


Výpočet mechanických účinků zkratu na zařízení VN, VVN

 SPIE Elektrovod, a.s. Odštěpný závod Brno	Zodp. projektant:	Ing. Mitrič	Datum:	Paré:
	Prověřil:	Ing. Pek	05/2023	
	Vypracoval:	Ing. Mitrič	Číslo stavby:	
	Zakázkové číslo:	2 21 22 058	102 0002 865	
Stavba: TR Humpolec - modernizace				Příloha: D.2.1.09-05
Soubor: PS09 - Rozvodna 110 kV - technologie				
Název: Výpočet mechanických účinků		Stupeň: DPS		

Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jed.	Poznámky
Počáteční souměrný rázový zkratový proud	I_{k3}''	6,3	kA	3-fázový
Maximální rázový zkratový proud	I_{p3}	16,13	kA	3-fázový
Koeficient souměrného rázového zkratového proudu	k	1,81	-	dle ČSN EN 60909-1
Maximální síla na střední vodič	F_{m3}	0,124	kN	
Zjednodušená metoda (dle ČSN EN 60865-1)				
Ohybové namáhání ve vodiči bez vlivu automatického 3f OZ				
Výsledný součin koeficientů	$V_{\sigma} \cdot V_r$	1,0	-	
Maximální ohybové namáhání	σ_m	2,5	$N \cdot mm^{-2}$	
Mez kluzu	σ_{tot}	160,8	$N \cdot mm^{-2}$	$\sigma_{tot} = q \cdot R_{p0,2min}$
pokud $\sigma_{tot} \geq \sigma_m$				
160,8 \geq 2,5	VYHOVUJE			
Je splněna podmínka dle ČSN EN 60865-1 rov.(11).TRUBKOVÝ VODIČ VYHOVUJE ZKRATOVÉMU PROUDU.				
Ohybové síly na podpěrkách bez vlivu automatického 3f OZ				
Výsledný součin koeficientů	$V_F \cdot V_r$	2,70	-	
Dynamická síla na Q1 - pevně	F_{dA}	0,167	kN	
Dynamická síla na QM - kluzně	F_{dB}	0,17	kN	
Ohybový moment konstrukce v patě Q1	M_{IA}	0,23	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě podpěrky A	M_{SA}	0,63	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě QM	M_{IB}	0,23	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě podpěrky B	M_{SB}	0,53	kNm	
Ohybové namáhání ve vodiči způsobené 3f OZ				
Výsledný součin koeficientů	$V_{\sigma} \cdot V_r$	1,8	-	
Maximální ohybové namáhání	σ_m	4,54	$N \cdot mm^{-2}$	
Mez kluzu	σ_{tot}	160,8	$N \cdot mm^{-2}$	$\sigma_{tot} = q \cdot R_{p0,2min}$
pokud $n_0 \geq \sigma_m$				
160,8 \geq 4,5	VYHOVUJE			
Je splněna podmínka dle ČSN EN 60865-1 rov.(11).TRUBKOVÝ VODIČ VYHOVUJE ZKRATOVÉMU PROUDU.				

Ohybové síly na podpěrkách způsobené 3f OZ				
Výsledný součin koeficientů	$V_F \cdot V_r$	2,70	-	
Dynamická síla na Q1 - pevně	F_{dA}	0,167	kN	
Dynamická síla na QM - kluzně	F_{dB}	0,17	kN	
Ohybový moment konstrukce v patě Q1	M_{IA}	0,23	kNm	
Ohybový moment konstrukce patě podpěrky A	M_{SA}	0,63	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě QM	M_{IB}	0,23	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě podpěrky B	M_{SB}	0,53	kNm	

Podrobná metoda (dle ČSN EN 60865-1)				
Ohybové namáhání ve vodiči bez vlivu automatického 3f OZ				
Vlastní kmitočet hlavního vodiče	f_c	8,885	Hz	
Výsledný součin koeficientů	$V_F \cdot V_r$	0,66	-	
Maximální ohybové namáhání	σ_m	1,656	N.mm ⁻²	$\sigma_{tot} = q \cdot R_{p0,2min}$
Mez kluzu	σ_{tot}	160,8	N.mm ⁻²	
pokud $\sigma_{tot} \geq \sigma_m$				
160,8 \geq 1,7		VYHOVUJE		
Je splněna podmínka dle ČSN EN 60865-1 rov.(11).TRUBKOVÝ VODIČ VYHOVUJE ZKRATOVEMU PROUDU.				

Ohybové síly na podpěrkách bez vlivu automatického 3f OZ				
Výsledný součin koeficientů	$V_F \cdot V_r$	0,73	-	
Dynamická síla na Q1 - pevně	F_{dA}	0,046	kN	
Dynamická síla na QM - kluzně	F_{dB}	0,05	kN	
Ohybový moment konstrukce v patě Q1	M_{IA}	0,06	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě podpěrky A	M_{SA}	0,17	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě QM	M_{IB}	0,06	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě podpěrky B	M_{SB}	0,14	kNm	

Ohybové namáhání ve vodiči způsobené 3f OZ				
Výsledný součin koeficientů	$V_F \cdot V_r$	0,96	-	
Maximální ohybové namáhání	σ_m	2,42	N.mm ⁻²	$\sigma_{tot} = q \cdot R_{p0,2min}$
Mez kluzu	σ_{tot}	160,8	N.mm ⁻²	
pokud $\sigma_{tot} \geq \sigma_m$				
160,8 \geq 2,4		VYHOVUJE		
Je splněna podmínka dle ČSN EN 60865-1 rov.(11).TRUBKOVÝ VODIČ VYHOVUJE ZKRATOVEMU PROUDU.				

Ohybové síly na podpěrkách způsobené 3f OZ				
Výsledný součin koeficientů	$V_F \cdot V_r$	1,07	-	
Dynamická síla na Q1 - pevně	F_{dA}	0,067	kN	
Dynamická síla na QM - kluzně	F_{dB}	0,07	kN	
Ohybový moment konstrukce v patě Q1	M_{IA}	0,09	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě podpěrky A	M_{SA}	0,25	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě QM	M_{IB}	0,09	kNm	
Ohybový moment konstrukce v patě podpěrky B	M_{SB}	0,21	kNm	

Vyhodnocení výsledků				
Název	Ozn.	Zjednodušená metoda	Podrobná metoda	Jed.
a) bez 3f OZ				
Vypočítané maximální ohybové napětí	σ_m	2,524	1,656	N.mm ⁻²
Podpěrný bod A vč. (Q1) musí vydržet nárazovou (dynamickou) ohybovou sílu	F_{dA}	0,167	0,051	kN
Podpěrný bod B vč. (QM) musí vydržet nárazovou (dynamickou) ohybovou sílu	F_{dB}	0,167	0,051	kN
Minimální zaručená pevnost pod-ného bodu B (koef. bezpečnosti) 1,3	F_{dBm}	0,217	0,066	kN
b) s vlivem 3f OZ				
Vypočítané maximální ohybové napětí	σ_m	4,543	2,420	N.mm ⁻²
Podpěrný bod A vč. (Q1) musí vydržet nárazovou (dynamickou) ohybovou sílu	F_{dA}	0,167	0,075	kN
Podpěrný bod B vč. (QM) musí vydržet nárazovou (dynamickou) ohybovou sílu	F_{dB}	0,167	0,075	kN
Minimální zaručená pevnost pod-ného bodu B (koef. bezpečnosti) 1,3	F_{dBm}	0,217	0,097	kN

Celkové zatížení s vlivem 3f OZ				
Celkové zatížení Q1 (bod A)	F_{st+dA}	0,416	0,323	kN
Celkové zatížení QM (bod B)	F_{st+dBm}	0,466	0,346	kN

Závěr				
Výpočet mechanických účinků na zařízení VVN a ZVN s trubkovými vodiči při působení zkratového proudu s vlivem a bez vlivu třířázového opětovného zapnutí proveden dle normy ČSN EN 60865-1.				
Výpočtem bylo ověřeno, že trubkový vodič 100 / 5 VYHOVUJE počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu 6,3 kA. Podpěrný bod A VYHOVUJE ,podpěrný bod B VYHOVUJE nárazové (dynamické) ohybové síle vyvolané třířázovým zkratovým proudem s vlivem OZ vypočítané podrobnou metodou.				

Výpočet mechanických účinků zkratu na zařízení VVN a ZVN s ohebnými vodiči

1. Technické parametry

Soustava	3PE110000 VAC T10
Nejvyšší provozní napětí	$U_m = 123$ kV
Jmenovité napětí	$U_n = 110$ V
Frekvence	$f = 50$ Hz
Proud přípojníc jmen.	$I_n = 1000$ A
Počáteční zkrat. proud	$I_{k3} = 6,3$ kA
Nárazový zkrat. proud	$I_{dyn} = 16$ kA
Doba trvání zkratu	$T_{k1} = 1$ s
Prostředí	AB8
Námrazová oblast	N2
Větrová oblast	III.
Rozpětí	$l_r = 26$ m
Délka izolátoru	$l_i = 2,4$ m
Rozpětí lana	$l_c = 21,2$ m
Fázová rozteč počátek	$a_m = 2,3$ m
Fázová rozteč konec	$a_m = 2,3$ m

Ohebný vodič (lano)

Typ vodiče	758 A143 ST1A
Počet lan ve svazku	$n = 1$ -
Rozteč svazku	$a_s =$ m
Vzdálenost rozperek	$l_s =$ m
Průměr vodiče	$d_s = 36,50$ mm
Proudová zátěž (80 °C)	$I_{n80} = 1008$ A

Přípojnice WA, WB

Počáteční teplota lana	$\Theta_b = 80$ °C
Maximální teplota lana	$\Theta_e = 180$ °C
Statická síla při -30 °C	$F_{st-30} = 6,66$ kN
Statická síla při 80 °C	$F_{st80} = 2,99$ kN

Přidavné zatížení

Počet připojení	n _c = 3		ks
	vzdál. [m]	hmotnost [kg]	
Připojení I	1,2	7	
Připojení II	10,2	7	
Připojení III	19,2	7	
Připojení IV			
Připojení V			
Průměrná vzdálenost	7.65	21	

Dov. průhyb při 80 °C	$f_m = 0,85$ m
Průřez lana	$A_s = 801,2$ mm ²
Hmotnost jednotková	$m'_s = 2,4317$ kg.m ⁻¹
Modul pružnosti	$E = 62\,300$ MPa
Pérová konstanta	$S = 150$ Nmm ⁻¹

(jeden dílčí vodič)

2. Výpočet (dle ČSN EN 60865-1 idt. IEC 865-1:1993)

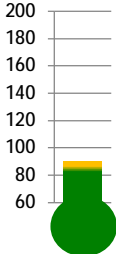
Konstanty	Ozn.	Hodnota	Jednotka	Poznámky
Tíhové zrychlení	g_n	9,81341	m.s ⁻²	průměrná hodnota ČR
Permeabilita vakua	μ_0	1,26E-06	H.m ⁻¹	
Koeficient teplotní roztažnosti	C_{th}	2,70E-19	m ⁴ .A ⁻² .s ⁻¹	
Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jednotka	Poznámky
Charakteristické rozměry a parametry:				
Elektromotorická síla na jednotku délky při -30 °C	F'_{-30}	2,11	N.m ⁻¹	
Elektromotorická síla na jednotku délky při 80 °C	F'_{80}	2,11	N.m ⁻¹	
Celková hmotnost na jednotku délky	m'_{s-30}	3,42	kg.m ⁻¹	
Celková hmotnost na jednotku délky	m'_{s80}	3,42	kg.m ⁻¹	
Směr výslednice síly	δ_{-30}	3,60	°	
Směr výslednice síly	δ_{80}	3,60	°	
Ekvivalentní statický průhyb při -30 °C	$f_{es,-30}$	0,43	m	
Ekvivalentní statický průhyb při 80 °C	$f_{es,80}$	0,95	m	
Doba mechanického kmitu při -30 °C	T_{-30}	1,17	s	
Doba mechanického kmitu při 80 °C	T_{80}	1,75	s	
Výsledná doba kmitu vodiče během zkratu při -30 °C	T_{res-30}	1,17	s	
Výsledná doba kmitu vodiče během zkratu při 80 °C	$T_{res 80}$	1,75	s	
Úhel vychýlení na konci zkratu při -30 °C	δ_{k-30}	7,2	°	
Úhel vychýlení na konci zkratu při 80 °C	$\delta_{k 80}$	7,2	°	
Maximální úhel vychýlení při -30 °C	δ_{m-30}	8,99	°	
Maximální úhel vychýlení při 80 °C	$\delta_{m 80}$	8,99	°	
Tahová síla způsobená vychýlením vodičů během zkratu:				
Součinitel ψ při -30 °C	ψ_{-30}	0,42	-	
Součinitel ψ při 80 °C	ψ_{80}	0,88	-	
Tahová síla při teplotě -30 °C	F_{t-30}	6,68	kN	
Tahová síla při teplotě 80 °C	$F_{t 80}$	3,00	kN	
Maximální tahová síla při zkratu	F_{tmax}	6,68	kN	

Tahová síla po zkratu způsobená poklesem rozpětí vodičů:				
Tahová síla po zkratu (jestliže $r > 0,6$ a $\delta_m \geq 70^\circ$)				
Tahová síla po zkratu při teplotě -30°C	F_{f-30}	--	kN	8,55 kN
Tahová síla po zkratu při teplotě 80°C	F_{f80}	--	kN	5,72 kN
Maximální tahová síla po zkratu	F_{fmax}	--	kN	
Horizontální výchylka rozpětí a minimální vzdušná vzdálenost:				
Pružné prodloužení při 80°C	ϵ_{ela}	4,83E-06	-	
Tepelné prodloužení vodiče při 80°C	ϵ_{th}	7,29E-06	-	
Součinitel respektující zvětšení průhybu vodiče	C_D	1,00	-	
Součinitel respektující zvětšení dynamického průhybu vodiče	C_F	1,05	-	
Maximální horizontální výchylka rozpětí	b_h	0,06	m	
Min. vzdušná vzdálenost mezi osami svazku 2 soused. fází	a_{min}	2,17	m	
Pro konstrukce, izolátory a spoje počítáme s max. hodnotou zatížení 6,68 kN				
Horizontální výchylka 0,06 m. Minimální vzdušná vzdálenost 2,17 m, což je více než 0,55 m.				

Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jednotka	Poznámky
Kontrakční síly svazku:				
Součinitel v_1 při -30°C	V_{1-30}	--	-	
Součinitel v_1 při 80°C	V_{180}	--	-	
Součinitel v_2 při -30°C	V_{2-30}	--	-	
Součinitel v_2 při 80°C	V_{280}	--	-	
Součinitel v_3	V_3	--	-	
Zkratová síla při -30°C	F_{v-30}	0	kN	
Zkratová síla při 80°C	F_{v80}	0	kN	
V obou případech NENÍ $j \geq 1$ proto tak NEDOCHÁZÍ k účinnému sevření vodičů.				
Tahová síla v případě účinného sevření při -30°C	F_{pi-30}	--	kN	
Tahová síla v případě účinného sevření při 80°C	F_{pi80}	--	kN	
Tahová síla v případě kdy nedojde k sevření při -30°C	F_{pi-30}	#####	kN	
Tahová síla v případě kdy nedojde k sevření při 80°C	F_{pi80}	#####	kN	
Vyhodnocení:				
Teplota vodiče	Θ_n	$^\circ\text{C}$	-30	80
Síla během zkratu	F_t	kN	6,68	3,00
Síla po zkratu	F_f	kN	--	--
Kontrakční síla	F_{pi}	kN	--	--
Minimální vzdušná vzdálenost	a_{min}	mm	--	2175
Pro konstrukce a připojovací místa s ohebnými vodiči uvažujeme statické zatížení 6,7 kN .				
Při použití podpěrných izolátorů (staniční podpěrky) se hodnotí na základě maximální hodnoty z 1,5 F_t , 1,0 F_f nebo 1,0 F_{pi} .				

3. Výpočet tepelných účinků

Konstanty	Ozn.	Hodnota	Jednotka	Poznámky
Měrné teplo hliníku	c	910	J.kg ⁻¹ .°C ⁻¹	
Hustota hliníku	ρ	2700	kg.m ⁻³	
Měrná vodivost hliníku při 20 °C	κ ₂₀	3,48E+07	Ω ⁻¹ .m ⁻¹	
Teplotní koeficient	α ₂₀	0,004	°C ⁻¹	
Součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu	κ	1,796	-	

Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jednotka	<div>Teplota °C</div> <div></div>
Tepelné účinky na holé vodiče				
Hustota jmenovitého krátkodobého proudu	S _{thr}	77,31	A.mm ⁻²	
Součinitel m dle obrázku 12 ČSN EN 60865-1	m	0,044	-	
Součinitel n dle obrázku 12 ČSN EN 60865-1	n	1	-	
Ekvivalentní oteplovací proud	I _{th}	6,44	kA	
Hustota ekvivalentního oteplovacího proudu	S _{th}	8,03	A.mm ⁻²	
Teplota vodiče po zkratu	Θ _f	90	°C	
Podmínka S _{th} < S _{thr} JE splněna!				
Připojnice je odolná tepelnému namáhání.				

Hustota ekvivalentního krátkodobého oteplovacího proudu je menší než hustota jmenovitého krátkodobého proudu.

Návrhový výpočet statického zatížení ohebných vodičů

1. Technické parametry

Soustava	3*50 Hz, 110 kV/TT(r)
Nejvyšší provozní napětí	$U_m = 123$ kV
Napětí jmenovité	$U_n = 110$ V
Frekvence	$f = 50$ Hz
Prostření	AB8
Oblast znečištění	N2
Oblast námrazy	III.
Rozpětí	$l_r = 26,01$ m
Délka izolátoru	$l_i = 2,40$ m
Hmotnost izolátoru	$m_i = 55$ kg
Rozpětí lana	$l_c = 21,21$ m
Výška uchycení vodiče	$h = 6,9$ m

Přípojnice WA, WB - Montážní tabulky

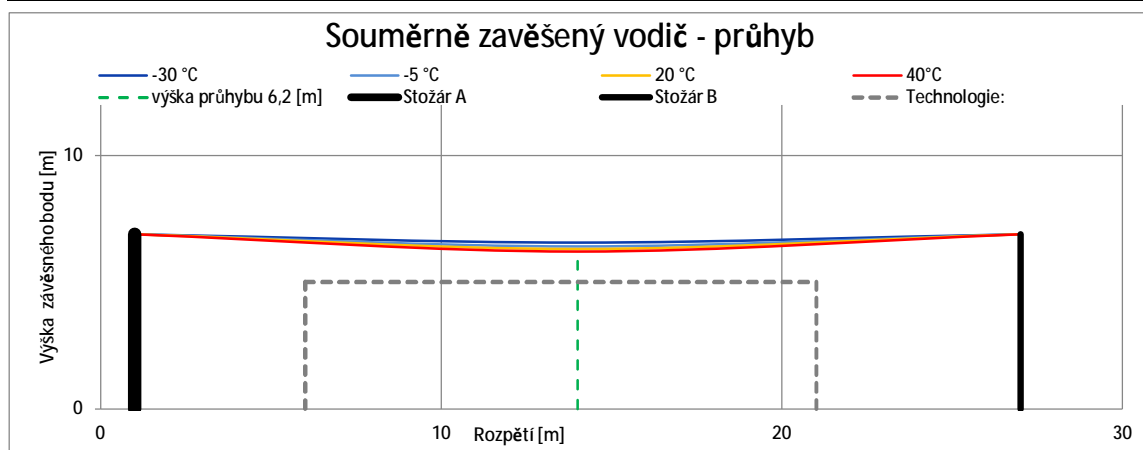
Ohebný vodič	
Typ vodiče	758-Al/43-ST1A
Průměr vodiče	$d_s = 36,50$ mm
Počet lan ve svazku	$n = 1$ -
Přetížení vodiče	$z_p = 1,3$ -
Průřez vodiče	$A_s = 801,2$ mm ²
Hmotnost jednotková	$m'_s = 2,4317$ kg.m ⁻¹
Modul pružnosti	$E = 62\,300$ MPa
Dov. průhyb při 80 °C	$f_m = 0,85$ m

2. Výpočet (dle ČSN EN 50423-3, PNE 33 3301)

Konstanty	Ozn.	Hodnota	Jed.	Poznámky
Tíhové zrychlení	g_n	9,81341	m.s ⁻²	
Koeficient tepelné roztažnosti	α	2,11E-05	°C ⁻¹	

Zatěžovací stavy vodičů	Napětí fáze	Průhyb celkem	Průhyb závěsu	Délka lana	Síla fáze
	σ_H [MPa]	[m]	[m]	[m]	[kN]
Maximální provozní teplota +80 °C	3,06	0,825	0,482	21,280	2,99
Maximální provozní teplota +80 °C při zatížení větrem	4,24	0,828	0,484	21,280	3,94
Nejvyšší návrhová teplota +40 °C	3,68	0,684	0,401	21,258	3,49
Nejvyšší návrhová teplota +40 °C při zatížení větrem 30 m/s	5,58	0,690	0,404	21,259	5,01
Provozní teplota -5 °C při zatížení námrazou	9,93	0,502	0,295	21,236	8,49
Provozní teplota -5 °C, zatížení námrazou a větrem	10,38	0,504	0,296	21,236	8,86
Nejnižší návrhová teplota -30 °C	7,64	0,330	0,194	21,221	6,66
Nejnižší návrhová teplota -30 °C při zatížení větrem 30 m/s	11,00	0,350	0,206	21,223	9,35

Montážní tabulka						Montážní tabulka pro zvýšený tah o 20%				
Teplota vodiče	Napětí fáze	Průhyb celkem	Průhyb závěsu	Délka lana	Síla fáze	Napětí fáze	Průhyb celkem	Průhyb závěsu	Délka lana	Síla fáze
[°C]	[MPa]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[MPa]	[m]	[m]	[m]	[kN]
-30	7,64	0,330	0,194	21,221	6,66	9,17	0,275	0,162	21,218	7,89
-20	6,36	0,396	0,233	21,226	5,63	7,63	0,330	0,195	21,221	6,65
-10	5,53	0,455	0,268	21,231	4,97	6,64	0,379	0,223	21,225	5,86
-5	5,22	0,482	0,284	21,234	4,72	6,27	0,402	0,237	21,227	5,56
0	4,96	0,508	0,299	21,236	4,51	5,95	0,424	0,249	21,228	5,30
5	4,73	0,533	0,314	21,239	4,33	5,67	0,444	0,262	21,230	5,08
10	4,52	0,557	0,327	21,242	4,16	5,43	0,464	0,273	21,232	4,89
15	4,34	0,580	0,341	21,244	4,02	5,21	0,483	0,284	21,234	4,72
20	4,19	0,602	0,354	21,247	3,89	5,02	0,502	0,295	21,236	4,56
25	4,04	0,624	0,366	21,250	3,78	4,85	0,520	0,306	21,238	4,43
30	3,91	0,644	0,378	21,253	3,67	4,69	0,537	0,316	21,240	4,30
35	3,79	0,665	0,390	21,255	3,58	4,55	0,554	0,325	21,241	4,19
40	3,68	0,684	0,401	21,258	3,49	4,42	0,570	0,335	21,243	4,08



Výpočet mechanických účinků zkratu na zařízení VVN a ZVN s ohebnými vodiči

1. Technické parametry

Přetah AEA01 - SP

Soustava	3PE110000 V AC T10
Nejvyšší provozní napětí	$U_m = 123$ kV
Jmenovité napětí	$U_n = 110$ V
Frekvence	$f = 50$ Hz
Proud přípojníc jmen.	$I_n = 1000$ A
Počáteční zkrat. proud	$I_{k3} = 6,3$ kA
Nárazový zkrat. proud	$I_{dyn} = 16$ kA
Doba trvání zkratu	$T_{k1} = 1$ s
Prostření	AB8
Námrazová oblast	N2
Větrová oblast	III.
Rozpětí	$l_r = 41,6$ m
Délka izolátoru	$l_i = 2,4$ m
Rozpětí lana	$l_c = 36,8$ m
Fázová rozteč počátek	$a_m = 2,3$ m
Fázová rozteč konec	$a_m = 2,3$ m

Ohebný vodič (lano)

Typ vodiče	758 A43 ST1A
Počet lan ve svazku	$n = 1$ -
Rozteč svazku	$a_s =$ m
Vzdálenost rozperek	$l_s =$ m
Průměr vodiče	$d_s = 36,50$ mm
Proudová zátěž (80 °C)	$I_{n80} = 1008$ A

Počáteční teplota lana	$\Theta_b = 80$ °C
Maximální teplota lana	$\Theta_e = 180$ °C
Statická síla při -30 °C	$F_{st-30} = 10,54$ kN
Statická síla při 80 °C	$F_{st80} = 4,37$ kN

Přidavné zatížení

Počet připojení	n _c = 2 ks	
	vzdál. [m]	hmotnost [kg]
Připojení I	12,0	15,0
Připojení II	29,0	15,0
Připojení III		
Připojení IV		
Připojení V		
Průměrná vzdálenost	13.67	30

Dov. průhyb při 80 °C	$f_m = 1,3$ m
Průřez lana	$A_s = 801,2$ mm ²
Hmotnost jednotková	$m'_s = 2,4317$ kg.m ⁻¹
Modul pružnosti	$E = 62\,300$ MPa
Pérová konstanta	$S = 150$ Nmm ⁻¹

(jeden dílčí vodič)

2. Výpočet (dle ČSN EN 60865-1 idt. IEC 865-1:1993)

Konstanty	Ozn.	Hodnota	Jednotka	Poznámky
Tíhové zrychlení	g_n	9,81341	m.s ⁻²	průměrná hodnota ČR
Permeabilita vakua	μ_0	1,26E-06	H.m ⁻¹	
Koeficient teplotní roztažnosti	c_{th}	2,70E-19	m ⁴ .A ⁻² .s ⁻¹	
Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jednotka	Poznámky
Charakteristické rozměry a parametry:				
Elektromotorická síla na jednotku délky při -30 °C	F'_{-30}	2,29	N.m ⁻¹	
Elektromotorická síla na jednotku délky při 80 °C	F'_{80}	2,29	N.m ⁻¹	
Celková hmotnost na jednotku délky	m'_{s-30}	3,25	kg.m ⁻¹	
Celková hmotnost na jednotku délky	m'_{s80}	3,25	kg.m ⁻¹	
Směr výslednice síly	δ_{-30}	4,11	°	
Směr výslednice síly	δ_{80}	4,11	°	
Ekvivalentní statický průhyb při -30 °C	$f_{es,-30}$	0,65	m	
Ekvivalentní statický průhyb při 80 °C	$f_{es,80}$	1,58	m	
Doba mechanického kmitu při -30 °C	T_{-30}	1,45	s	
Doba mechanického kmitu při 80 °C	T_{80}	2,25	s	
Výsledná doba kmitu vodiče během zkratu při -30 °C	T_{res-30}	1,45	s	
Výsledná doba kmitu vodiče během zkratu při 80 °C	$T_{res 80}$	2,25	s	
Úhel vychýlení na konci zkratu při -30 °C	δ_{k-30}	8,2	°	
Úhel vychýlení na konci zkratu při 80 °C	$\delta_{k 80}$	8,0	°	
Maximální úhel vychýlení při -30 °C	δ_{m-30}	10,28	°	
Maximální úhel vychýlení při 80 °C	$\delta_{m 80}$	10,12	°	
Tahová síla způsobená vychýlením vodičů během zkratu:				
Součinitel ψ při -30 °C	ψ_{-30}	0,39	-	
Součinitel ψ při 80 °C	ψ_{80}	268,82	-	
Tahová síla při teplotě -30 °C	F_{t-30}	10,57	kN	
Tahová síla při teplotě 80 °C	$F_{t 80}$	13,46	kN	
Maximální tahová síla při zkratu	F_{tmax}	13,46	kN	

Tahová síla po zkratu způsobená poklesem rozpětí vodičů:				
Tahová síla po zkratu (jestliže $r > 0,6$ a $\delta_m \geq 70^\circ$)				
Tahová síla po zkratu při teplotě -30°C	F_{f-30}	--	kN	13,54 kN
Tahová síla po zkratu při teplotě 80°C	F_{f80}	--	kN	8,92 kN
Maximální tahová síla po zkratu	F_{fmax}	--	kN	
Horizontální výchylka rozpětí a minimální vzdušná vzdálenost:				
Pružné prodloužení při 80°C	ϵ_{ela}	1,89E-03	-	
Tepelné prodloužení vodiče při 80°C	ϵ_{th}	9,39E-06	-	
Součinitel respektující zvětšení průhybu vodiče	C_D	1,22	-	
Součinitel respektující zvětšení dynamického průhybu vodiče	C_F	1,05	-	
Maximální horizontální výchylka rozpětí	b_h	0,15	m	
Min. vzdušná vzdálenost mezi osami svazku 2 soused. fází	a_{min}	2,01	m	
Pro konstrukce, izolátory a spoje počítáme s max. hodnotou zatížení 13,46 kN				
Horizontální výchylka 0,15 m . Minimální vzdušná vzdálenost 2,01 m , což je více než 0,55 m .				

Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jednotka	Poznámky
Kontrakční síly svazku:				
Součinitel v_1 při -30°C	V_{1-30}	--	-	
Součinitel v_1 při 80°C	V_{180}	--	-	
Součinitel v_2 při -30°C	V_{2-30}	--	-	
Součinitel v_2 při 80°C	V_{280}	--	-	
Součinitel v_3	V_3	--	-	
Zkratová síla při -30°C	F_{v-30}	0	kN	
Zkratová síla při 80°C	F_{v80}	0	kN	
V obou případech NENÍ $j \geq 1$ proto tak NEDOCHÁZÍ k účinnému sevření vodičů.				
Tahová síla v případě účinného sevření při -30°C	F_{pi-30}	--	kN	
Tahová síla v případě účinného sevření při 80°C	F_{pi80}	--	kN	
Tahová síla v případě kdy nedojde k sevření při -30°C	F_{pi-30}	#####	kN	
Tahová síla v případě kdy nedojde k sevření při 80°C	F_{pi80}	#####	kN	
Vyhodnocení:				
Teplota vodiče	Θ_n	$^\circ\text{C}$	-30	80
Síla během zkratu	F_t	kN	10,57	13,46
Síla po zkratu	F_f	kN	--	--
Kontrakční síla	F_{pi}	kN	--	--
Minimální vzdušná vzdálenost	a_{min}	mm	--	2010
Pro konstrukce a připojovací místa s ohebnými vodiči uvažujeme statické zatížení 13,5 kN .				
Při použití podpěrných izolátorů (staniční podpěrky) se hodnotí na základě maximální hodnoty z 1,5 F_t , 1,0 F_f nebo 1,0 F_{pi} .				

3. Výpočet tepelných účinků

Konstanty	Ozn.	Hodnota	Jednotka	Poznámky
Měrné teplo hliníku	c	910	J.kg ⁻¹ .°C ⁻¹	
Hustota hliníku	ρ	2700	kg.m ⁻³	
Měrná vodivost hliníku při 20 °C	κ ₂₀	3,48E+07	Ω ⁻¹ .m ⁻¹	
Teplotní koeficient	α ₂₀	0,004	°C ⁻¹	
Součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu	κ	1,796	-	

Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jednotka
Tepelné účinky na holé vodiče			
Hustota jmenovitého krátkodobého proudu	S _{thr}	77,31	A.mm ⁻²
Součinitel m dle obrázku 12 ČSN EN 60865-1	m	0,044	-
Součinitel n dle obrázku 12 ČSN EN 60865-1	n	1	-
Ekvivalentní oteplovací proud	I _{th}	6,44	kA
Hustota ekvivalentního oteplovacího proudu	S _{th}	8,03	A.mm ⁻²
Teplota vodiče po zkratu	Θ _f	90	°C

Teplota °C

</

Návrhový výpočet statického zatížení ohebných vodičů

1. Technické parametry

Přetah AEA01 - SP - Montážní tabulky

Soustava	3*50 Hz, 110 kV/TT(r)
Nejvyšší provozní napětí	$U_m = 123$ kV
Napětí jmenovité	$U_n = 110$ V
Frekvence	$f = 50$ Hz
Prostření	AB8
Oblast znečištění	N2
Oblast námrazy	III.
Rozpětí	$l_r = 41,60$ m
Délka izolátoru	$l_i = 2,40$ m
Hmotnost izolátoru	$m_i = 40$ kg
Rozpětí lana	$l_c = 36,80$ m
Výška uchycení vodiče	$h = 10$ m

Ohebný vodič

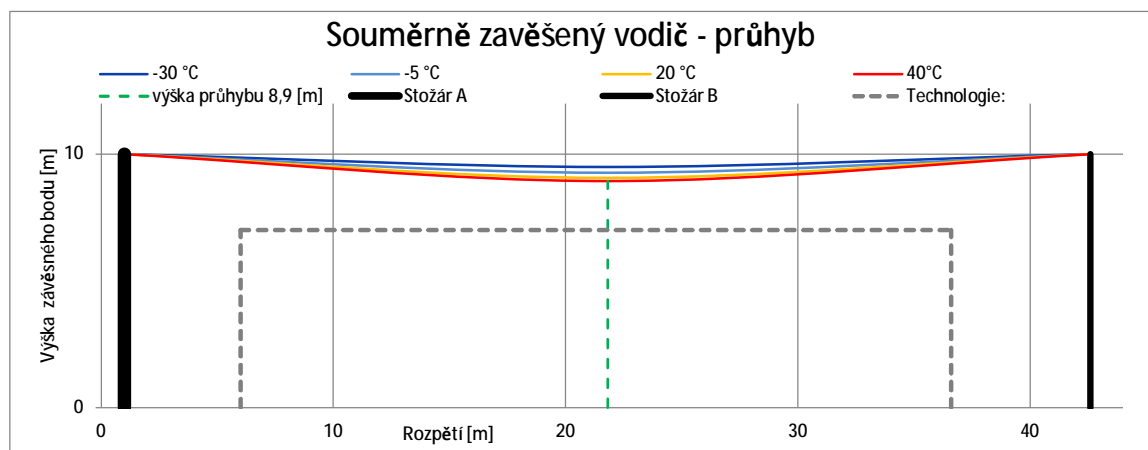
Typ vodiče	758-Al/43-ST1A
Průměr vodiče	$d_s = 36,50$ mm
Počet lan ve svazku	$n = 1$ -
Přetížení vodiče	$z_p = 1,5$ -
Průřez vodiče	$A_s = 801,2$ mm ²
Hmotnost jednotková	$m'_s = 2,4317$ kg.m ⁻¹
Modul pružnosti	$E = 62\,300$ MPa
Dov. průhyb při 80 °C	$f_m = 1,3$ m

2. Výpočet (dle ČSN EN 50423-3, PNE 33 3301)

Konstanty	Ozn.	Hodnota	Jed.	Poznámky
Tíhové zrychlení	g_n	9,81341	m.s ⁻²	
Koeficient tepelné roztažnosti	α	2,11E-05	°C ⁻¹	

Zatěžovací stavy vodičů	Napětí fáze	Průhyb celkem	Průhyb závěsu	Délka lana	Síla fáze
	σ_H [MPa]	[m]	[m]	[m]	[kN]
Maximální provozní teplota +80 °C	4,96	1,300	0,475	36,908	4,37
Maximální provozní teplota +80 °C při zatížení větrem	7,17	1,309	0,478	36,910	6,14
Nejvyšší návrhová teplota +40 °C	6,01	1,072	0,393	36,874	5,21
Nejvyšší návrhová teplota +40 °C při zatížení větrem 30 m/s	9,51	1,089	0,399	36,876	8,01
Provozní teplota -5 °C při zatížení námrazou	16,32	0,800	0,294	36,841	13,47
Provozní teplota -5 °C, zatížení námrazou a větrem	17,15	0,805	0,296	36,842	14,13
Nejnižší návrhová teplota -30 °C	12,66	0,509	0,188	36,817	10,54
Nejnižší návrhová teplota -30 °C při zatížení větrem 30 m/s	18,34	0,564	0,208	36,820	15,09

Montážní tabulka						Montážní tabulka pro zvýšený tah o 20%				
Teplota vodiče	Napětí fáze	Průhyb celkem	Průhyb závěsu	Délka lana	Síla fáze	Napětí fáze	Průhyb celkem	Průhyb závěsu	Délka lana	Síla fáze
[°C]	[MPa]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[MPa]	[m]	[m]	[m]	[kN]
-30	12,66	0,509	0,188	36,817	10,54	15,19	0,424	0,156	36,812	12,57
-20	10,54	0,612	0,225	36,824	8,84	12,65	0,510	0,188	36,817	10,52
-10	9,15	0,705	0,259	36,832	7,72	10,98	0,587	0,216	36,822	9,19
-5	8,62	0,748	0,275	36,836	7,30	10,34	0,623	0,230	36,825	8,68
0	8,16	0,790	0,290	36,840	6,93	9,80	0,658	0,242	36,828	8,24
5	7,77	0,829	0,305	36,844	6,62	9,33	0,691	0,254	36,831	7,86
10	7,43	0,868	0,319	36,848	6,34	8,91	0,723	0,266	36,833	7,54
15	7,13	0,905	0,332	36,852	6,10	8,55	0,754	0,277	36,836	7,24
20	6,86	0,940	0,345	36,857	5,89	8,23	0,783	0,288	36,839	6,98
25	6,61	0,975	0,358	36,861	5,69	7,94	0,812	0,299	36,842	6,75
30	6,39	1,008	0,370	36,865	5,52	7,67	0,840	0,309	36,845	6,54
35	6,20	1,041	0,382	36,869	5,36	7,43	0,867	0,319	36,848	6,35
40	6,01	1,072	0,393	36,874	5,21	7,22	0,893	0,328	36,851	6,17



Výpočet mechanických účinků zkratu na zařízení VVN a ZVN s ohebnými vodiči

1. Technické parametry

Soustava	3PE110000 V AC T10
Nejvyšší provozní napětí	$U_m = 123$ kV
Jmenovité napětí	$U_n = 110$ V
Frekvence	$f = 50$ Hz
Proud přípojníc jmen.	$I_n = 1000$ A
Počáteční zkrat. proud	$I_{k3} = 6,3$ kA
Nárazový zkrat. proud	$I_{dyn} = 16$ kA
Doba trvání zkratu	$T_{k1} = 1$ s
Prostření	AB8
Námrazová oblast	N2
Větrová oblast	III.
Rozpětí	$l_r = 13$ m
Délka izolátoru	$l_i = 2,4$ m
Rozpětí lana	$l_c = 8,2$ m
Fázová rozteč počátek	$a_m = 2,3$ m
Fázová rozteč konec	$a_m = 2,3$ m

Ohebný vodič (lano)

Typ vodiče	758 A43 ST1A
Počet lan ve svazku	$n = 1$ -
Rozteč svazku	$a_s =$ m
Vzdálenost rozperek	$l_s =$ m
Průměr vodiče	$d_s = 36,50$ mm
Proudová zátěž (80 °C)	$I_{n80} = 1008$ A

Přetah AEA04, 06 - T10x

Počáteční teplota lana	$\Theta_b = 80$ °C
Maximální teplota lana	$\Theta_e = 180$ °C
Statická síla při -30 °C	$F_{st-30} = 1,49$ kN
Statická síla při 80 °C	$F_{st80} = 1,24$ kN

Přidavné zatížení

Počet připojení	n _c =		ks
	vzdál. [m]	hmotnost [kg]	
Připojení I			
Připojení II			
Připojení III			
Připojení IV			
Připojení V			
Průměrná vzdálenost	0	0	

Dov. průhyb při 80 °C	$f_m = 0,6$ m
Průřez lana	$A_s = 801,2$ mm ²
Hmotnost jednotková	$m'_s = 2,4317$ kg.m ⁻¹
Modul pružnosti	$E = 62\,300$ MPa
Pérová konstanta	$S = 150$ Nmm ⁻¹

(jeden dílčí vodič)

2. Výpočet (dle ČSN EN 60865-1 idt. IEC 865-1:1993)

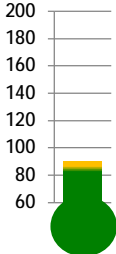
Konstanty	Ozn.	Hodnota	Jednotka	Poznámky
Tíhové zrychlení	g_n	9,81341	m.s ⁻²	průměrná hodnota ČR
Permeabilita vakua	μ_0	1,26E-06	H.m ⁻¹	
Koeficient teplotní roztažnosti	c_{th}	2,70E-19	m ⁴ .A ⁻² .s ⁻¹	
Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jednotka	Poznámky
Charakteristické rozměry a parametry:				
Elektromotorická síla na jednotku délky při -30 °C	F'_{-30}	1,63	N.m ⁻¹	
Elektromotorická síla na jednotku délky při 80 °C	F'_{80}	1,63	N.m ⁻¹	
Celková hmotnost na jednotku délky	m'_{s-30}	2,43	kg.m ⁻¹	
Celková hmotnost na jednotku délky	m'_{s80}	2,43	kg.m ⁻¹	
Směr výslednice síly	δ_{-30}	3,91	°	
Směr výslednice síly	δ_{80}	3,91	°	
Ekvivalentní statický průhyb při -30 °C	$f_{es,-30}$	0,34	m	
Ekvivalentní statický průhyb při 80 °C	$f_{es,80}$	0,41	m	
Doba mechanického kmitu při -30 °C	T_{-30}	1,04	s	
Doba mechanického kmitu při 80 °C	T_{80}	1,15	s	
Výsledná doba kmitu vodiče během zkratu při -30 °C	T_{res-30}	1,04	s	
Výsledná doba kmitu vodiče během zkratu při 80 °C	$T_{res 80}$	1,14	s	
Úhel vychýlení na konci zkratu při -30 °C	δ_{k-30}	7,8	°	
Úhel vychýlení na konci zkratu při 80 °C	$\delta_{k 80}$	7,8	°	
Maximální úhel vychýlení při -30 °C	δ_{m-30}	9,79	°	
Maximální úhel vychýlení při 80 °C	$\delta_{m 80}$	9,79	°	
Tahová síla způsobená vychýlením vodičů během zkratu:				
Součinitel ψ při -30 °C	ψ_{-30}	0,81	-	
Součinitel ψ při 80 °C	ψ_{80}	0,88	-	
Tahová síla při teplotě -30 °C	F_{t-30}	1,50	kN	
Tahová síla při teplotě 80 °C	$F_{t 80}$	1,24	kN	
Maximální tahová síla při zkratu	F_{tmax}	1,50	kN	

Tahová síla po zkratu způsobená poklesem rozpětí vodičů:				
Tahová síla po zkratu (jestliže $r > 0,6$ a $\delta_m \geq 70^\circ$)				
Tahová síla po zkratu při teplotě -30°C	F_{f-30}	--	kN	2,48 kN
Tahová síla po zkratu při teplotě 80°C	F_{f80}	--	kN	2,40 kN
Maximální tahová síla po zkratu	F_{fmax}	--	kN	
Horizontální výchylka rozpětí a minimální vzdušná vzdálenost:				
Pružné prodloužení při 80°C	ϵ_{ela}	4,37E-06	-	
Tepelné prodloužení vodiče při 80°C	ϵ_{th}	4,78E-06	-	
Součinitel respektující zvětšení průhybu vodiče	C_D	1,00	-	
Součinitel respektující zvětšení dynamického průhybu vodiče	C_F	1,05	-	
Maximální horizontální výchylka rozpětí	b_h	0,03	m	
Min. vzdušná vzdálenost mezi osami svazku 2 soused. fází	a_{min}	2,24	m	
Pro konstrukce, izolátory a spoje počítáme s max. hodnotou zatížení 1,50 kN				
Horizontální výchylka 0,03 m. Minimální vzdušná vzdálenost 2,24 m, což je více než 0,55 m.				

Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jednotka	Poznámky
Kontrakční síly svazku:				
Součinitel v_1 při -30°C	V_{1-30}	--	-	
Součinitel v_1 při 80°C	V_{180}	--	-	
Součinitel v_2 při -30°C	V_{2-30}	--	-	
Součinitel v_2 při 80°C	V_{280}	--	-	
Součinitel v_3	V_3	--	-	
Zkratová síla při -30°C	F_{v-30}	0	kN	
Zkratová síla při 80°C	F_{v80}	0	kN	
V obou případech NENÍ $j \geq 1$ proto tak NEDOCHÁZÍ k účinnému sevření vodičů.				
Tahová síla v případě účinného sevření při -30°C	F_{pi-30}	--	kN	
Tahová síla v případě účinného sevření při 80°C	F_{pi80}	--	kN	
Tahová síla v případě kdy nedojde k sevření při -30°C	F_{pi-30}	#####	kN	
Tahová síla v případě kdy nedojde k sevření při 80°C	F_{pi80}	#####	kN	
Vyhodnocení:				
Teplota vodiče	Θ_n	$^\circ\text{C}$	-30	80
Síla během zkratu	F_t	kN	1,50	1,24
Síla po zkratu	F_f	kN	--	--
Kontrakční síla	F_{pi}	kN	--	--
Minimální vzdušná vzdálenost	a_{min}	mm	--	2241
Pro konstrukce a připojovací místa s ohebnými vodiči uvažujeme statické zatížení 1,5 kN .				
Při použití podpěrných izolátorů (staniční podpěrky) se hodnotí na základě maximální hodnoty z 1,5 F_t , 1,0 F_f nebo 1,0 F_{pi} .				

3. Výpočet tepelných účinků

Konstanty	Ozn.	Hodnota	Jednotka	Poznámky
Měrné teplo hliníku	c	910	J.kg ⁻¹ .°C ⁻¹	
Hustota hliníku	ρ	2700	kg.m ⁻³	
Měrná vodivost hliníku při 20 °C	κ ₂₀	3,48E+07	Ω ⁻¹ .m ⁻¹	
Teplotní koeficient	α ₂₀	0,004	°C ⁻¹	
Součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu	κ	1,796	-	

Název veličiny	Ozn.	Hodnota	Jednotka	<div>Teplota °C</div> <div></div>
Tepelné účinky na holé vodiče				
Hustota jmenovitého krátkodobého proudu	S _{thr}	77,31	A.mm ⁻²	
Součinitel m dle obrázku 12 ČSN EN 60865-1	m	0,044	-	
Součinitel n dle obrázku 12 ČSN EN 60865-1	n	1	-	
Ekvivalentní oteplovací proud	I _{th}	6,44	kA	
Hustota ekvivalentního oteplovacího proudu	S _{th}	8,03	A.mm ⁻²	
Teplota vodiče po zkratu	Θ _f	90	°C	
Podmínka S _{th} < S _{thr} JE splněna!				
Připojnice je odolná tepelnému namáhání.				

Hustota ekvivalentního krátkodobého oteplovacího proudu je menší než hustota jmenovitého krátkodobého proudu.

Návrhový výpočet statického zatížení ohebných vodičů

1. Technické parametry

Přetah AEA04, 06 - T10x - Montážní tabulky

Soustava	3*50 Hz, 110 kV/TT(r)
Nejvyšší provozní napětí	$U_m = 123$ kV
Napětí jmenovité	$U_n = 110$ V
Frekvence	$f = 50$ Hz
Prostření	AB8
Oblast znečištění	N2
Oblast námrazy	III.
Rozpětí	$l_r = 13,00$ m
Délka izolátoru	$l_i = 2,40$ m
Hmotnost izolátoru	$m_i = 40$ kg
Rozpětí lana	$l_c = 8,20$ m
Výška uchycení vodiče	$h = 10$ m

Ohebný vodič	
Typ vodiče	758-Al/43-ST1A
Průměr vodiče	$d_s = 36,50$ mm
Počet lan ve svazku	$n = 1$ -
Přetížení vodiče	$z_p = 1,5$ -
Průřez vodiče	$A_s = 801,2$ mm ²
Hmotnost jednotková	$m'_s = 2,4317$ kg.m ⁻¹
Modul pružnosti	$E = 62\,300$ MPa
Dov. průhyb při 80 °C	$f_m = 0,6$ m

2. Výpočet (dle ČSN EN 50423-3, PNE 33 3301)

Konstanty	Ozn.	Hodnota	Jed.	Poznámky
Tíhové zrychlení	g_n	9,81341	m.s ⁻²	
Koeficient tepelné roztažnosti	α	2,11E-05	°C ⁻¹	

Zatěžovací stavy vodičů	Napětí fáze	Průhyb celkem	Průhyb závěsu	Délka lana	Síla fáze
	σ_H [MPa]	[m]	[m]	[m]	[kN]
Maximální provozní teplota +80 °C	1,05	0,600	0,692	8,273	1,24
Maximální provozní teplota +80 °C při zatížení větrem	1,61	0,600	0,693	8,274	1,68
Nejvyšší návrhová teplota +40 °C	1,14	0,553	0,641	8,262	1,31
Nejvyšší návrhová teplota +40 °C při zatížení větrem 30 m/s	1,94	0,553	0,641	8,263	1,95
Provozní teplota -5 °C při zatížení námrazou	2,57	0,496	0,577	8,250	2,45
Provozní teplota -5 °C, zatížení námrazou a větrem	2,75	0,496	0,577	8,250	2,60
Nejnižší návrhová teplota -30 °C	1,37	0,460	0,536	8,243	1,49
Nejnižší návrhová teplota -30 °C při zatížení větrem 30 m/s	2,33	0,461	0,537	8,243	2,26

Montážní tabulka						Montážní tabulka pro zvýšený tah o 20%				
Teplota vodiče	Napětí fáze	Průhyb celkem	Průhyb závěsu	Délka lana	Síla fáze	Napětí fáze	Průhyb celkem	Průhyb závěsu	Délka lana	Síla fáze
[°C]	[MPa]	[m]	[m]	[m]	[kN]	[MPa]	[m]	[m]	[m]	[kN]
-30	1,37	0,460	0,536	8,243	1,49	1,64	0,383	0,448	8,230	1,71
-20	1,33	0,474	0,552	8,246	1,46	1,60	0,395	0,462	8,232	1,67
-10	1,29	0,488	0,568	8,249	1,43	1,55	0,407	0,475	8,234	1,63
-5	1,27	0,495	0,576	8,250	1,41	1,53	0,412	0,482	8,235	1,62
0	1,26	0,502	0,583	8,251	1,40	1,51	0,418	0,488	8,236	1,60
5	1,24	0,508	0,591	8,253	1,39	1,49	0,423	0,495	8,237	1,58
10	1,22	0,515	0,598	8,254	1,37	1,47	0,429	0,501	8,238	1,57
15	1,21	0,521	0,606	8,256	1,36	1,45	0,434	0,507	8,239	1,56
20	1,19	0,528	0,613	8,257	1,35	1,43	0,440	0,513	8,240	1,54
25	1,18	0,534	0,620	8,258	1,34	1,42	0,445	0,519	8,241	1,53
30	1,17	0,540	0,627	8,260	1,33	1,40	0,450	0,525	8,241	1,51
35	1,15	0,547	0,634	8,261	1,32	1,38	0,455	0,531	8,242	1,50
40	1,14	0,553	0,641	8,262	1,31	1,37	0,460	0,537	8,243	1,49

