74	-22438856,85	97501088,41	89847125,44	TRUE
23	-28,45	86,80	87000022,00	486,27	-0,33	-113,06	199,86	-226,11	-156,66	2,04	91,45	205,53	-114,08	36772380,31	-20410093,44	94452166,63	89362048,67	TRUE
24	-23,99	142,72	87000023,00	486,27	-0,17	-9,71	152,43	-19,42	-81,36	5,32	145,23	154,94	-9,71	27720477,23	-1737087,20	91309522,28	87017363,06	TRUE
25	-27,33	178,28	87000024,00	486,27	-0,15	15,30	162,98	30,59	-74,25	8,29	181,35	166,05	15,30	29709200,31	2737188,67	91932805,67	87043071,97	TRUE
26	25,28	104,47	87000025,00	486,27	0,24	168,56	-64,09	337,13	116,55	2,89	107,68	-64,28	171,96	-11500663,53	30766279,13	87756877,86	92279836,81	TRUE
27	18,18	71,35	87000026,00	486,27	0,25	158,17	-86,82	316,33	122,60	1,35	73,69	-87,28	160,97	-15615126,27	28799651,40	88390252,25	91642918,14	TRUE
28	-17,10	88,33	87000027,00	486,27	-0,19	-49,27	137,60	-98,53	-93,56	2,04	90,09	139,44	-49,35	24947953,19	-8829675,37	90506381,36	87446943,14	TRUE
29	-18,20	104,64	87000028,00	486,27	-0,17	-31,67	136,31	-63,35	-84,16	2,86	106,41	138,11	-31,70	24709380,31	-5671086,55	90440910,81	87184666,63	TRUE
30	19,46	112,72	87000029,00	486,27	0,17	139,71	-26,99	279,43	83,54	3,32	114,64	-27,01	141,64	-4831844,87	25341947,49	87134102,23	90615778,70	TRUE
31	5,56	93,21	87000030,00	486,27	0,06	75,55	17,66	151,10	28,99	2,24	93,52	17,66	75,85	3160427,09	13571335,38	87057415,07	88052179,78	TRUE
32	-30,63	65,12	87000031,00	486,27	-0,47	-188,32	253,44	-376,63	-221,03	1,20	72,01	265,07	-193,06	47424322,23	-34541044,96	99086183,36	93606031,76	TRUE
33	-43,30	113,69	87000032,00	486,27	-0,38	-123,75	237,44	-247,51	-180,99	3,56	121,90	246,99	-125,09	44190377,12	-22380930,73	97579685,38	89832686,86	TRUE
34	-52,96	176,69	87000033,00	486,27	-0,30	-54,54	231,23	-109,08	-143,65	8,40	185,39	240,05	-54,66	42947553,95	-9778748,89	97023183,48	87547870,74	TRUE
35	-11,28	161,32	87000034,00	486,27	-0,07	46,84	114,48	93,68	-33,97	6,72	162,45	115,54	46,91	20671597,34	8393583,32	89422149,68	87403993,94	TRUE
36	23,99	159,70	87000035,00	486,27	0,15	152,30	7,40	304,60	72,77	6,64	162,20	7,40	154,80	1323866,48	27696529,02	87010106,96	91302266,18	TRUE
37	30,35	77,01	87000036,00	486,27	0,39	225,32	-148,31	450,63	187,00	1,64	82,85	-150,62	233,46	-26947248,48	41770257,60	91077771,52	96507827,06	TRUE
38	24,64	64,57	87000037,00	486,27	0,38	213,49	-148,92	426,97	181,33	1,15	69,16	-151,25	220,41	-27061599,68	39434601,57	91111671,12	95520124,78	TRUE
39	-33,72	76,73	87000038,00	486,27	-0,44	-168,79	245,52	-337,57	-207,35	1,65	83,89	256,08	-172,20	45816756,75	-30808444,05	98326912,95	92293915,49	TRUE
40	-25,05	56,48	87000039,00	486,27	-0,44	-180,81	237,29	-361,62	-209,16	0,90	61,81	246,82	-185,00	44159403,79	-33099822,39	97565668,80	93083860,19	TRUE
41	-36,68	150,40	87000040,00	486,27	-0,24	-41,79	192,19	-83,58	-117,45	6,00	155,39	197,23	-41,84	35287596,31	-7485819,93	93884084,98	87321500,56	TRUE
42	24,72	103,40	87000041,00	486,27	0,24	166,66	-63,26	333,32	115,17	2,83	106,50	-63,44	169,94	-11350042,18	30405055,51	87737281,65	92160048,47	TRUE
43	32,70	113,98	87000042,00	486,27	0,29	194,34	-80,36	388,69	137,66	3,48	118,83	-80,73	199,56	-14443715,90	35703941,48	88190862,55	94041367,20	TRUE
44	22,38	128,52	87000043,00	486,27	0,17	148,27	-19,75	296,54	84,25	4,32	130,82	-19,76	150,58	-3534897,84	26941012,78	87071826,58	91075933,44	TRUE
45	21,48	110,16	87000044,00	486,27	0,19	149,11	-38,95	298,21	94,23	3,18	112,47	-38,99	151,45	-6975649,37	27097452,15	87279249,20	91122332,99	TRUE
46	-25,96	105,95	87000045,00	486,27	-0,24	-64,78	170,73	-129,56	-117,98	2,97	109,29	174,26	-64,97	31177703,61	-11624545,71	92417839,36	87773218,54	TRUE
47	-4,27	100,60	87000046,00	486,27	-0,04	29,70	70,90	59,41	-20,63	2,61	100,87	71,15	29,72	12729453,45	5317639,39	87926372,55	87162407,57	TRUE
48	-13,56	91,08	87000047,00	486,27	-0,15	-26,49	117,57	-52,97	-72,13	2,16	92,22	118,71	-26,50	21239778,92	-4741065,30	89555214,18	87129133,35	TRUE
49	5,26	102,22	87000048,00	486,27	0,05	76,08	26,14	152,15	25,01	2,69	102,54	26,16	76,39	4679952,58	13666534,44	87125830,32	88066920,67	TRUE
50	-23,66	110,14	87000049,00	486,27	-0,21	-48,38	158,52	-96,77	-103,67	3,19	112,88	161,35	-48,46	28867167,31	-8670764,41	91664179,89	87431062,45	TRUE
51	-8,38	122,73	87000050,00	486,27	-0,07	28,28	94,45	56,55	-33,18	3,89	123,34	95,05	28,29	17005610,81	5061888,20	88646486,11	87147182,47	TRUE
52	-36,94	116,19	87000051,00	486,27	-0,32	-93,66	209,85	-187,32	-152,10	3,65	122,18	216,42	-94,24	38721469,95	-16860903,11	95227942,90	88618840,70	TRUE
53	-36,80	86,60	87000052,00	486,27	-0,42	-157,32	243,92	-314,64	-200,87	2,10	94,20	254,28	-160,08	45494536,21	-28640786,26	98177196,30	91593142,13	TRUE
54	-24,88	60,23	87000053,00	486,27	-0,41	-165,32	225,55	-330,64	-195,55	1,01	65,20	233,73	-168,52	41816990,30	-30151396,77	96528078,30	92076685,15	TRUE
55	-21,18	85,09	87000054,00	486,27	-0,25	-77,13	16											

Príloha C: +40 °C

Pole č.:	h (m)	a (m)	σ_H (Pa)	c (m)	h/ls (l)	x_B (m)	x_A (m)	a_f (m)	x_C (m)	f_v (m)	l_{AB} (m)	l_{0A} (m)	l_{0B} (m)	σ_{VA} (Pa)	σ_{VB} (Pa)	σ_A (Pa)	σ_B (Pa)	
1	-7,44	188,16	14648796,03	488,72	-0,04	74,88	113,28	149,76	-19,32	9,09	189,47	114,30	75,17	3425951,18	2253225,85	15044080,78	14821074,58	TRUE
2	14,75	131,60	14724412,74	491,24	0,11	120,58	11,02	241,16	54,94	4,44	132,82	11,02	121,80	330301,19	3650702,83	14728116,97	15170232,75	TRUE
3	6,13	158,37	14678738,11	489,72	0,04	98,05	60,32	196,11	18,95	6,42	159,18	60,47	98,71	1812502,72	2958723,56	14790217,00	14973957,32	TRUE
4	-2,73	55,27	15359408,48	512,43	-0,05	2,35	52,92	4,69	-25,30	0,75	55,36	53,02	2,35	1589137,29	70344,87	15441398,45	15359569,56	TRUE
5	-10,19	44,14	15737406,32	525,04	-0,23	-98,05	142,19	-196,10	-120,16	0,48	45,31	143,94	-98,62	4314334,03	-2956106,00	16318070,83	16012636,27	TRUE
6	-42,53	110,05	14787151,48	493,33	-0,39	-130,81	240,86	-261,62	-186,20	3,29	118,20	250,54	-132,35	7509719,89	-3966942,22	16584804,54	15310012,39	TRUE
7	-30,97	170,15	14665033,67	489,26	-0,18	-3,05	173,20	-6,11	-88,57	7,54	173,79	176,84	-3,05	5300711,22	-91523,83	15593612,54	14665319,26	TRUE
8	-2,15	157,04	14680479,31	489,77	-0,01	71,84	85,20	143,69	-6,71	6,31	157,73	85,63	72,10	2566575,30	2161162,92	14903146,70	14838702,70	TRUE
9	-20,16	74,61	15024250,98	501,24	-0,27	-96,42	171,03	-192,83	-133,84	1,44	77,35	174,36	-97,01	5226397,06	-2907845,90	15907336,16	15303061,30	TRUE
10	-29,56	90,61	14884558,46	496,58	-0,33	-113,74	204,35	-227,48	-159,26	2,18	95,43	210,17	-114,74	6299501,95	-3439105,78	16162728,89	15276698,89	TRUE
11	-20,14	135,32	14716441,41	490,97	-0,15	-4,92	140,24	-9,84	-72,81	4,72	137,23	142,15	-4,92	4260862,41	-147399,41	15320854,94	14711719,56	TRUE
12	-44,85	314,90	14601664,18	487,15	-0,14	89,48	225,42	178,96	-69,15	25,92	323,54	233,55	89,99	7000389,10	2697236,06	16193024,56	14848692,84	TRUE
13	33,11	86,85	14910936,47	497,46	0,38	228,53	-141,68	457,06	185,33	2,03	93,05	-143,61	236,66	-4304413,95	7093501,51	15519794,00	16512231,53	TRUE
14	41,82	113,61	14774348,81	492,91	0,37	234,00	-120,39	468,00	177,57	3,49	121,30	-121,59	242,89	-3644612,51	7280415,48	15217246,24	16470756,88	TRUE
15	40,23	115,39	14768375,12	492,71	0,35	225,80	-110,41	451,60	168,48	3,58	122,45	-111,34	233,79	-3337241,94	7007585,49	15140742,63	16346594,69	TRUE
16	40,32	112,45	14778391,00	493,04	0,36	229,07	-116,62	458,13	173,20	3,41	119,69	-117,71	237,40	-3528094,48	7115666,42	15193692,48	16402242,20	TRUE
17	51,37	178,86	14656575,09	488,98	0,29	227,26	-48,40	454,51	138,58	8,53	187,05	-48,47	235,53	-1452986,15	7059642,72	14728420,22	16268182,10	TRUE
18	27,64	89,67	14890857,73	496,79	0,31	195,44	-105,77	390,88	150,81	2,12	93,95	-106,57	200,52	-3194411,81	6010453,34	15229639,22	16058119,23	TRUE
19	-16,01	218,58	14629864,53	488,09	-0,07	73,87	144,71	147,74	-35,72	12,32	220,99	146,84	74,15	4401419,84	2222577,95	15277612,14	14797729,18	TRUE
20	13,59	47,38	15605098,30	520,62	0,29	171,00	-123,62	341,99	147,35	0,56	49,31	-124,78	174,09	-3740146,44	5218048,36	16047049,21	16454395,20	TRUE
21	-30,15	66,84	15127789,06	504,70	-0,45	-187,00	253,84	-373,99	-220,57	1,21	73,37	264,68	-191,31	7933364,33	-5734178,62	17081811,13	16178096,49	TRUE
22	-42,78	112,51	14778178,94	493,03	-0,38	-126,59	239,10	-253,17	-183,22	3,44	120,60	248,58	-127,98	7450898,49	-3836127,40	16550240,52	15267954,88	TRUE
23	-28,45	86,80	14911309,33	497,48	-0,33	-116,67	203,47	-233,34	-160,27	1,99	91,45	209,19	-117,74	6270330,03	-3529265,68	16176037,36	15323278,45	TRUE
24	-23,99	142,72	14702365,34	490,50	-0,17	-10,42	153,14	-20,84	-82,07	5,27	145,22	155,64	-10,42	4665148,97	-312354,34	15424758,07	14705682,98	TRUE
25	-27,33	178,28	14657100,52	488,99	-0,15	14,88	163,40	29,75	-74,67	8,24	181,34	166,46	14,88	4989483,61	446002,54	15483072,77	14663884,68	TRUE
26	25,28	104,47	14809825,79	494,09	0,24	170,44	-65,97	340,89	118,42	2,84	107,67	-66,17	173,84	-1983358,70	5210786,49	14942043,09	15699784,58	TRUE
27	18,18	71,35	15063916,52	502,57	0,25	162,28	-90,93	324,56	126,71	1,31	73,69	-91,43	165,11	-2740377,75	4949092,20	15311147,94	15856074,38	TRUE
28	-17,10	88,33	14900170,69	497,10	-0,19	-51,36	139,69	-102,71	-95,64	2,00	90,08	141,53	-51,45	4242231,16	-1542054,07	15492308,15	14979753,58	TRUE
29	-18,20	104,64	14809082,78	494,07	-0,17	-33,03	137,67	-66,05	-85,51	2,81	106,40	139,46	-33,05	4180030,46	-990689,25	15387708,98	14842183,06	TRUE
30	19,46	112,72	14777439,31	493,01	0,17	140,87	-28,15	281,75	84,70	3,27	114,63	-28,17	142,80	-844333,07	4280233,90	14801540,83	15384833,92	TRUE
31	5,56	93,21	14868073,32	496,03	0,06	76,13	17,08	152,27	29,57	2,19	93,51	17,08	76,43	511979,10	2290964,06	14876885,66	15043540,83	TRUE
32	-30,63	65,12	15155377,27	505,62	-0,47	-197,12	262,24	-394,24	-229,83	1,16	72,00	274,15	-202,15	8217503,40	-6059238,13	17239861,44	16321759,31	TRUE
33	-43,30	113,69	14774074,46	492,90	-0,38	-126,23	239,92	-252,45	-183,46	3,51	121,89	249,50	-127,61	7478577,99	-3824986,54	16559058,09	15261186,00	TRUE
34	-52,96	176,69	14658567,24	489,04	-0,30	-55,37	232,06	-110,73	-144,47	8,35	185,38	240,86	-55,48	7219625,11	-1663097,88	16340030,00	14752609,54	TRUE
35	-11,28	161,32	14675026,57	489,59	-0,07	46,61	114,71	93,22	-34,21	6,68	162,44	115,76	46,68	3469918,23	1399136,47	15079679,61	14741573,44	TRUE
36	23,99	159,70	14677039,65	489,66	0,15	152,81	6,89	305,62	73,28	6,60	162,19	6,89	155,30	206497,15	465060,30	14678492,22	15397567,32	TRUE
37	30,35	77,01	14997994,48	500,37	0,39	230,74	-153,73	461,49	192,42	1,59	82,85	-156,16	239,01	-4680838,85	7164046,11	15711463,67	16621173,09	TRUE
38	24,64	64,57	15164621,49	505,93	0,38	220,82	-156,25	441,64	188,66	1,10	69,15	-158,75	227,90	-4758305,33	6831080,88	15893621,82	16632179,98	TRUE
39	-33,72	76,73	15000939,85	500,47	-0,44	-174,85	251,58	-349,70	-213,41	1,61	83,88	262,31	-178,43	7862394,22	-5348140,12	16936512,01	15925790,37	TRUE
40	-25,05	56,48	15329250,14	511,42	-0,44	-191,63	248,11	-383,27	-219,98	0,85	61,81	257,96	-196,15	7732111,70	-5879358,65	17168909,73	16418062,25	TRUE
41	-36,68	150,40	14689863,73	490,09	-0,24	-42,72	193,12	-85,43	-118,37	5,95	155,38	198,15	-42,77	5939391,63	-1281969,39	15845140,25	14745695,71	TRUE
42	24,72	103,40	14814583,94	494,25	0,24	168,55	-65,15	337,11	117,06	2,78	106,50	-65,34	171,84	-1958580,58	5150727,65	14943491,39	15684447,47	TRUE
43	32,70	113,98	14773084,65	492,86	0,29	196,22	-82,24	392,43	139,53	3,43	118,82	-82,62	201,44	-2476371,99	6037945,17	14979200,52	15959348,73	TRUE
44	22,38	128,52	14731531,91	491,48	0,17	149,18	-20,66	298,36	85,16	4,27	130,82	-20,66	151,48	-619373,37	4540419,02	14744546,65	15415363,68	TRUE
45	21,48	110,16	14786737,77	493,32	0,19	150,48	-40,32	300,95	95,59	3,14	112,46	-40,36	152,82	-1209796,90	4580650,76	14836145,81	15479986,28	TRUE
46	-25,96	105,95	14803472,75	493,88	-0,24	-66,63	172,58	-133,26	-119,83	2,93	109,28	176,12	-66,83	5278864,07	-2003266,40	15716526,69	14938402,92	TRUE
47	-4,27	100,60	14827735,41	494,69	-0,04	29,35	71,25	58,69	-20,99	2,56	100,86	71,50	29,36	2143179,85	880108,66	14981820,89	14853832,12	TRUE
48	-13,56	91,08	14881478,36	496,48	-0,15	-28,00	119,08	-56,01	-73,65	2,11	92,21	120,23	-28,02	3603719,05	-839813,32	15311603,09	14905156,31	TRUE
49	5,26	102,22	14819999,35	494,43	0,05	76,50	25,72	152,99	25,43	2,65	102,54	25,74	76,80	771405,19	2302038,35	14840062,22	14997725,20	TRUE
50	-23,66	110,14	14786812,90	493,32	-0,21	-49,89	160,03	-99,78	-105,18	3,15	112,88	162,85	-49,98	4881326,07	-1497973,48	15571678,78	14862495,09	TRUE
51	-8,38	122,73	14746360,44	491,97	-0,07	27,89	94,84	55,77	-33,57	3,84	123,33	95,43	27,90	2860493,67	836299,05	15021237,31	14770055,60	TRUE
52	-36,94	116,19	14765776,91	492,62	-0,32	-95,65	211,84	-191,30	-154,09	3,60	122,18	218,43	-96,25	6547263,36	-2885116,11	16152239,01	15045001,25	TRUE
53	-36,80	86,60	14912806,94	497,53	-0,42	-161,98	248,58	-323,96	-205,52	2,05	94,20	259,05	-164,86	7764776,22	-4941370,99	16813196,02	15710154,61	TRUE
54	-24,88	60,23	15245657,25	508,63	-0,41	-174,32	234,55	-348,64	-204,55	0,96	65,20	242,95	-177,75	7282217,64	-5327946,29	16895584,00	16149832,10	TRUE
55	-21,18	85,09	14924438,78	497,91	-0,25	-80,00	165,09	-160,00	-122,69	1,87	87,79	168,13	-80,35	5039582,12	-2408262,09			

Príloha D: -5 °C+vietor+námraza

Pole č.:	h (m)	a (m)	σ_H (Pa)	c (m)	h/ls (l)	x_B (m)	x_A (m)	a_1 (m)	x_C (m)	f_v (m)	l_{AB} (m)	l_{0A} (m)	l_{0B} (m)	σ_{VA} (Pa)	σ_{VB} (Pa)	σ_A (Pa)	σ_B (Pa)	
1	-7,44	188,16	92430644,97	483,64	-0,04	75,08	113,08	150,16	-19,12	9,19	189,50	114,11	75,38	21808332,44	14406800,70	94968560,55	93546673,03	TRUE
2	14,75	131,60	91995697,16	481,37	0,11	119,47	12,13	238,95	53,84	4,53	132,83	12,13	120,70	2317782,61	23068202,63	92024890,18	94843820,41	TRUE
3	6,13	158,37	92249812,52	482,70	0,04	97,78	60,59	195,56	18,68	6,51	159,20	60,75	98,45	11609934,27	18815276,59	92977516,01	94149044,30	TRUE
4	-2,73	55,27	89926634,07	470,54	-0,05	4,42	50,85	8,83	-23,23	0,81	55,37	50,95	4,42	9737836,41	843973,16	90452335,37	89930594,39	TRUE
5	-10,19	44,14	89287830,61	467,20	-0,23	-84,81	128,95	-169,62	-106,92	0,54	45,32	130,59	-85,28	24958343,74	-16297645,25	92710493,57	90763042,79	TRUE
6	-42,53	110,05	91683204,29	479,73	-0,39	-125,66	235,71	-251,33	-181,07	3,39	118,21	245,31	-127,11	46882747,32	-24291653,80	102974763,63	94846688,89	TRUE
7	-30,97	170,15	92331077,71	483,12	-0,18	-1,94	172,09	-3,87	-87,46	7,63	173,81	175,75	-1,94	33588032,32	-370117,18	98250617,44	92331819,53	TRUE
8	-2,15	157,04	92239662,09	482,64	-0,01	71,94	85,10	143,88	-6,61	6,40	157,75	85,54	72,21	16347902,70	13799993,66	93677154,02	93266259,10	TRUE
9	-20,16	74,61	90774636,21	474,98	-0,27	-89,40	164,01	-178,79	-126,83	1,52	77,36	167,28	-89,92	31970444,01	-17185916,43	96240032,57	92387176,07	TRUE
10	-29,56	90,61	91265577,87	477,55	-0,33	-107,63	198,24	-215,25	-153,15	2,26	95,44	203,98	-108,54	38983016,11	-20743271,06	99242537,50	93593210,21	TRUE
11	-20,14	135,32	92038301,54	481,59	-0,15	-3,52	138,84	-7,04	-71,41	4,81	137,25	140,77	-3,52	26903606,48	-672973,43	95889796,08	92040761,86	TRUE
12	-44,85	314,90	92741876,20	485,27	-0,14	89,75	225,15	179,51	-68,88	26,02	323,58	233,31	90,27	44589251,37	17250925,55	102904115,26	94332656,24	TRUE
13	33,11	86,85	91164216,31	477,02	0,38	220,90	-134,05	441,81	177,71	2,12	93,06	-135,83	228,89	-25958198,05	43743146,90	94787880,99	101115662,67	TRUE
14	41,82	113,61	91743884,45	480,05	0,37	229,36	-115,75	458,72	172,94	3,58	121,31	-116,87	238,19	-2236364,80	45520697,09	94423797,46	102416181,33	TRUE
15	40,23	115,39	91772714,17	480,20	0,35	221,52	-106,13	443,03	164,20	3,67	122,46	-106,99	229,46	-20447480,43	43852106,47	94023031,87	101711544,61	TRUE
16	40,32	112,45	91724564,51	479,95	0,36	224,46	-112,01	448,91	168,60	3,50	119,70	-113,02	232,73	-21600621,75	44477409,36	94233659,56	101939372,56	TRUE
17	51,37	178,86	92382488,53	483,39	0,29	225,66	-46,80	451,33	136,99	8,63	187,07	-46,88	233,95	-8958847,59	44711164,87	92815866,84	102633388,58	TRUE
18	27,64	89,67	91240960,93	477,42	0,31	189,55	-99,88	379,10	144,92	2,20	93,96	-100,61	194,57	-19228404,29	37185328,08	93245077,53	98527466,10	TRUE
19	-16,01	218,58	92551504,73	484,27	-0,07	74,15	144,43	148,30	-35,44	12,42	221,02	146,58	74,44	28013747,71	14226392,61	96698247,59	93638513,84	TRUE
20	13,59	47,38	89485066,23	468,23	0,29	156,16	-108,78	312,32	132,53	0,62	49,31	-109,76	159,07	-20976982,46	30400795,11	91910885,49	94508123,57	TRUE
21	-30,15	66,84	90471892,58	473,39	-0,45	-173,31	240,15	-346,61	-206,89	1,29	73,38	250,58	-177,20	47889168,61	-33865997,12	102364719,59	96602635,10	TRUE
22	-42,78	112,51	91725574,34	479,95	-0,38	-121,71	234,22	-243,43	-178,36	3,53	120,61	243,63	-123,02	46561743,84	-23511549,78	102866792,39	94690939,17	TRUE
23	-28,45	86,80	91162815,33	477,01	-0,33	-110,07	196,87	-220,14	-153,67	2,08	91,46	202,51	-111,05	38701772,36	-21222991,69	99037801,28	93600610,44	TRUE
24	-23,99	142,72	92115286,43	481,99	-0,17	-8,99	151,71	-17,98	-80,64	5,37	145,24	154,23	-8,99	29475155,65	-1718348,03	96716135,13	92131312,34	TRUE
25	-27,33	178,28	92379266,42	483,37	-0,15	15,74	162,54	31,48	-73,81	8,34	181,36	165,62	15,74	31652265,84	3008773,09	97651394,24	92428250,98	TRUE
26	25,28	104,47	91579284,95	479,19	0,24	166,86	-62,39	333,73	114,85	2,93	107,69	-62,57	170,26	-11958185,05	32538550,95	92356719,42	97188079,15	TRUE
27	18,18	71,35	90653365,26	474,34	0,25	155,16	-83,81	310,31	119,59	1,38	73,69	-84,24	157,94	-16099976,36	30184100,40	92071938,56	95546389,51	TRUE
28	-17,10	88,33	91205043,91	477,23	-0,19	-47,53	135,86	-95,05	-91,82	2,08	90,09	137,70	-47,60	26316056,43	-9097871,81	94925733,39	91657685,47	TRUE
29	-18,20	104,64	91582620,89	479,20	-0,17	-30,45	135,09	-60,90	-82,93	2,90	106,42	136,89	-30,47	26160958,63	-5823396,87	95245851,39	91767578,16	TRUE
30	19,46	112,72	91729099,64	479,97	0,17	138,63	-25,91	277,26	82,46	3,36	114,64	-25,92	140,56	-4953918,50	26863772,02	91862772,82	95581849,58	TRUE
31	5,56	93,21	91331269,77	477,89	0,06	75,05	18,16	150,10	28,49	2,28	93,52	18,17	75,36	3471602,44	14401989,39	91397225,67	92459819,03	TRUE
32	-30,63	65,12	90398278,28	473,01	-0,47	-182,29	247,41	-364,57	-215,00	1,24	72,01	258,84	-186,83	49468194,82	-35705984,55	103048294,57	97194475,40	TRUE
33	-43,30	113,69	91745201,19	480,06	-0,38	-121,44	235,13	-242,87	-178,68	3,60	121,91	244,64	-122,74	46754134,66	-23456391,08	102971506,01	94696273,55	TRUE
34	-52,96	176,69	92370292,09	483,33	-0,30	-53,67	230,36	-107,34	-142,78	8,45	185,40	239,18	-53,78	45710483,32	-10277862,84	103061724,93	92940332,07	TRUE
35	-11,28	161,32	92271579,07	482,81	-0,07	47,08	114,24	94,17	-33,73	6,77	162,46	115,30	47,16	22036351,98	9012688,61	94866459,37	92710694,43	TRUE
36	23,99	159,70	92259751,23	482,75	0,15	151,77	7,93	303,54	72,25	6,69	162,21	7,93	154,28	1515233,29	29485926,13	92272193,35	96857015,94	TRUE
37	30,35	77,01	90858909,48	475,42	0,39	221,14	-144,13	442,28	182,82	1,68	82,85	-146,35	229,20	-27968988,80	43803375,09	95066322,99	100866630,26	TRUE
38	24,64	64,57	90374208,76	472,88	0,38	208,49	-143,92	416,98	176,34	1,18	69,16	-146,15	215,31	-27931913,34	41149062,65	94592226,91	99301273,74	TRUE
39	-33,72	76,73	90849288,99	475,37	-0,44	-164,13	240,86	-328,27	-202,71	1,69	83,89	251,30	-167,42	48027706,54	-31995396,16	102763096,03	96318734,86	TRUE
40	-25,05	56,48	89989307,32	470,87	-0,44	-174,18	230,66	-348,36	-202,54	0,93	61,82	240,00	-178,18	45866911,82	-34052857,07	101004203,04	96216799,50	TRUE
41	-36,68	150,40	92185612,66	482,36	-0,24	-40,84	191,24	-81,68	-116,50	6,04	155,40	196,29	-40,89	37513988,85	-7814715,97	99526310,80	92516252,45	TRUE
42	24,72	103,40	91558030,35	479,08	0,24	164,95	-61,55	329,91	113,47	2,87	106,51	-61,72	168,23	-11796133,99	32151521,77	92314796,75	97039132,70	TRUE
43	32,70	113,98	91749957,60	480,08	0,29	192,59	-78,61	385,18	135,91	3,52	118,84	-78,96	197,80	-15090340,91	37801453,48	92982649,50	99232074,47	TRUE
44	22,38	128,52	91958234,25	481,17	0,17	147,39	-18,87	294,77	83,37	4,36	130,83	-18,87	149,70	-3606568,00	28610146,11	92028931,21	96306060,60	TRUE
45	21,48	110,16	91685141,97	479,74	0,19	147,84	-37,68	295,68	92,96	3,22	112,47	-37,72	150,19	-7208571,77	28703604,15	91968085,57	96073212,44	TRUE
46	-25,96	105,95	91607957,87	479,34	-0,24	-63,10	169,05	-126,19	-116,30	3,02	109,29	172,57	-63,28	32980974,23	-12093437,70	97364072,46	92402755,26	TRUE
47	-4,27	100,60	91500239,89	478,77	-0,04	30,02	70,58	60,04	-20,32	2,65	100,88	70,83	30,04	13537399,83	5741327,10	92496243,68	91680187,27	TRUE
48	-13,56	91,08	91277711,00	477,61	-0,15	-25,20	116,28	-50,40	-70,85	2,20	92,22	117,43	-25,21	22442898,72	-4818288,50	93996299,02	91404794,35	TRUE
49	5,26	102,22	91534065,34	478,95	0,05	75,70	26,52	151,40	24,63	2,73	102,55	26,54	76,01	5071287,96	14527272,79	91674440,71	92679699,90	TRUE
50	-23,66	110,14	91684789,97	479,74	-0,21	-46,99	157,13	-93,98	-102,28	3,24	112,89	159,95	-47,06	30569288,91	-8994574,77	96646687,14	92124931,95	TRUE
51	-8,38	122,73	91881922,55	480,77	-0,07	28,65	94,08	57,30	-32,80	3,93	123,35	94,68	28,67	18094534,94	5479080,71	93646675,78	92045141,19	TRUE
52	-36,94	116,19	91785358,32	480,27	-0,32	-91,78	207,97	-183,56	-150,23	3,69	122,19	214,53	-92,34	40999489,20	-17647077,92	100526166,33	93466418,36	TRUE
53	-36,80	86,60	91157197,06	476,98	-0,42	-153,48	240,08	-306,96	-197,04	2,14	94,20	250,35	-156,14	47844759,06	-29841033,26	102950257,63	95917265,61	TRUE
54	-24,88	60,23	90175022,20	471,84	-0,41	-159,52	219,75	-319,03	-189,75	1,04	65,20	227,78	-162,57	43531072,36	-31069630,59	100132356,86	95377442,69	TRUE
55	-21,18	85,09	9114029,12	476,75														

Príloha E: -30 °C

Pole č.:	h (m)	a (m)	σ_{Pa}	c (m)	h/ls (l)	x_B (m)	x_A (m)	a_i (m)	x_C (m)	f_r (m)	l_{AB} (m)	l_{0A} (m)	l_{0B} (m)	σ_{VA} (Pa)	σ_{VB} (Pa)	σ_A (Pa)	σ_B (Pa)	
1	-7,44	188,16	16464296,33	549,29	-0,04	72,47	115,69	144,94	-21,71	8,08	189,23	116,55	72,68	3493315,24	2178584,71	16830814,15	16607807,96	TRUE
2	14,75	131,60	19314116,79	644,36	0,11	137,75	-6,15	275,49	72,07	3,38	132,65	-6,15	138,80	-184241,57	4160329,32	19314995,53	19757111,32	TRUE
3	6,13	158,37	17452445,64	582,25	0,04	101,65	56,72	203,29	22,53	5,40	158,98	56,81	102,16	1702894,02	3062270,72	17535327,40	17719067,72	TRUE
4	-2,73	55,27	82694214,09	2758,87	-0,05	-108,58	163,85	-217,16	-136,22	0,14	55,34	163,94	-108,61	4914078,90	-3255371,25	82840094,25	82758265,36	TRUE
5	-10,19	44,14	97566911,59	3255,06	-0,23	-722,86	767,00	-1445,71	-744,93	0,08	45,30	774,11	-728,81	23203216,92	-21845358,70	100288042,72	99982608,15	TRUE
6	-42,53	110,05	22893281,20	763,77	-0,39	-233,01	343,06	-466,02	-288,27	2,13	118,07	354,71	-236,64	10632182,81	-7093127,13	25241743,91	23966951,76	TRUE
7	-30,97	170,15	16980773,05	566,52	-0,18	-17,10	187,25	-34,20	-102,55	6,50	173,58	190,68	-17,10	5715340,80	-512597,63	17916801,44	16988508,17	TRUE
8	-2,15	157,04	17514916,34	584,34	-0,01	70,54	86,50	141,09	-8,00	5,28	157,53	86,81	70,72	2602098,15	2119629,37	17707151,35	17642707,36	TRUE
9	-20,16	74,61	52090056,66	1737,84	-0,27	-426,70	501,31	-853,40	-464,04	0,41	77,29	508,29	-431,00	15235520,71	-12918797,43	54272415,59	53668140,73	TRUE
10	-29,56	90,61	32278655,61	1076,89	-0,33	-299,96	390,57	-599,93	-345,37	1,00	95,34	399,19	-303,86	11965371,56	-9107797,31	34425015,97	33538985,97	TRUE
11	-20,14	135,32	18952433,85	632,30	-0,15	-25,92	161,24	-51,85	-93,76	3,66	137,07	163,00	-25,93	4885700,73	-777287,62	19572041,80	18968366,42	TRUE
12	-44,85	314,90	15180512,71	506,46	-0,14	86,70	228,20	173,39	-71,89	24,91	323,12	236,00	87,12	7073976,74	2611350,70	16747809,20	15403477,49	TRUE
13	33,11	86,85	35755563,64	1192,89	0,38	487,75	-400,90	975,49	444,41	0,85	92,97	-408,49	501,45	-12243919,07	15030453,25	37793833,96	38786271,49	TRUE
14	41,82	113,61	22039974,30	735,30	0,37	321,45	-207,84	642,90	264,90	2,34	123,17	-210,62	331,79	-6313127,05	9945030,34	229266317,64	24179828,28	TRUE
15	40,23	115,39	21665889,72	722,82	0,35	304,61	-189,22	609,21	247,16	2,44	122,32	-191,38	313,70	-5736539,90	9402882,95	22412466,79	23618318,85	TRUE
16	40,32	112,45	22301600,48	744,03	0,36	317,36	-204,91	634,71	261,37	2,26	119,56	-207,51	327,07	-6219807,75	9803518,37	23152697,30	24361247,02	TRUE
17	51,37	178,86	16706313,75	557,36	0,29	246,73	-67,87	493,45	157,96	7,48	186,83	-68,04	254,86	-2039281,85	7639299,70	16830317,57	18370079,45	TRUE
18	27,64	89,67	33077572,62	1103,54	0,31	379,73	-290,06	759,47	334,99	0,95	93,86	-293,42	387,27	-8794854,33	11608114,23	34226823,96	35055300,98	TRUE
19	-16,01	218,58	15913414,51	530,91	-0,07	70,71	147,87	141,42	-38,85	11,32	220,71	149,79	70,92	4489756,58	2125748,69	16534650,76	16054767,80	TRUE
20	13,59	47,38	93542125,01	3120,78	0,29	906,97	-859,59	1813,95	883,29	0,09	49,29	-870,50	919,80	-26092470,47	27569914,36	97113058,68	97520404,68	TRUE
21	-30,15	66,84	64641710,73	2156,60	-0,45	-909,05	975,89	-1818,09	-942,50	0,28	73,33	1009,53	-936,21	30259697,79	-28061773,98	71373663,14	70469950,51	TRUE
22	-42,78	112,51	22287700,31	743,57	-0,38	-219,82	332,33	-439,64	-276,33	2,28	120,47	343,50	-223,03	10296145,79	-6685211,58	24551012,26	23268726,63	TRUE
23	-28,45	86,80	35806977,20	1194,60	-0,33	-341,38	428,18	-682,75	-384,86	0,83	91,36	437,40	-346,04	13110671,44	-10372200,69	38131736,41	37278977,50	TRUE
24	-23,99	142,72	18354144,32	612,34	-0,17	-30,86	173,58	-61,72	-102,45	4,22	145,04	175,91	-30,87	5272853,23	-925400,96	19096533,58	18377458,49	TRUE
25	-27,33	178,28	16723012,23	557,92	-0,15	4,30	173,98	8,60	-85,20	7,22	181,11	176,81	4,30	5299726,29	128957,67	17542697,54	16723509,45	TRUE
26	25,28	104,47	24595296,57	820,56	0,24	248,78	-144,31	497,55	196,67	1,71	107,55	-145,05	252,61	-4347783,88	7571594,82	24976625,84	25734367,32	TRUE
27	18,18	71,35	57297762,38	1911,59	0,25	517,60	-446,25	1035,20	481,95	0,34	73,63	-450,31	523,95	-13497633,93	15704727,72	58866116,70	59411043,13	TRUE
28	-17,10	88,33	34296327,21	1144,20	-0,19	-175,93	264,26	-351,86	-220,15	0,87	89,99	266,61	-176,62	7991499,61	-5294098,04	35215083,79	34702529,22	TRUE
29	-18,20	104,64	24535351,98	818,56	-0,17	-89,25	193,89	-178,49	-141,66	1,70	106,28	195,71	-89,42	5866068,81	-2680401,93	25226855,93	24681330,01	TRUE
30	19,46	112,72	22239371,98	741,96	0,17	183,70	-70,98	367,40	127,46	2,17	114,49	-71,09	185,58	-2130867,32	5562714,17	22341223,37	22924516,46	TRUE
31	5,56	93,21	30294046,86	1010,68	0,06	106,84	-13,63	213,67	60,25	1,08	93,41	-13,63	107,03	-408414,88	3208241,46	30296799,80	30463454,97	TRUE
32	-30,63	65,12	67432336,70	2249,70	-0,47	-990,00	1055,12	-1980,00	-1022,59	0,26	71,97	1094,23	-1022,26	32798403,77	-30641297,93	74985700,79	74067598,66	TRUE
33	-43,30	113,69	22022469,56	734,72	-0,38	-216,36	330,05	-432,72	-273,47	2,35	121,76	341,27	-219,50	10229064,51	-6579359,90	24282152,42	22984280,33	TRUE
34	-52,96	176,69	16769867,60	559,48	-0,30	-76,27	252,96	-152,54	-165,28	7,29	185,16	261,67	-76,51	7843204,92	-2293209,38	18513355,25	16925934,79	TRUE
35	-11,28	161,32	17321246,31	577,88	-0,07	40,42	120,90	80,83	-40,37	5,65	162,24	121,79	40,45	3650452,24	1212430,03	17701733,68	17363627,51	TRUE
36	23,99	159,70	17392077,91	580,24	0,15	166,42	-6,72	332,83	86,84	5,56	161,99	-6,72	168,71	-201343,18	5056847,25	17393243,31	18112318,41	TRUE
37	30,35	77,01	48398505,13	1614,69	0,39	659,39	-582,38	1318,77	620,94	0,49	82,78	-595,08	677,87	-17837046,72	20318337,20	51580767,10	52490476,53	TRUE
38	24,64	64,57	68320009,17	2279,31	0,38	882,21	-817,64	1764,42	849,95	0,24	69,11	-835,29	904,40	-25036947,88	27108556,35	72763125,36	73501683,52	TRUE
39	-33,72	76,73	48820689,65	1628,77	-0,44	-656,12	732,85	-1312,24	-694,54	0,49	83,82	757,83	-674,01	22715049,90	-20202664,09	53846385,49	52835663,85	TRUE
40	-25,05	56,48	80909559,23	2699,33	-0,44	-1132,81	1189,29	-2265,62	-1161,07	0,16	61,79	1228,14	-1166,36	36812300,50	-34960305,81	88890394,54	88139547,06	TRUE
41	-36,68	150,40	17862149,40	595,92	-0,24	-68,36	218,76	-136,72	-143,93	4,89	155,20	223,70	-68,51	6705296,91	-2053449,12	19079239,71	17979795,17	TRUE
42	24,72	103,40	24986251,22	833,60	0,24	249,01	-145,61	498,03	197,44	1,65	106,38	-146,36	252,73	-4386869,53	7575449,08	25368432,63	26109388,71	TRUE
43	32,70	113,98	21959577,76	732,62	0,29	264,19	-150,21	528,38	207,40	2,31	118,69	-151,26	269,95	-4533957,74	8091520,53	22422752,47	23402900,68	TRUE
44	22,38	128,52	19652268,38	655,64	0,17	177,68	-49,16	355,36	113,60	3,20	130,66	-49,21	179,87	-1474973,57	5391275,52	19707541,70	20378358,73	TRUE
45	21,48	110,16	22864556,62	762,81	0,19	202,77	-92,61	405,53	147,81	2,03	112,33	-92,83	205,16	-2782618,59	6149551,42	23033256,73	23677097,21	TRUE
46	-25,96	105,95	24092179,76	803,77	-0,24	-141,91	247,86	-283,82	-195,02	1,80	109,16	251,81	-142,65	7547597,07	-4275684,22	25246769,04	24468645,27	TRUE
47	-4,27	100,60	26132641,35	871,85	-0,04	13,33	87,27	26,65	-36,99	1,45	100,75	87,42	13,33	2620322,02	399444,11	26263682,74	26135693,97	TRUE
48	-13,56	91,08	31895935,81	1064,12	-0,15	-112,26	203,34	-224,52	-157,85	0,99	92,11	204,58	-112,47	6132039,93	-3371098,02	32480034,41	32073587,63	TRUE
49	5,26	102,22	25446403,08	848,95	0,05	94,75	7,47	189,50	43,67	1,54	102,42	7,47	94,95	223926,47	2845913,39	25447388,33	25605051,31	TRUE
50	-23,66	110,14	22869767,18	762,99	-0,21	-107,46	217,60	-214,92	-162,67	2,03	112,75	220,56	-107,81	6611078,31	-3231630,61	23806146,42	23096962,73	TRUE
51	-8,38	122,73	20406379,66	680,80	-0,07	14,98	107,75	29,96	-46,45	2,77	123,18	108,20	14,98	3243238,33	449001,83	20662500,47	20411318,76	TRUE
52	-36,94	116,19	21507709,53	717,55	-0,32	-166,12	282,31	-332,23	-224,45	2,47	122,04	289,65	-167,61	8681865,09	-5023789,80	23193886,06	22086648,30	TRUE
53	-36,80	86,60	36014024,31	1201,51	-0,42	-452,93	539,53	-905,87	-496,34	0,85	94,11	557,85	-463,74	16720958,21	-13900053,10	39706427,57	38603386,17	TRUE
54	-24,88	60,23	75201479,00	2508,89	-0,41	-978,83	1039,06	-1957,65	-1008,96	0,20	65,17	1069,02	-1003,85	32042626,23	-30089289,91	81743454,41	80997702,51	TRUE
55	-21,18	85,09	37649357,5															

Príloha F: +40 °C+vietor

Pole č.:	h (m)	a (m)	σ_H (Pa)	c (m)	h/ls (l)	x_B (m)	x_A (m)	a_i (m)	x_C (m)	f_v (m)	l_{AB} (m)	l_{BA} (m)	l_{BB} (m)	σ_{VA} (Pa)	σ_{VB} (Pa)	σ_A (Pa)	σ_B (Pa)	
1	-7,44	188,16	32467438,55	480,14	-0,04	75,22	112,94	150,44	-18,98	9,25	189,51	113,98	75,53	7707710,04	5107355,83	33369797,12	32866695,14	TRUE
2	14,75	131,60	32075409,64	474,34	0,11	118,69	12,91	237,37	53,05	4,60	132,84	12,92	119,93	873424,64	8109642,14	32087299,27	33084712,47	TRUE
3	6,13	158,37	32308363,40	477,78	0,04	97,59	60,78	195,18	18,49	6,58	159,21	60,94	98,27	4121142,30	6645108,75	32570142,14	32984660,31	TRUE
4	-2,73	55,27	29626758,98	438,13	-0,05	6,02	49,25	12,03	-21,63	0,87	55,37	49,36	6,02	3337549,74	406907,99	29814159,15	29629553,18	TRUE
5	-10,19	44,14	28567229,55	422,46	-0,23	-74,57	118,71	-149,14	-96,68	0,59	45,32	120,28	-74,96	8133239,80	-5068610,85	29702461,07	29013400,69	TRUE
6	-42,53	110,05	31772687,06	469,86	-0,39	-121,93	231,98	-243,86	-177,34	3,46	118,22	241,52	-123,30	16331967,66	-8337985,10	35724456,75	32848525,66	TRUE
7	-30,97	170,15	32380517,96	478,85	-0,18	-1,16	171,31	-2,32	-86,68	7,70	173,83	174,99	-1,16	11832870,59	-78428,99	34474842,57	32380612,94	TRUE
8	-2,15	157,04	3229273,04	477,65	-0,01	72,01	85,03	144,02	-6,54	6,47	157,76	85,48	72,28	5780239,40	4887882,71	32812409,34	32667023,69	TRUE
9	-20,16	74,61	30772306,52	455,07	-0,27	-84,07	158,68	-168,15	-121,51	1,58	77,37	161,92	-84,55	10949255,91	-5717645,05	32662226,71	31298982,63	TRUE
10	-29,56	90,61	31337009,31	463,42	-0,33	-103,09	193,70	-206,18	-148,62	2,33	95,45	199,39	-103,94	13482851,20	-7028598,26	34114446,04	32115562,36	TRUE
11	-20,14	135,32	32115263,45	474,93	-0,15	-2,53	137,85	-5,06	-70,43	4,88	137,26	139,79	-2,53	9453057,10	-171112,14	33477610,95	32115719,29	TRUE
12	-44,85	314,90	32729066,29	484,01	-0,14	89,94	224,96	179,87	-68,70	26,09	323,61	233,15	90,45	15766094,64	6116576,62	36328522,13	33295709,78	TRUE
13	33,11	86,85	31225369,22	461,77	0,38	215,22	-128,37	430,43	172,03	2,19	93,07	-130,03	223,09	-8792530,56	15085832,31	32439671,34	34678610,40	TRUE
14	41,82	113,61	31832947,60	470,75	0,37	226,00	-112,39	452,01	169,59	3,66	121,32	-113,46	234,79	-7672615,08	15876526,45	32744550,31	35572470,33	TRUE
15	40,23	115,39	31861322,46	471,17	0,35	218,42	-103,03	436,84	161,11	3,74	122,47	-103,85	226,33	-7022777,62	15304649,57	32626113,38	35346515,63	TRUE
16	40,32	112,45	31813840,78	470,47	0,36	221,12	-108,67	442,24	165,27	3,57	119,71	-109,64	229,35	-7413860,39	15508949,36	32666279,12	35392767,28	TRUE
17	51,37	178,86	32425600,30	479,52	0,29	224,56	-45,70	449,12	135,89	8,70	187,09	-45,77	232,86	-3095007,66	15746216,83	32572973,87	36046676,67	TRUE
18	27,64	89,67	31310119,20	463,02	0,31	185,18	-95,51	370,35	140,55	2,27	93,97	-96,18	190,15	-6504127,60	12858307,77	31978543,43	33847594,34	TRUE
19	-16,01	218,58	32570812,12	481,67	-0,07	74,34	144,24	148,68	-35,25	12,45	221,04	146,40	74,64	9899997,28	5047064,59	34042146,65	32959530,69	TRUE
20	13,59	47,38	28917036,60	427,63	0,29	144,66	-97,28	289,33	121,04	0,68	49,31	-98,13	147,44	-6635423,78	9970083,13	29668566,78	30587539,35	TRUE
21	-30,15	66,84	30390997,72	449,43	-0,45	-162,82	229,66	-325,65	-196,42	1,36	73,38	239,79	-166,41	16215018,72	-11252869,19	34446182,86	32407402,65	TRUE
22	-42,78	112,51	31814841,31	470,49	-0,38	-118,19	230,70	-236,38	-174,84	3,60	120,62	240,06	-119,44	16232862,13	-8076421,61	35716801,93	32823965,53	TRUE
23	-28,45	86,80	30622855,13	461,75	-0,33	-105,15	191,95	-210,29	-148,76	2,15	91,47	197,52	-106,06	13356680,15	-7171700,61	33960670,69	32036846,58	TRUE
24	-23,99	142,72	32186452,61	475,98	-0,17	-7,98	150,70	-15,96	-79,64	5,43	145,25	153,23	-7,98	10361733,66	-539744,20	33813211,27	32190977,86	TRUE
25	-27,33	178,28	32422787,52	479,48	-0,15	16,34	161,94	32,68	-73,22	8,41	181,38	165,04	16,34	11160042,43	1105069,93	34289702,50	32441614,17	TRUE
26	25,28	104,47	31667756,60	468,31	0,24	164,25	-59,78	328,51	112,25	3,00	107,70	-59,95	167,64	-4053559,12	11336084,96	31926135,84	33635600,64	TRUE
27	18,18	71,35	30622855,13	452,86	0,25	149,73	-78,38	299,47	114,18	1,45	73,70	-78,78	152,48	-5326961,45	10310731,10	31082724,69	32312078,73	TRUE
28	-17,10	88,33	31270630,06	462,44	-0,19	-44,68	133,01	-89,35	-88,97	2,15	90,10	134,85	-44,75	9118545,23	-3025744,67	32572997,59	31416674,48	TRUE
29	-18,20	104,64	31671159,54	468,36	-0,17	-28,57	133,21	-57,14	-81,06	2,97	106,43	135,01	-28,59	9129761,00	-1933136,03	32960808,28	31730101,82	TRUE
30	19,46	112,72	31818332,53	470,54	0,17	137,00	-24,28	274,01	80,84	3,43	114,65	-24,30	138,95	-1642869,46	9395863,99	31860717,27	33176626,49	TRUE
31	5,56	93,21	31408080,89	464,47	0,06	74,25	18,96	148,50	27,69	2,34	93,53	18,97	74,56	1282587,66	5042154,20	31434258,00	31810232,07	TRUE
32	-30,63	65,12	30293975,98	448,00	-0,47	-170,91	236,03	-341,81	-203,63	1,31	72,02	247,10	-175,08	16709128,52	-11839327,57	34596530,99	32525292,59	TRUE
33	-43,30	113,69	31834247,13	470,77	-0,38	-117,97	231,66	-235,95	-175,22	3,68	121,91	241,13	-119,21	16305285,24	-8061248,24	35767046,52	32839047,08	TRUE
34	-52,96	176,69	32414944,35	479,36	-0,30	-52,49	229,18	-104,98	-141,61	8,52	185,42	238,01	-52,60	16094651,98	-3556576,65	36190695,48	32609474,92	TRUE
35	-11,28	161,32	32327798,08	478,07	-0,07	47,42	113,90	94,83	-33,40	6,84	162,48	114,98	47,49	7775367,01	3211628,36	33249704,68	32486937,16	TRUE
36	23,99	159,70	32317247,27	477,92	0,15	151,05	8,65	302,09	71,52	6,76	162,23	8,65	153,57	585257,91	10384777,17	32322546,28	33944779,69	TRUE
37	30,35	77,01	30873711,37	456,57	0,39	213,88	-136,87	427,77	175,58	1,75	82,86	-138,93	221,79	-9394768,10	14997845,89	32271469,16	34323773,62	TRUE
38	24,64	64,57	30261865,82	447,52	0,38	199,03	-134,46	398,05	166,88	1,25	69,16	-136,49	205,65	-9229520,02	13906471,93	31638024,00	33304211,21	TRUE
39	-33,72	76,73	30862234,31	456,40	-0,44	-156,04	232,77	-312,07	-194,62	1,76	83,90	242,99	-159,09	16431292,10	-10758192,29	34963765,05	32683577,03	TRUE
40	-25,05	56,48	29720341,15	439,51	-0,44	-160,69	217,17	-321,37	-189,05	0,99	61,82	226,11	-164,29	15289915,12	-11109475,90	33422749,48	31728837,56	TRUE
41	-36,68	150,40	32250572,96	476,93	-0,24	-39,52	189,92	-79,05	-115,19	6,11	155,41	194,98	-39,57	13185099,17	-2675779,97	34841732,11	32361385,24	TRUE
42	24,72	103,40	31646020,57	467,99	0,24	162,32	-58,92	324,65	110,84	2,94	106,52	-59,08	165,60	-3994958,14	11197874,49	31897183,39	33568780,30	TRUE
43	32,70	113,98	31838938,51	470,84	0,29	189,97	-75,99	379,93	133,29	3,59	118,85	-76,32	195,16	-5160668,13	13197160,14	32254464,82	34465679,18	TRUE
44	22,38	128,52	32040092,11	473,82	0,17	146,11	-17,59	292,22	82,10	4,43	130,84	-17,59	148,44	-1189642,03	10037376,87	32062170,09	33575533,31	TRUE
45	21,48	110,16	31774622,71	469,89	0,19	145,93	-35,77	291,85	91,05	3,29	112,48	-35,80	148,28	-2420955,57	10027156,62	31866717,34	33319221,45	TRUE
46	-25,96	105,95	31696929,97	468,74	-0,24	-60,52	166,47	-121,04	-113,73	3,09	109,30	169,99	-60,69	11495068,09	-4103848,35	33716938,77	31961491,53	TRUE
47	-4,27	100,60	31586439,80	467,11	-0,04	30,52	70,08	61,04	-19,82	2,71	100,88	70,35	30,54	4756857,06	2065107,16	31942618,37	31653875,70	TRUE
48	-13,56	91,08	31350210,91	463,61	-0,15	-23,12	114,20	-46,24	-68,77	2,26	92,23	115,36	-23,13	7800737,93	-1564111,39	32306148,59	31389204,65	TRUE
49	5,26	102,22	31621398,99	467,63	0,05	75,11	27,11	150,23	24,05	2,80	102,56	27,12	75,44	1833933,34	5101206,71	31674535,28	32030222,97	TRUE
50	-23,66	110,14	31774271,14	469,89	-0,21	-44,88	155,02	-89,77	-100,18	3,30	112,90	157,85	-44,95	10674088,36	-3039696,53	33519255,19	31919336,79	TRUE
51	-8,38	122,73	31967346,77	472,74	-0,07	29,20	93,53	58,40	-32,25	4,00	123,36	94,14	29,22	6365849,88	1975899,77	32595019,63	32028353,68	TRUE
52	-36,94	116,19	31873715,77	471,36	-0,32	-88,99	205,18	-177,97	-147,44	3,76	122,20	211,72	-89,51	14316495,84	-6053087,75	34941319,53	32443391,14	TRUE
53	-36,80	86,60	31217547,42	461,65	-0,42	-147,14	233,74	-294,28	-190,71	2,21	94,21	243,86	-149,65	16489883,55	-10119181,78	35305120,40	32816658,98	TRUE
54	-24,88	60,23	29988459,01	443,48	-0,41	-148,10	208,33	-296,20	-178,35	1,11	65,21	216,08	-150,87	14611528,50	-10201998,27	33358723,58	31676307,27	TRUE
55	-21,18	85,09	31169180,42	460,94	-0,25	-70,88	155,97	-147,76	-113,58	2,02	87,80	15						