ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh vyvedení výkonu a rezervního napájení JE Temelín

vedoucí práce: **Ing. Jana Jiřičková, Ph.D.**

autor: **Bc. Tomáš Klor**

2012

Anotace

Diplomová práce je rozdělena do tří kapitol. V první kapitole je popsána problematika připojení jaderného bloku na elektrizační síť. V druhé jsou uvedeny teoretické poznatky nutné k návrhu vedení a v poslední je již zhotoven praktický návrh koridoru vedení. V příloze je pak zakresleno navrhované vedení v katastrální mapě.

Klíčová slova

Návrh vedení, AlFe vodiče, vyvedení výkonu, rezervní napájení, mechanický návrh vedení, elektrický návrh vedení.

Abstract

This diploma thesis is devided into three parts. A connectivity issue of a nuclear power plant to an electric grid is described in the first part. A theoretical knowledge necessary for projecting power lines are mentioned in the second part. And a project of a power line itself is made in the last one. A layout of designed power lines is enclosed in the attached land registry map.

Key words

Power line, steel-cored conductor, lead-out of power, reserve source, mechanical design of power line, elektrical design of power line.

Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 8.5.2012 Jméno příjmení

……..

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří mi pomohli s vytvořením této práce. Děkuji Ing. Janě Jiřičkové, Ph.D., Ing. Pavlu Hrdličkovi z firmy ČEZ a.s. a Ing. Lucii Noháčové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

Seznam tabulek iii

Seznam obrázků iv

Seznam symbolů - elektrická část v

Seznam symbolů - mechanická část vii

Úvod 1

1. Požadavky na jednotlivé druhy napájení jaderné elektrárny 2

1.1. Vedení 400 kV 3

1.1.1. Blokový transformátor 3

1.1.2. Odbočka vlastní spotřeby 4

1.1.3. Generátorový vypínač 4

1.1.4. Zapouzdřené vodiče 4

1.2. Rezervní vedení 110 kV 5

1.2.1. Rezervní transformátor vlastní spotřeby 6

1.2.2. Zapouzdřené vodiče 6

1.3. Rozvodny 400 kV a 110 kV v ETE 7

1.3.1. Venkovní rozvodny 400 kV 7

1.3.2. Venkovní rozvodny 110 kV 7

2. Podmínky pro návrh vyvedení výkonu a rezervního napájení 8

2.1. Základní informace o nových blocích 8

2.1.1. AES 2006 - MIR 1200 8

2.1.2. Areva EPR™ 9

2.1.3. Westinghouse AP1000™ 9

2.2. Návrh vedení 10

2.2.1. Ustálené oteplení vodiče[10] 11

2.2.2. Oteplení vodiče při zkratu[10] 15

2.2.3. Mechanické namáhání vodiče 16

2.2.4. Minimální výšky vodičů 25
2.2.5. Hygienická norma – elektromagnetické pole 26
3. Návrh vedení 27
3.1. Vedení 400 kV 27
3.1.1. Návrh průřezu fázového vodiče 27
3.1.2. Návrh průřezu zemního lana 35
3.2. Vedení 110 kV 37
3.2.1. Návrh průřezu fázového vodiče 37
3.2.2. Návrh průřezu zemního lana 39
3.3. Mechanický výpočet 41
3.4. Stávající vedení 43
3.5. Pozemky 43
3.5.1. Vedení V9004 43
3.5.2. Vedení V9003 44
3.5.3. Vedení V9001 a V9003 45
3.5.4. Vedení V9002 a V9004 46
3.5.5. Vedení V54 47
3.5.6. Vedení V53 48
3.5.7. Vedení V51 49
3.5.8. Vedení V52 49
3.5.9. Vedení V9001 50
3.5.10. Vedení V9002 50
3.6. Hygienická norma – elektromagnetické pole 51
Závěr 53
Použitá literatura 54

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Konstanty pro výpočet nuceného chlazení vedením vodičů 14
Tabulka 2 - Konstanty pro výpočet přirozeného chlazení vedením 14
Tabulka 3 - Doporučené nejvyšší teploty pro namáhané vodiče během zkratu.[10] 16
Tabulka 4 - Zatěžovací stavy pro tah a průhyb vodiče 21
Tabulka 5 - Referenční zatížení námrazou 23
Tabulka 6 - Součinitel aerodynamického odporu a hustota námrazy 25
Tabulka 7 - Minimální výšky vodičů [16] 25
Tabulka 8 - Výpočet pomocí programu – všechny projekty – ustálená teplota 32
Tabulka 9 - Výpočet pomocí programu – teplota při zkratu – EPR část 1 33
Tabulka 10 - Výpočet pomocí programu – teplota při zkratu - EPR část 2 34
Tabulka 11 - Výpočet pomocí programu – teplota při zkratu - AP 1000 a MIR 1200 34
Tabulka 12 - Výpočet pomocí programu – zemní lano pro V53 a V54 – 2X240/39 35
Tabulka 13 - Výpočet pomocí programu – zemní lano pro V53 a V54 – 2X180/59 36
Tabulka 14 - Výpočet pomocí programu – ustálená teplota – fázový vodič 37
Tabulka 15 - Výpočet pomocí programu – V9003 a V9004 – 680/83- fázový vodič 38
Tabulka 16 - Výpočet pomocí programu – zemní lano pro V9003 a V9004 – 2x180/59 39
Tabulka 17 - Výpočet pomocí programu – zemní lano pro V9003 a V9004 – 180/59 40
Tabulka 18 - Výpočet pomocí programu – EPR – Vedení V53 – pole 1 – fázový vodič 42
Tabulka 19 - Stávající vedení 43
Tabulka 20 - Pozemky - V9004 část 1 43
Tabulka 21 - Pozemky - V9004 část 2 44
Tabulka 22 - Pozemky - V9003 44
Tabulka 23 - Pozemky - V9001 a V9003 45
Tabulka 24 - Pozemky - V9002 a V9004 46
Tabulka 25 - Pozemky - V54 47
Tabulka 26 - Pozemky - V53 48
Tabulka 27 - Pozemky - V51 49
Tabulka 28 - Pozemky - V52 49
Tabulka 29 - Pozemky - V9001 50
Tabulka 30 - Pozemky - V9002 50

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Situace s jedním turbosoustrojím nebo dvěma turbosoustrojími.[12] 3
Obrázek 2 - Zapouzdřený vodič.....5
Obrázek 3 - Schéma systému rezervního napájení.[14] 6
Obrázek 4 - Ilustrativní obrázek designu AES 2006 – MIR 120.[3] 8
Obrázek 5 - Ilustrativní obrázek designu EPR.[4] 9
Obrázek 6 - Ilustrativní obrázek designu AP 1000.[5] 9
Obrázek 7 - Průhybová křivka – souměrný závěs.[15] 17
Obrázek 8 - Průhybová křivka – nesouměrný závěs[15] 20
Obrázek 9 - Zatížení vodiče větrem[15] 23
Obrázek 10 - Zatížení vodiče s námrazou větrem[15] 24
Obrázek 11 - Magnetická indukce v okolí vsi Kočín – 2D řez vedením 51
Obrázek 12 - Magnetická indukce v okolí vsi Kočín – graf 51
Obrázek 13 – Rozložení proudové hustoty 1,7 m nad zemí v okolí vsi Kočín – graf 52
Obrázek 14 – Rozložení proudové hustoty 0,1 m nad zemí v okolí vsi Kočín – graf 52

Seznam symbolů - elektrická část

Značka	***popis***	***veličina***
c	měrná tepelná kapacita vzduchu	-
cos φ	účiník	-
d	průměr hliníkového vodiče	m
D	vnější průměr vodiče	m
g	gravitační zrychlení	m/s^2
Gr	Grashofovo číslo	-
h_c	koeficient přenosu tepla vedením	W/m.K
I_{ac}	střídavý proud	A
I_{dc}	stejnosměrný proud	A
I_{svazek}	proud celým svazkovým vodičem	A
I_{th}	oteplovací proud	A
Nu	Nusseltovo číslo	-
P_c	chlazení vedením	W/m
P_i	korónové ztráty	W/m
P_j	Jouleho ztráty	W/m
P_M	magnetické ztráty	W/m
P_N	jmenovitý výkon	W
P_r	chlazení sáláním	W/m
Pr	Prandtlovo číslo	-
P_S	solární oteplení	W/m
P_w	chlazení odpařováním	W/m
R_{dc}	odpor při stejnosměrném proudu	A
R_f	Reynoldsovo číslo	-
S	souhrnné sluneční záření	W/m^2
T_1	počáteční teplota	°C
T_2	konečná teplota	°C

Značka	***popis***	***veličina***
T_a	okolní teplota	°C
T_a	okolní teplota	°C
T_{av}	hlavní teplota vodiče	°C
T_s	povrchová teplota vodiče	°C
U_n	napětí	V
V	rychlost větru	m/s
v_f	kinematická viskozita	m^2/s
y	nadmořská výška	m
α	tepelný koeficient odporu	1/K
α_s	absorpce povrchu vodiče	-
δ	úhel větru	°
ε	emisivita	-
λ_f	tepelná vodivost vzduchu	-
μ	dynamická viskozita vzduchu	-
π	Ludolfovo číslo	-
ρ_r	relativní hustota vzduchu	-
σ_B	Stefan-Boltzmannova konstanta	$W/m^2.K^4$

Seznam symbolů - mechanická část

Značka	***popis***	***veličina***
c	parametr řetězovky	-
C_c	součinitel aerodynamického odporu vodiče	-
C_{cI}	souč. aerodynam. odporu vodiče při námraze	-
D	ekvivalentní průměr vodiče s námrazou	m
d	vnější průměr vodiče	m
E	modul pružnosti	Pa
F_H	horizontální síla	N
f_m	maximální průhyb vedení	m
F_V	vertikální síla	N
f_v	viditelný průhyb vedení	m
g	gravitační zrychlení	m/s^2
G_c	součinitel rozpětí	-
G_q	poryvový součinitel vzduchu	-
h	rozdíl výšek závěsů	m
I_K	charakteristické zatížení námrazou	N/m
l	délka	m
L	rozpětí stožárů	m
L_{krit}	kritické rozpětí stožárů	m
M	moment síly	N.m
n	počet vodičů ve svazku	-
q_h	dynamický tlak větru	Pa
q_I	návrhové zatížení námrazou	N/m
q_W	návrhové zatížení větrem	N/m
q_{WcI}	návrh. zat. mírným větrem a námrazou	-
S	průřez vodiče	m^2

Značka	***popis***	***veličina***
V_h	rychlost větru	m/s
z	přídavné zatížení (zatěžovatel)	-
α	součinitel tepelné roztažnosti	1/K
γ	měrná tíha	$N/m.mm^2$
γ_I	bezpečnostní součinitel zatížení	-
σ	výsledné napětí	Pa
σ_{dov}	dovolené napětí	Pa
σ_H	horizontální napětí	Pa
σ_V	vertikální napětí	Pa
υ	teplota	K
ψ_c	součinitel kombinace	-
Ω	úhel působení větru	°

Úvod

V dnešní době chce být každý stát energeticky nezávislý. Z důvodu stále stoupající spotřeby elektrické energie byl zde dán podnět k vytvoření nového zdroje elektrické energie.

I když se okolní státy vydaly cestou obnovitelných zdrojů, Česká republika zvolila cestu vyváženého palivového mixu s podílem jaderné energie. Jaderné elektrárny jsou velmi stabilní zdroje elektrické energie, na rozdíl od výše zmíněných. Je uvažováno o dostavbě dvou bloků v lokalitě Temelín a jednoho bloku v Dukovanech.

Tato práce se zaobírá vyvedením výkonu a zajištěním rezervního napájení v lokalitě Temelín. Jde o praktický návrh vedení pro oba nové zvažované bloky s výčtem pozemků pod stožáry pro případný výkup od vlastníků.

Většina publikací v problematice připojení jaderného zdroje do energetické sítě je rozdělena z pohledu vyvedení výkonu a zajištění napájení vlastní spotřeby. Poněvadž se práce zaobírá návrhem vedení, tak je i z tohoto pohledu rozdělena.

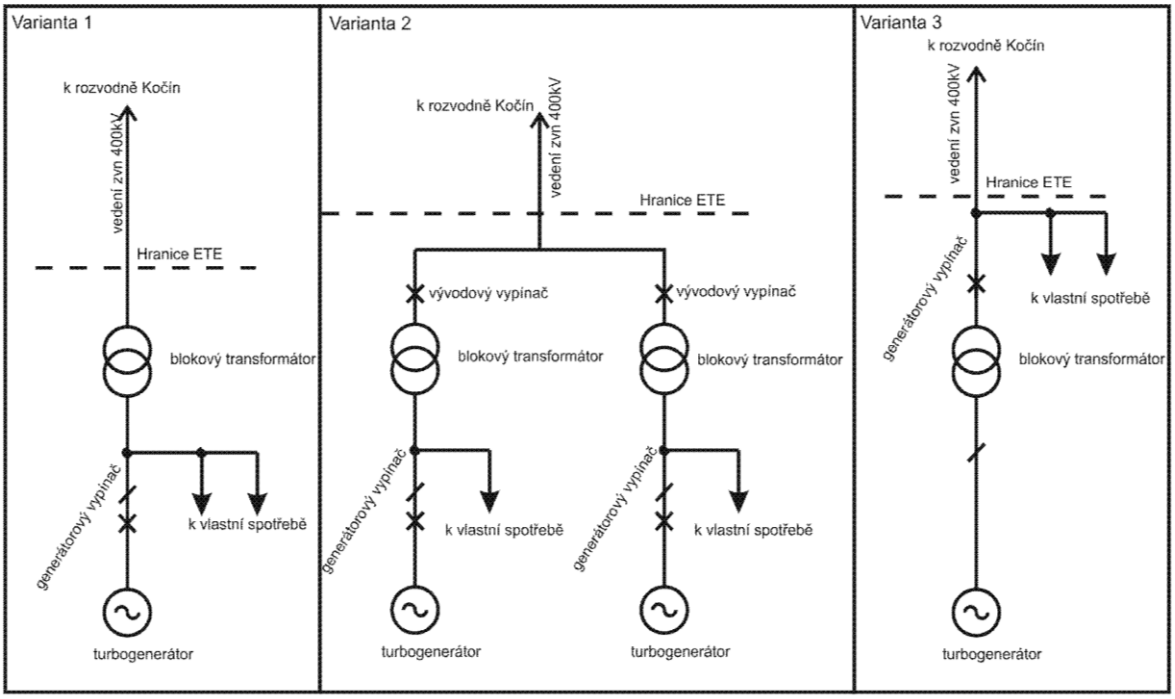
1. Požadavky na jednotlivé druhy napájení jaderné elektrárny

Jaderné elektrárny mají vysoké požadavky na bezpečnost, proto se tématem bezpečnosti zabývá i státní dozor. Z hlediska napájení je důležitá vyhláška 195/1999 Sb. Nejdůležitější pasáž této vyhlášky je §29, jenž popisuje energetické napájecí systémy jaderné elektrárny. Z nařízení vyplývá, že by měla být jaderná elektrárna řešena blokově. Blokovým řešením se zabrání vzájemnému přenosu poruch mezi bloky. To znamená, že každý blok má svoje 400kV a 110kV vedení a svojí rozvodnu 400 kV a 110 kV. Tento způsob zajišťuje maximální provozní spolehlivost. Konkrétně je to vedení 400 kV a rezervní vedení 110 kV, obě tato vedení budou vést resp. vycházet z rozvodny Kočín, která je vzdálena 3 km od Jaderné elektrárny Temelín (ETE).[13]

Dnes ještě není rozhodnuto o tom, kdo bude stavět nové bloky ETE. Ve výběrovém řízení jsou 3 firmy a jejich projekty. Jmenovitě je to AES-2006 -MIR 1200, Areva EPR^{TM} a Westinghouse AP1000^{TM}. Velká otázka je jaký zvolí vítězná firma princip strojovny, zdali jedno turbosoustrojí velkého výkonu nebo dvě poloviční. Další otázkou je, jakými otáčkami se bude soustrojí otáčet.

Rychloběžné turbosoustrojí otáčející se 3000 ot/min se vyrábí do výkonu 1200 MWe. U vyšších výkonů nastávají problémy s posledními nejdelšími lopatkami nízkotlakého dílu turbíny. Působí na ně enormní síly, vyžadující použití speciálních materiálů. Dalším úskalím je menší výstup páry do kondenzátoru, což přináší menší účinnost. Český výrobce Škoda vyrábí pouze rychloběžné turbosoustrojí. Od zmíněné firmy nalezneme turbíny též na stávajících blocích ETE. Pro projekt MIR 1200 by turbosoustrojí dodávala firma Power Machine. Firma přichází se zajímavým uspořádáním turbíny do tzv. motýlku. Vysokotlaký díl turbíny je zde umístěn uprostřed a nízkotlaké po stranách. Velmi zajímavý je generátor, plně chlazený vodou, díky čemuž odpadají mnohá pomocná hospodářství.[9]

Pomaloběžné turbosoustrojí je ve světě hojně využíváno pro vysoké výkony. Při poloviční otáčkách na poslední lopatky nízkotlakého dílu působí ve výsledku menší síly, i když jsou skoro dvakrát delší než v předchozím případě. Důkazem je použití pomaloběžného turbosoustrojí o výkonu 1750MWe od společnosti Alstom, například v projektu Flamaville ve Francii. Možné případy připojení generátoru resp. generátorů do sítě je znázorněno na obr. 1.



Obrázek 1 - Situace s jedním turbosoustrojím nebo dvěma turbosoustrojími.[12]

1.1. Vedení 400 kV

Vedení je k bloku připojeno přes blokový transformátor. Z blokového transformátoru vedou zapouzdřené vodiče na generátorový vypínač a odbočkové transformátory vlastní spotřeby bloku. Z generátorového vypínače vedou zapouzdřené vodiče až ke generátoru, popsaná situace je znázorněna na obrázku 1. Z druhé strany je vedení připojeno k 400kV rozvodně v Kočíně. Při nominálním chodu bloku je výkon přenášen po venkovním lanovém vedení 400 kV do rozvodny Kočín. A v tomto režimu si blok přes odbočku za generátorovým vypínačem napájí svojí vlastní spotřebu. V případě najíždění, odstavování bloku nebo nějaké poruchy, která zapříčiní vypnutí generátorového vypínače, může být vlastní spotřeba napájena po venkovním lanovém vedení 400 kV.[1]

1.1.1. Blokový transformátor

Blokový transformátor je umístěn v rozvodně 400 kV a skládá se ze tří jednofázových jednotek oddělených betonovými příčkami. Betonová příčka zde slouží jako protipožární stěna. Pod transformátory je záchytná jímka určená pro chladící olej v případě havárie či netěsnosti. Zmíněné transformátory transformují svorkové napětí turbogenerátoru na zvlášť

vysoké napětí 400 kV. Jelikož se jedná o transformátory velkého výkonu, musí mít nucené olejové chlazení. Olej zde neslouží jen jako chladící médium, ale i jako izolační materiál.

Jednotlivé transformá- tory jsou vybaveny mnohými ochranami např. Buchholzovo relé, rozdílová, impedanční, nadproudové ochrany.[1]

1.1.2. Odbočka vlastní spotřeby

V linii vyvedení výkonu jsou udělány odbočky pro třífázové transformátory vlastní spotřeby. Propojení mezi blokovým transformátorem a transformátory vlastní spotřeby je opět uděláno zapouzdřenými vodiči. Transformátory vlastní spotřeby napájí rozvodny vysokého napětí, které napájí velké spotřebiče, transformátory a rozvodny nízkého napětí. Všeobecně se vlastní spotřeba jaderného bloku pohybuje do 8 %. Na dosavadních dvou blocích se pohybuje vlastní spotřeba kolem 5 %, ale u zvažovaných nových bloků by se měla přiblížit k 7 %. Za příčinou nárůstu vlastní spotřeby je využitím elektronapáječek, zajišťujících cirkulaci v sekundárním okruhu.[1]

1.1.3. Generátorový vypínač

Generátorový vypínač se skládá ze tří jednofázových jednotek a součástí každé jednotky je odpojovač pro viditelné odpojení kontaktů. Generátorový vypínač má tři hlavní funkce:

- Ve vypnutém stavu umožňuje přes linku 400 kV napájet vlastní spotřebu bloku.
- Připojuje turbogenerátor k elektrizační síti.
- Při poruše na turbogenerátoru nebo turbíně se vypne a oddělí tak soustrojí od elektrizační sítě a blok může být napájen z linky 400 kV.[1]

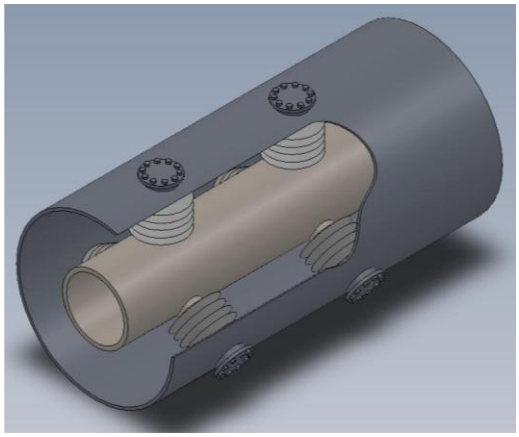
1.1.4. Zapouzdřené vodiče

Zapouzdřené vodiče jsou použity mezi blokovým transformátorem a generátorovým vypínačem. Dále pak mezi generátorovým vypínačem a generátorem. Zde musí být vodiče dimenzovány na protékající proud desítky kA. Za generátorovým vypínačem je udělána ze zapouzdřených vodičů odbočka na transformátory vlastní spotřeby. Odbočka je dimenzovaná na protékající proud jednotky kA. V pouzdru zapouzdřeného vodiče je holý

hliníkový vodič, který je k pouzdru připevněn izolátory. Ilustrativní zapouzdřený vodič je na obrázku 2.

Výhody použití zapouzdřených vodičů:

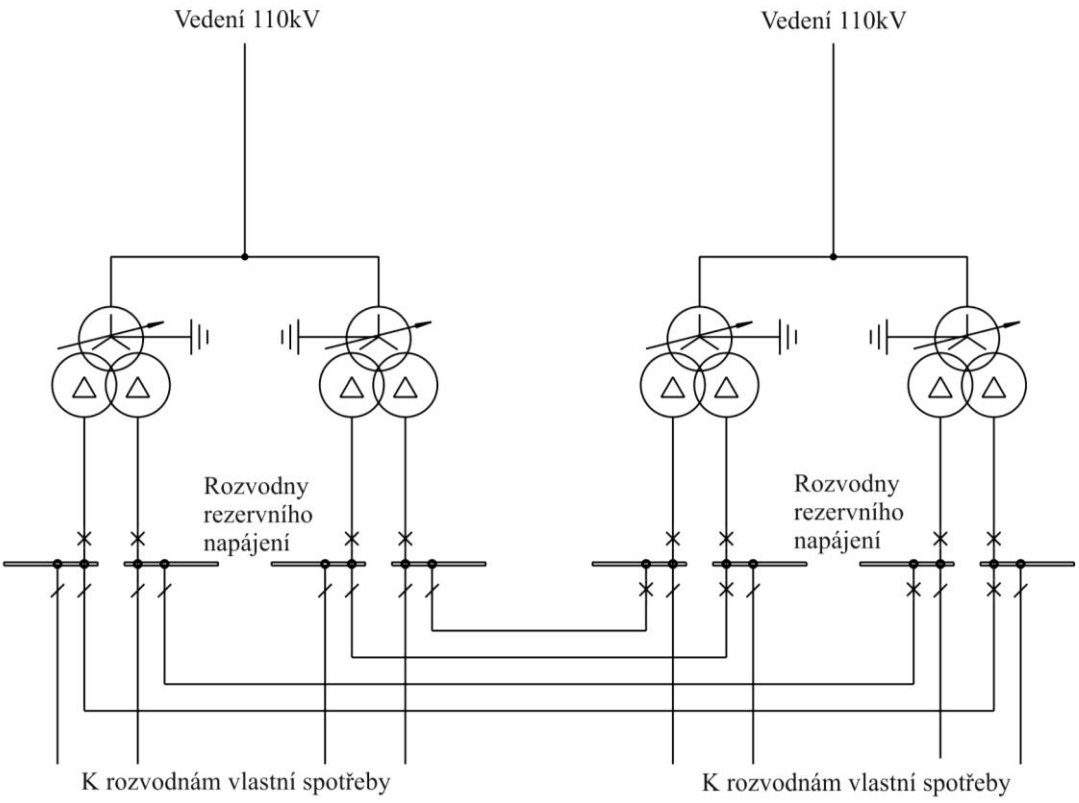
- Šetří prostory.
- Omezují přímé zkraty.
- Snižují ztráty způsobené elektromagnetickou indukci do ostatních konstrukcí.[1]



Obrázek 2 - Zapouzdřený vodič

1.2. Rezervní vedení 110 kV

Toto vedení je využíváno k napájení vlastní spotřeby při výpadku pracovního zdroje, nebo během odstávky při práci vyžadující vypnutí vedení 400 kV. Vedení 110 kV je přiváděno z rozvodny Kočín ke dvěma třívinuťovým transformátorům rezervního napájení. Z transformátorů jsou zapouzdřenými vodiči napájeny rozvodny vysokého napětí vlastní spotřeby. Významným provozním i bezpečnostním prvkem je vzájemné propojení rozvoden vysokého napětí vlastní spotřeby mezi bloky, viz obrázek 3.[1]



Obrázek 3 - Schéma systému rezervního napájení.[14]

1.2.1. Rezervní transformátor vlastní spotřeby

Rezervní transformátor je proveden jako třífázová jednotka s nuceným olejovým chlazením, ovšem i zde olej slouží jako chladící médium a jako izolační materiál. Rezervní transformátor transformuje napětí 110 kV na vysoké napětí a napájí rezervní rozvodny vlastní spotřeby. Ze strany 110 kV je instalován přepínač odboček z důvodu regulace napětí. Rezervní transformátor je umístěn venku před budovou hlavního výrobního bloku v rozvodně 110 kV.[1]

1.2.2. Zapouzdřené vodiče

Zapouzdřené vodiče jsou použity mezi rezervním transformátorem a rezervní rozvodnou vlastní spotřeby. Vodiče jsou zde dimenzovány na protékající proud řádově jednotky kA. Tyto zapouzdřené vodiče mají stejné vlastnosti, jako zapouzdřené vodiče v kapitole 1.1.4.[1]

1.3. Rozvodny 400 kV a 110 kV v ETE

Pro větší bezpečnost provozu a spolehlivost dodávky elektrické energie, jsou rozvodny 400 kV a 110 kV v areálu ETE minimálně vybaveny.

1.3.1. Venkovní rozvodny 400 kV

Zařízení rozvodny 400 kV je určeno:

- K vyvedení vyrobeného výkonu
- K napájení blokové vlastní spotřeby z vedení 400 kV

Ve stávajících blocích zařízení vývodového vedení nemá žádné spínací prvky ani žádné měřící transformátory proudu a napětí. Pokud bude zvolena varianta s jedním turbosoustrojím, tak nejspíše tato filozofie bude použita i u nových bloků. Tvrzení se odvolává na koncepci stávajících bloků ETE. Ovšem pokud bude zvolena druhá varianta se dvěma turbosoustrojími, tak na vývodu budou muset být vývodové vypínače. Jak je znázorněno na obrázku 1. Když opomeneme problém ohledně turbosoustrojí, tak jediným zařízením rozvodny jsou svodiče přepětí a lanové vedení 400 kV.[1]

1.3.2. Venkovní rozvodny 110 kV

Rozvodny 110 kV jsou určeny pro rezervní napájení vlastní spotřeby bloků ETE. Také rozvodna 110 kV je umístěna v areálu ETE a je vybavena minimálním počtem prvků. Kromě svodičů přepětí a lanového vedení jsou v přívodu instalovány měřící transformátory napětí. V nominálním režimu je vedení 110 kV pod napětím naprázdno.[1]

2. Podmínky pro návrh vyvedení výkonu a rezervního napájení

V této kapitole jsou zmíněné nejen podmínky pro návrh vedení, ale i informace o nových blocích, znečištění v okolí chladících věží, rozestupy od stávajících linek, minimální výšky lan a obecný rozbor hygienické normy, týkající se elektromagnetického pole v živých organismech.

2.1. Základní informace o nových blocích

Už při návrhu o výstavbě ETE v 80. letech bylo počítáno, že bude disponovat čtyřmi bloky VVER 1000, ale po listopadu 1989 došlo v nových politických a především ekonomických podmínkách k přehodnocení potřeby výkonu a projekt byl zúžen pouze na dva bloky VVER 1000. Z důvodu energetické nezávislosti a přísnějším ekologickým limitům se začala zvažovat dostavba. V dnešní době už jsou známy 3 firmy s projekty, které se do soutěže o dostavbu ETE přihlásily.[2]

2.1.1. AES 2006 - MIR 1200

Ruský projekt pod označením AES 2006 (nyní MIR 1200), je projektem odvozeným od reaktorů typu VVER 1000. Jedná se o projekt s tlakovodním reaktorem, vyvinutým firmami Atomstroyexport a Gidropress. Tento projekt je licencován v Rusku. V současné době probíhá výstavba těchto bloků v lokalitě Novovoroněžské a Leningradské elektrárny. Projekt disponuje čistým elektrickým výkonem 1068 MW a vlastní spotřebou 7,26 %.[2]

Obrázek 4 - Ilustrativní obrázek designu AES 2006 – MIR 120.[3]

2.1.2. Areva EPR™

Francouzský projekt pod označením EPR™, je projektem odvozeným od reaktorů N4 a Konvoi. Jedná se o projekt s tlakovodním reaktorem vyvinutým firmou Areva. Tento projekt je licencován ve Francii, Finsku a také v Číně. V současné době probíhá výstavba těchto bloků v lokalitě Olkiluoto ve Finsku, Flamanville ve Francii a Taishan v Číně. Projekt disponuje elektrickým výkonem 1750 MW a vlastní spotřebou 6,69 %.[2]

Obrázek 5 - Ilustrativní obrázek designu EPR.[4]

2.1.3. Westinghouse AP1000™

Americký projekt pod označením AP1000™, je projektem vycházejícím z technologií ověřených 50 lety provozu a zkušeností firmy Westinghouse. Jedná se o projekt s tlakovodním reaktorem. Tento projekt je licencován v USA a také v Číně. V současné době probíhá výstavba těchto bloků v lokalitě Sanmen a Haiyang v Číně a Vogtle v Georgii USA. Projekt disponuje elektrickým výkonem 1200 MW a vlastní spotřebou 6,99 %.[2]

Obrázek 6 - Ilustrativní obrázek designu AP 1000.[5]

2.2. Návrh vedení

Návrh venkovního vedení je proveden jak po stránce elektrické, tak po stránce mechanické. Současně hledáme ekonomické optimum, též po obou dvou stránkách. Dále je nutné se při navrhování vedení zabývat i mechanikou venkovního vedení, kde základním požadavkem je volba správných materiálů, uspořádání stožárů a vlastního vedení jak z ekonomického tak z pevnostního hlediska, s ohledem na okolní terén a povětrnostní podmínky. Samozřejmě nesmí být opomenut vliv na obyvatelstvo (elektromagnetické pole, akustický hluk atd.). Při návrhu vedení je nutné vše dimenzovat tak, aby vedení zůstalo neporušeno v kritických situacích, a přitom byl návrh ekonomicky výhodný.

V projektu venkovního vedení je nezbytné určit namáhání a průhyb vodičů z těchto důvodů:

- V předpisech všech států je stanovena z bezpečnostních důvodů minimální výška vodičů nad půdou, cestami, kolejnicemi a jinými vedeními za nejrůznějších povětrnostních podmínek. Stanoveno je též namáhání vodičů, která se nesmí překročit při větru a námrazách. V současnosti jsou v rámci EU sjednoceny základní podmínky a přístupy v normě (pro navrhované vedení): Elektrické venkovní vedení s napětím nad AC 45 kV – ČSN EN 503 41-1, která od r. 2007 nahrazuje ČSN 33 3300.
- Z provozních důvodů musí být vedení dostatečně odolné při všech povětrnostních podmínkách, aby se minimalizovaly poruchy v dodávce elektrické energie.[8]

Problematika nepříznivých vlivů působících na vedení musí být projektována v souladu s ČSN 50341-1 a skládá se z několika bodů, z nichž jsou nejdůležitější křižovatky a souběhy s ostatními vedeními.

V hlavních zásadách této problematiky je zakotveno, že vedení vyššího napětí musí být umístěno nad vedením nižšího napětí a horní vedení je provedeno se zvýšenou bezpečností I. třídy dle citované normy.

Izolátorové závěsy musí být sestaveny z izolátorů s minimální pevností rovnou alespoň čtyřnásobku maximálního zatížení (jednoduché závěsy) nebo trojnásobku zatížení (vícenásobné závěsy).

Námraza – vedení jsou dimenzována podle ČSN 50341-1, kde je stanovena velikost námrazku pro dimenzování vedení. Vedení jsou pak projektována dle závazných podkladů o námrazových oblastech. Ve výpočtech dimenzování je uvažováno v námrazové oblasti se stejnými fázovými vodiči v celé délce vedení.

Znečištění – v EN ČSN 33 0405 se dělí oblasti dle stupně znečištění. Rozlišují se stupně I. – IV. a N (v okolí chladících věží zvýšená tvora vodivé námrazy). V dané oblasti se stupeň znečištění stanoví na základě měření a vyhodnocení spadu, korigované zkušenostmi s provozem dosavadní venkovní izolace v dané oblasti. Vedení v okolí ETE jsou dimenzována na oblast znečištění I, vývodová vedení jsou dimenzována pro oblast N do vzdálenosti 600 m od chladících věží.

Atmosférické přepětí – v okolí ETE je minimální výskyt bouřek. Všechna vedení jsou chráněna před přímým úderem blesku jedním (110 kV) nebo dvěmi (400 kV) zemními lany a před zpětným přeskokem dostatečně malým odporem uzemnění stožáru.[7]

2.2.1. Ustálené oteplení vodiče[10]

Metoda pro výpočet ustáleného oteplení je zakotvena v ČSN 50341-3-19. Meteorologické parametry ovlivňující teplotní stav vodiče, obsahují rychlost a směr větru, okolní teplotu a sluneční záření. Jsou-li elektrické parametry vedení konstantní, teplota vodiče se výrazně nemění. V rovnici tepelné bilance se teplo dodané do vodiče musí rovnat teplu vydanému.

Rovnice tepelné bilance:

$$P_j + P_M + P_s + P_i = P_c + P_r + P_w \tag{2.1}$$

kde:

P_j	Jouleho ztráty	P_c	chlazení vedením
P_M	magnetické ztráty	P_r	chlazení sáláním
P_S	solární oteplení	P_w	chlazení odpařováním
P_i	korónové ztráty		

Proudový ohřev

Proudový ohřev je způsoben průchodem proudu a zahrnuje Jouleho ztráty, magnetické ztráty a skin efekt. Metody zde popsané jsou přibližné, pro proudové hustoty překračující 1,5A/mm^2 je vhodné použít přesnější výpočtové metody.

Jouleho ztráty odkazují na zahřátí vodiče průchodem proudu přes odpor. Magnetické ztráty se vztahují k ohřátí vodiče opakovaným přemagnetováním způsobeným vířivými proudy. Tento jev se vyskytuje pouze u střídavého proudu, výrazný je pouze u vodičů s ocelovým jádrem. U neferomagnetických vodičů je zanedbatelný.

$$P_j = I_{dc}^2 \cdot R_{dc} \cdot [1 + \alpha \cdot (T_{av} - 20)] \tag{2.2}$$

Je vypočten střídavý proud procházející vodičem a za pomoci empirického vzorce přepočten na proud stejnosměrný.

$$I_{dc} = I_{ac} \cdot \sqrt{1{,}0123 + 2{,}36 \cdot 10^{-5} \cdot I_{ac}} \tag{2.3}$$

Sluneční ohřev

Teplo ze slunečního ohřevu závisí na průměru vodiče (méně na jeho sklonu), absorpci povrchu, intenzitě (povrch kolmý k paprskům), nadmořské výšce, úhlu dopadu a odrazivosti povrchu pod vodičem. Teplo získané ze slunečního ohřevu může být přesně vypočteno pouze, pokud jsou známy všechny výše uvedené proměnné, včetně přímého i rozptýleného slunečního záření.

V praxi se však měřicí přístroje přímého slunečního záření ukázaly být příliš drahé. Z druhé strany měřicí přístroje pro rozptýlené záření potřebují neustálou pozornost a není tudíž výhodné používat je na odlehlých místech. Souhrnné měřicí přístroje slunečního záření jsou celkem levné a spolehlivé. Pro uvedené důvody následuje popis metody využívající souhrnné sluneční záření.

$$P_S = \alpha_s \cdot S \cdot D \tag{2.4}$$

kde: α_s…… absorpce povrchu vodice
S …… souhrnné sluneční záření
D…… vnější průměr vodiče

Ohřev korónou

Je významný jedině při vysokých gradientech povrchového napětí za přítomnosti srážek a silného větru, kdy je velké ochlazování, v opačném případě je zanedbatelný.

Chlazení vedením

Horký povrch vodiče ohřívá okolní vzduch, snižuje jeho hustotu, tím teplejší vzduch stoupá a chladnějším vzduchem se vodič ochlazuje.

Parametry použité při výpočtu tepla vedením:

- *Reynoldsovo číslo* $Re = \frac{\rho_r \cdot V \cdot D}{v_f}$ (2.5)

kde: V rychlost větru
v_f kinematická viskozita
ρ_r relativní hustota vzduchu

- *Grashofovo číslo* $Gr = \frac{D^3 \cdot (T_s - T_a) \cdot g}{(T_f + 273) \cdot v_f^2}$ (2.6)

kde: T_s povrchová teplota vodiče
T_a okolní teplota

- *Prandtlovo číslo* $Pr = \frac{c \cdot \mu}{\lambda_f}$ (2.7)

kde: c měr. tep. kap. vzduchu za konst. tlaku
μ dynamická viskozita vzduchu

Empirické rovnice pro výpočet výše uvedených proměnných jsou:

$$v_f = 1{,}32 \cdot 10^{-5} + 9{,}5 \cdot 10^{-8} \cdot T_f \quad (2.8)$$

$$\lambda_f = 2{,}42 \cdot 10^{-2} + 7{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot T_f \quad (2.9)$$

$$Pr = 0{,}715 - 2{,}5 \cdot 10^{-4} \cdot T_f \quad (2.10)$$

$$T_f = 0{,}5 \cdot (T_s + T_a) \quad (2.11)$$

$$\rho_r = e^{-1{,}16 \cdot 10^{-4} \cdot y} \quad (2.12)$$

Odvod tepla vedením je dán vztahem:

$$P_c = \pi \cdot \lambda_f \cdot (T_s - T_a) \cdot Nu \quad (2.13)$$

kde Nusseltovo číslo je dáno jednou z následujících rovnic (2.14; 2.15; 2.16; 2.17)

Nucené chlazení vedením

$$Nu = B_1 \cdot (Re)^n \tag{2.14}$$

kde B_1 a n jsou konstanty závislé na Reynoldsovo čísle a hrubosti povrchu použitého vodiče $R_f = \frac{d}{(2\cdot[D-d])}$ z první tabulky

Tabulka 1 - Konstanty pro výpočet nuceného chlazení vedením vodičů

povrch	Re		B_1	n
	od	do		
pro všechny lanové povrchy	10^2	$2{,}65\cdot10^3$	0,641	0,471
lana $R_f \leq 0{,}05$	$> 2{,}65\cdot10^3$	$5\cdot10^4$	0,178	0,633
lana $R_f > 0{,}05$	$> 2{,}65\cdot10^3$	$5\cdot10^4$	0,048	0,800

Směr větru hraje důležitou roli v efektivitě nuceného chlazení vedením. Nusseltovo číslo se mění sinusově s úhlem δ.

$$Nu_\delta = Nu_{90} \cdot [A_1 + B_2 \cdot (\sin\delta)^{m_1}] \tag{2.15}$$

$$A_1 = 0{,}42 \;\; B_2 = 0{,}68 \;\; a \;\; m_1 = 1{,}08 \;\; pro \; 0° < \delta < 24°$$

$$A_1 = 0{,}42 \;\; B_2 = 0{,}58 \;\; a \;\; m_1 = 0{,}90 \;\; pro \; 24° < \delta < 90°$$

S nízkou rychlostí větru pod 0,5 m/s bylo zjištěno, že nezávisle na směru větru neklesne Nusseltovo číslo pod hodnotu:

$$Nu_{cor} = 0{,}55 \cdot Nu_{90} \tag{2.16}$$

Přirozené chlazení vedením

Nusseltovo číslo pro přirozené chlazení vedení závisí na výsledku Grashofova a Prandtlova čísla:

$$Nu = A_2(Gr \cdot Pr)^{m_2} \tag{2.17}$$

Tabulka 2 - Konstanty pro výpočet přirozeného chlazení vedením

Gr Pr		*A_2*	*m_2*
od	*do*		
10^2	*10^4*	*0,850*	*0,188*
10^4	*10^6*	*0,480*	*0,250*

Chlazení sáláním

Chlazení sáláním obvykle tvoří malou část celkových ztrát tepla.

$$Pr = \pi \cdot D \cdot \varepsilon \cdot \sigma_B.[(T_s + 273)^4 - (T_a + 273)^4] \quad (2.18)$$

kde: ε emisivita (závisí na povrchu vodiče)

σ_B Stefan-Boltzmannova konstanta

Chlazení odpařováním

Ochlazení způsobené odpařováním nezávisí významně na přítomnosti odpařující se vody ve vzduchu nebo v kapkách ztékajících po vodiči. Významně se mění, jakmile je vodič vlhký. Obecně je toto chlazení nepodstatné.

2.2.2. Oteplení vodiče při zkratu[10]

Finální teplota vodiče

$$T_2 = \frac{[1+\alpha\cdot(T_1-20)]\cdot e^{\frac{I_{th}\cdot\rho_{dc}\cdot\alpha}{A\cdot(A_1.\gamma_1\cdot c_1+A_2\cdot\gamma_2\cdot c_2)}\cdot t}-1}{\alpha} + 20 \quad (2.19)$$

Tepelný ekvivalent krátkodobého proudového přetížení I_{th} pro danou konečnou teplotu může být spočten podle:

$$I_{th} = \sqrt{\frac{A\cdot(A_1.\gamma_1\cdot c_1+A_2\cdot\gamma_2\cdot c_2)}{\rho_{dc}\cdot\alpha\cdot t}\cdot \ln\frac{1+\alpha\cdot(T_2-20)}{1+\alpha\cdot(T_1-20)}} \quad (2.20)$$

ρ_{dc}	=	ρ_a			γ_1	=	γ_a
α	=	α_a			c_1	=	c_a
A	=	A_1	=	A_a	γ_2	=	γ_s
A_2	=	A_s			c_2	=	c_s

Maximální dovolené teploty vodičů ve zkratu

V normě IEC 60 865 – 1 se udávají nejvyšší doporučené krátkodobé teploty vodičů. Tyto hodnoty jsou též v tabulce 3. Při dosažení teploty může nastat zanedbatelný pokles pevnosti, což neohrozí bezpečnost provozu, ale zkracuje jeho životnost.

Tabulka 3 - Doporučené nejvyšší teploty pro namáhané vodiče během zkratu.[10]

Typ vodiče	*Maximální teplota vodiče*
Měď, hliník, slitiny hliníku, vodič s ocelovým jádrem	*200°C*
Ocel	*300°C*

2.2.3. Mechanické namáhání vodiče

Při výpočtu mechanického namáhání venkovního vedení je vycházeno ze situace, kdy se vodič zavěšený mezi dva body prohýbá do průhybové křivky, vyjádřené pomocí řetězovky (pružná nebo nepružná) nebo paraboly. Řetězovka se používá při venkovním vedení větších rozměrů nebo s velkými sklony terénu, parabola u malých a středních rozpětí (do 400 m). Přičemž u průhybové křivky je uvažováno, že tíha části vodiče je stálá a daná rovnoměrným rozdělením tíhy.

Při odvozování průhybové křivky je vycházeno z mechanických podmínek rovnováhy vodiče. Vodič se nalézá v klidu, je-li součet sil, které na něj působí nulový a součet momentů sil v libovolném bodě též nulový. V zásadě je uvažováno s působením osové síly, způsobené napnutím vodiče, hmotností řešené části vodiče a vnějším zatížením, způsobeným povětrnostními podmínkami.[15]

Odvození pomocí řetězovky

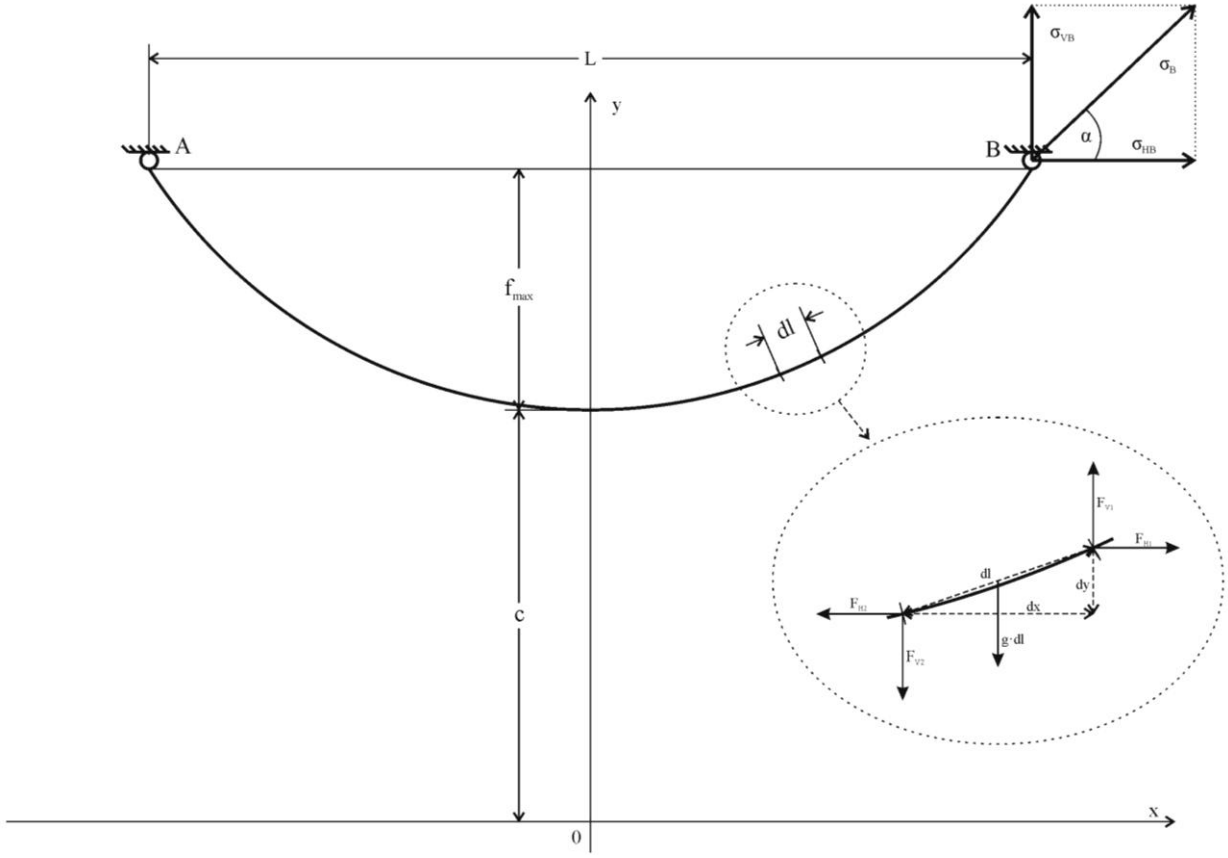
Při odvození vycházíme z mechanických podmínek rovnováhy. Platí, pokud je součet sil působící na klidný vodič nulový, tak i při nulovém součtu momentů sil k libovolnému bodu. Zprvu je zvolen element vodiče o délce dl, na níž se budou zkoumat podmínky rovnováhy (viz obr. 7).

Předpoklady*:*

Osa x: $\sum_i F_{Hi} = 0 \quad F_{H1} - F_{H2} = 0 \quad dF_H = 0$ (2.21)

Osa y: $\sum_i F_{Vi} = 0 \quad F_{V1} - F_{V2} - g \cdot dl = 0 \quad dF_V = g \cdot dl$ (2.22)

Moment: $\sum_i M_i = 0 \quad F_{V1} \cdot dx - F_{H1} \cdot dy = 0$ (2.23)



Obrázek 7 - Průhybová křivka – souměrný závěs.[15]

Po dosazení za $dl = \sqrt{dx^2 + dy^2}$ *:*

$$dF_V = g \cdot dl \Rightarrow \frac{dF_V}{dx} = g \cdot \frac{dl}{dx} \Rightarrow \frac{dF_V}{dx} = g \cdot \sqrt{\frac{dx^2+dy^2}{dx^2}} \Rightarrow \frac{dF_V}{dx} = g \cdot \sqrt{1+\frac{d^2y}{dx^2}} \qquad (2.24)$$

Podmínkou rovnováhy momentů (2.23) lze vyjádřit:

$$F_{V1} \cdot dx - F_{H1} \cdot dy = 0 \Rightarrow F_V \cdot dx = F_H \cdot dy \Rightarrow F_V = F_H \cdot \frac{dy}{dx} \Rightarrow \frac{dF_V}{dx} = F_H \cdot \frac{d^2y}{dx^2} \qquad (2.25)$$

Dosazením za $\frac{dF_V}{dx}$ z rovnice (2.24) do (2.25) je získána diferenciální rovnice průhybové křivky:

$$F_H \cdot \frac{d^2y}{dx^2} = g \cdot \sqrt{1+\frac{d^2y}{dx^2}} \Rightarrow \left|\frac{dy}{dx} = y'\right| \Rightarrow F_H \cdot \frac{dy'}{dx} = g \cdot \sqrt{1+(y')^2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sqrt{1+(y')^2} = \frac{F_H}{g} \cdot \frac{dy'}{dx} \Rightarrow \left|\frac{F_h}{g} = \frac{F_H}{S} \cdot \frac{S}{g} = \frac{\sigma_H}{\gamma}\right| \Rightarrow \sqrt{1+(y')^2} = \frac{\sigma_H}{\gamma} \cdot \frac{dy'}{dx} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{dy'}{\sqrt{1+(y')^2}} = \frac{\gamma}{\sigma_H} \cdot dx \qquad (2.26)$$

Průhybová rovnice je řešena pomocí integrace:

$$\int \frac{dy'}{\sqrt{1+(y')^2}} = \int \frac{\gamma}{\sigma_H} \cdot dx \Rightarrow \sinh^{-1} y' = \frac{\gamma}{\sigma_H} \cdot (x + k_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow y' = \sinh \frac{\gamma}{\sigma_H} \cdot (x + k_1) \Rightarrow \frac{dy}{dx} = \sinh \frac{\gamma}{\sigma_H} \cdot (x + k_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{dy}{dx} = \sinh \frac{\gamma}{\sigma_H} \cdot (x + k_1) \Rightarrow dy = (\sinh \frac{\gamma}{\sigma_H} \cdot (x + k_1))dx$$

$$\int dy = \int (\sinh \frac{\gamma}{\sigma_H} \cdot (x + k_1))dx \Rightarrow y = \frac{\sigma_H}{\gamma} \cosh \left[\frac{\gamma}{\sigma_H} \cdot (x + k_1)\right] + k_2 \quad (2.27)$$

Integrační konstanty v rovnici (2.27) lze stanovit z okrajových podmínek:

Pro k_1: $x = 0$ a $y' = 0$

$$0 = \sinh \frac{\gamma}{\sigma_H} \cdot k_1 \Rightarrow k_1 = 0 \quad (2.28)$$

Pro k_2: $x = 0$ a $y = \frac{\sigma_H}{\gamma}$

$$\frac{\sigma_H}{\gamma} = \frac{\sigma_H}{\gamma} + k_2 \Rightarrow k_2 = 0 \quad (2.29)$$

Výsledný tvar průhybové křivky:

$$y = \frac{\sigma_H}{\gamma} \cdot \cosh \frac{\gamma \cdot x}{\sigma_H} \Rightarrow \left| c = \frac{\sigma_H}{\gamma} \right| \Rightarrow \underline{y = c \cdot \cosh \frac{x}{c}} \quad (2.30)$$

kde c je parametr křivky a je roven

$$c = \frac{F_H}{g} = \frac{\sigma_H}{\gamma} \quad (2.31)$$

Parametr křivky nabývá hodnoty stovky metrů. Rovnice v tomto tvaru uvažuje jen tíhu vlastního vodiče, proto je zaváděn pojem přetížení. Tento pojem respektuje přídavné zatížení vodiče, vítr, námraza, vítr na omrzlý vodič nebo kombinované zatížení.

$$c = \frac{\sigma_H}{\gamma \cdot z} \quad (2.32)$$

Průhybová křivka jako parabola:

Rovnici křivky lze získat zjednodušením rovnice řetězovky, rozvede-li se cosinus hyperbolický v mocninnou řadu a změní-li se umístění souřadného systému tak, aby křivka ve svém nejnižším bodě procházela počátkem souřadnic.

$$y = c \cdot \left[1 + \frac{1}{2!} \cdot \left(\frac{x}{c}\right)^2 + \frac{1}{4!} \cdot \left(\frac{x}{c}\right)^4 + \cdots\right] \tag{2.33}$$

Po zanedbání třetího a dalších členů je konečný tvar rovnice průhybové křivky jako paraboly:

$$y = \frac{x^2}{2 \cdot c} = \frac{x^2 \cdot \gamma \cdot z}{2 \cdot \sigma_H} \tag{2.34}$$

Mechanický výpočet - souměrně zatížený vodič:

Mechanickým výpočtem vodiče se rozumí stanovení geometrických rozměrů a namáhání vodiče. Při výpočtu se vždy stanovuje namáhání v závěsných bodech a průhyby. Průhyby se stanovují pro kontrolu výšky vodiče nad zemí nebo konstrukcemi pod vedením. Souměrně zatíženým vodičem se rozumí, kdy jsou závěsné body A a B ve stejné nadmořské výšce, viz obrázek 7.

Výpočet maximálního průhybu:

a) Řetězovkou

$$f_m = \frac{\sigma_H}{\gamma \cdot z} \cdot \left(\cosh \frac{L \cdot \gamma \cdot z}{2 \cdot \sigma_H} - 1\right) \tag{2.35}$$

b) Parabolou

$$f_m = \frac{L^2 \cdot \gamma \cdot z}{8 \cdot \sigma_H} \tag{2.36}$$

Výpočet mechanického napětí:

Z obrázku 7 vyplývá, že mechanická napětí v závěsných bodech jsou stejná a jsou rovna součtu horizontální a vertikální složky napětí.

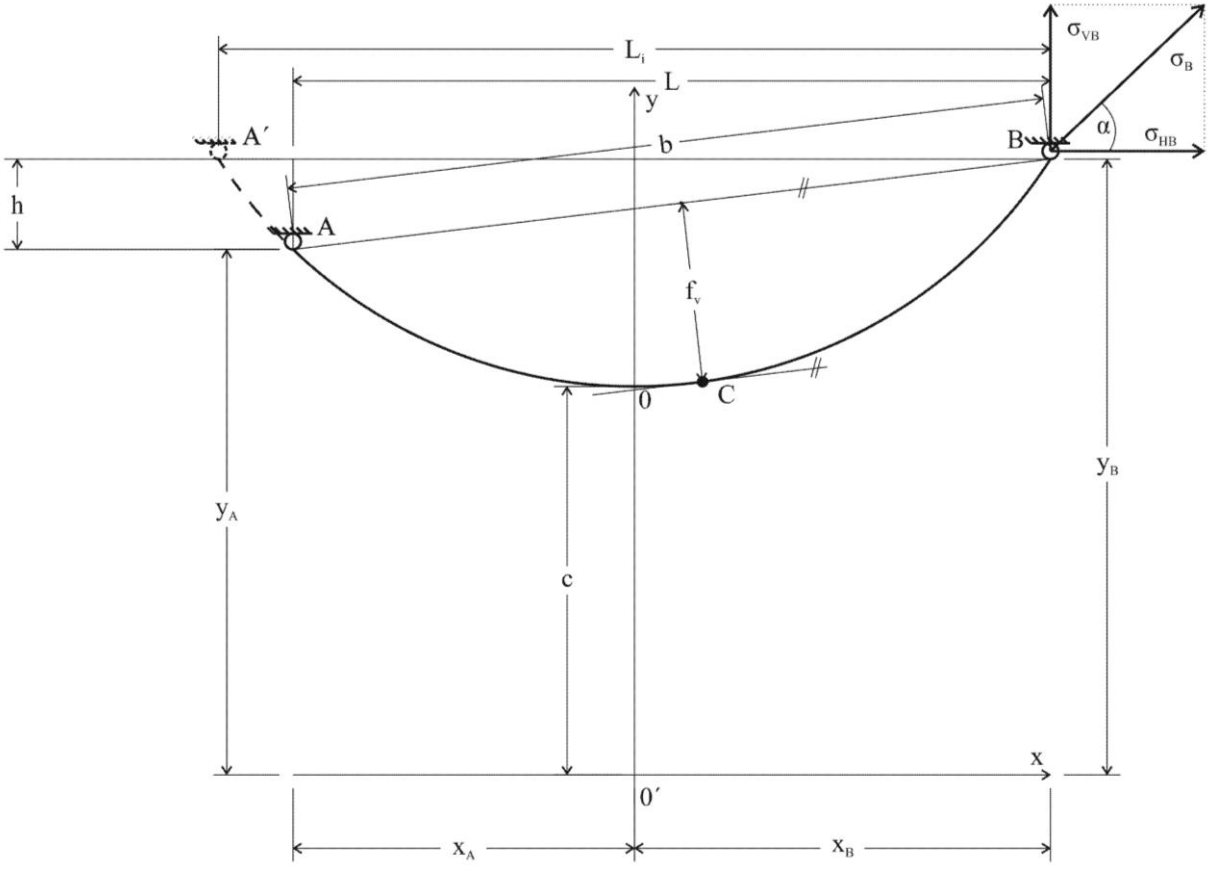
$$\sigma_B = \frac{\sigma_H}{\cos \alpha} \tag{2.37}$$

$$\sigma_B = f_m \cdot \gamma \cdot z + \sigma_H \tag{2.38}$$

$$\sigma_{VB} = \sigma_H \cdot \tan \alpha = \sinh \frac{L}{2 \cdot c} \tag{2.39}$$

Mechanický výpočet - nesouměrně zatížený vodič:

Nesouměrné zavěšení nemá závěsné body ve stejné výši, jejich rozdíl je nazýván převýšením. Závěs jde řešit doplněním na souměrný a stanovením ideálního rozpětí. Po umístění os podle obrázku 8 má křivka vodiče stejnou rovnici jako u souměrného závěsu. Namáhání a síly se stanoví z podmínek rovnováhy sil v osách. Geometrické rozměry lze stanovit řešením rovnice křivky nebo z podmínek momentové rovnováhy sil k závěsným bodům.



Obrázek 8 - Průhybová křivka – nesouměrný závěs[15]

***Výpočet vzdáleností*:**

$$x_A = \frac{L}{2} - \frac{\sigma_H \cdot h}{L \cdot \gamma \cdot z} \tag{2.40}$$

$$x_B = \frac{L}{2} + \frac{\sigma_H \cdot h}{L \cdot \gamma \cdot z} \tag{2.41}$$

Výpočet parametru řetězovky:

$$c = \frac{\sigma_H}{\gamma \cdot z} \tag{2.42}$$

***Výpočet délky šikmého rozpětí*:**

$$b = \frac{L}{\cos\left(\tan^{-1}\frac{h}{L}\right)} \tag{2.43}$$

***Výpočet viditelného průhybu*:**

$$f_V = b^2 \cdot \gamma \cdot \frac{z}{8 \cdot \sigma_H} \tag{2.44}$$

Výpočet mechanického napětí:

$$\sigma_A = c \cdot cosh\left(\frac{x_A}{c} \cdot \gamma \cdot z\right) \tag{2.45}$$

$$\sigma_B = c \cdot cosh\left(\frac{x_B}{c} \cdot \gamma \cdot z\right) \tag{2.46}$$

Klimatické podmínky a jejich vliv na výpočet zavěšeného vodiče

Mechanické namáhání vodičů, ale i dalších částí vedení závisí na klimatických poměrech, které mají vliv na jeho provozní bezpečnost. Působení různých druhů počasí má nahodilý charakter. Proto norma ČSN EN 50341-1 uvažuje typické stavy počasí.

Tabulka 4 - Zatěžovací stavy pro tah a průhyb vodiče

Zatěžovací stav	Teplota	Zatížení
Normální	-5°C	Vlastní tíha vodiče + normální námraza
Normální	-20°C	Vlastní tíha vodiče
Normální	-30°C	Vlastní tíha vodiče
Normální	+15°C	Vlastní tíha vodiče + vítr
Normální	+40°C	Vlastní tíha vodiče

Teplota

Délka a velikost namáhání vodiče se mění se změnou teploty. S růstem teploty se zvětšuje průhyb a zmenšuje namáhání. Z tohoto plyne, že je zásadní teplota vodiče. Maximální teplota je důležitá z hlediska výpočtu maximálního průhybu a kontroly předepsaná vzdálenosti od terénu. Naopak minimální teplota, při které nastane maximální zkrácení vodičů, je důležitá z hlediska namáhání. U šikmých rozpětí může dojít až k nadzvedávání izolátorů, protože se důl křivky dostane mimo rozpětí, z tohoto důvodu je nutné kontrolovat, aby vzdálenost x_A nenabývala zápornou hodnotu.

Při změnách teplot a přídavných zatížení se mění mechanické napětí ve vodiči a také jeho průhyb. Aby bylo zjištěno, jak se změní mechanické napětí se změnou teploty a zatížení se používá stavová rovnice.[15]

$$\sigma_{H2}^3 + \sigma_{H2}^2 \cdot \left[\frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot L^2 \cdot \left(\frac{z_1}{\sigma_{H1}}\right)^2 + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) - \sigma_{H1}\right] = \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot L^2 \cdot z_2^2 \tag{2.47}$$

$$\left[\frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot L^2 \cdot \left(\frac{z_1}{\sigma_{H1}}\right)^2 + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) - \sigma_{H1}\right] = M \tag{2.48}$$

$$\frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot L^2 \cdot z_2^2 = N \tag{2.49}$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{N}{\sigma_2 + M}} \tag{2.50}$$

Zatížení námrazou

Zatížení námrazou na složkách vedení jsou způsobena tvorbou námrazy z oblačnosti ve formě jinovatky, srážkové námrazy, mrznoucího deště nebo usazováním sněhu. Námraza nám zatěžuje vodič, ve směru tíhy vodiče a z toho plyne vztah pro zatížení.

$$z = \frac{n \cdot (g_v + q_I)}{n \cdot g_v} \tag{2.51}$$

Kde q_I je návrhové zatížení námrazou na jednotku vodiče, g_v je vlastní tíha vodiče a koeficient n nám respektuje počet vodičů ve svazku.

$$q_I = I_d = I_K \cdot \gamma_I \tag{2.52}$$

Kde I_K je charakteristické zatížení námrazou a γ_I je dílčí součinitel zatížení pro různé úrovně spolehlivosti. Součinitel nabývá hodnoty od 1 do 1,5 viz ČSN EN 50341-3 tabulka 4.2.11.

$$I_K = K_h \cdot I_R \tag{2.53}$$

Kde I_R je referenční zatížení námrazou na jednotku délky vodiče viz následující tabulka a součinitel K_h respektuje výšku vodiče nad zemí.

Tabulka 5 - Referenční zatížení námrazou

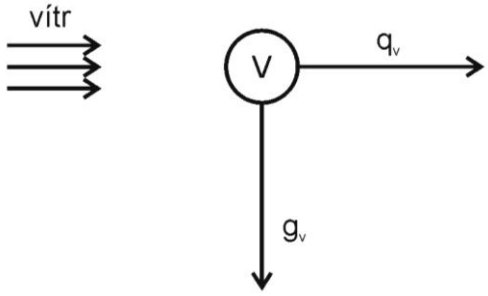
Námrazová oblast	Referenční zatížení námrazou I_R na jednotku délky vodiče o průměru d	
	d ≤ 30mm	d >30mm
N0	1.298+0.1562*d	5.267+0.0239*d
N1	3.873+0.2698*d	10.566+0.0467*d
N2	10.566+0.4457*d	21.423+0.0838*d
N3	18.305+0.5866*d	33.032+0.0957*d
N5	35.376+0.8155*d	55.569+0.1424*d
N8	63.077+1.0890*d	90.254+0.1831*d
N12	102.063+1.8352*d	143.619
N18	162.924+1.7501*d	215.427
NK	Stanoví se individuálně	

$$K_h = \left(\frac{h}{10}\right)^{0,13} \quad pro\ námrazové\ oblasti\ N0\ až\ N3 \tag{2.54}$$

$$K_h = \left(\frac{h}{10}\right)^{0,25} \quad pro\ námrazové\ oblasti\ N5\ až\ NK \tag{2.55}$$

Zatížení větrem

Vítr je dalším důležitým prvkem, který značně zatěžuje vedení, vítr vedení zatěžuje vodorovnou silou.



Obrázek 9 - Zatížení vodiče větrem[15]

$$z = \frac{\sqrt{n \cdot g_v^2 + q_w^2}}{n \cdot g_v} \tag{2.56}$$

Kde q_w je zatížení vodiče větrem na jednotku délky vodiče. Uvažuje se vodorovná síla, protože v tomto směru má vítr největší účinek.

$$q_w = q_h \cdot G_q \cdot C_c \cdot G_c \cdot d \cdot \cos^2 \Omega \tag{2.57}$$

Kde Ω úhel pod kterým vítr působí na vodič, d je průměr vodiče, G_c součinitel rozpětí, C_c součinitel aerodynamického odporu vodičů, G_q poryvový součinitel vzduchu a q_h je dynamický tlak větru, všechny tyto součinitele jsou v normě ČSN EN 50341-3.

$C_c = 1{,}0\ pro\ vodiče\ o\ průměru\ d \geq 16mm$
$C_c = 1{,}1\ pro\ vodiče\ o\ průměru\ 12{,}5mm \leq d \leq 16mm$
$C_c = 1{,}2\ pro\ vodiče\ o\ průměru\ d < 12{,}5mm$

$$G_q = \left(1 + \frac{2{,}28}{ln\frac{h}{z_0}}\right)^2 \tag{2.58}$$

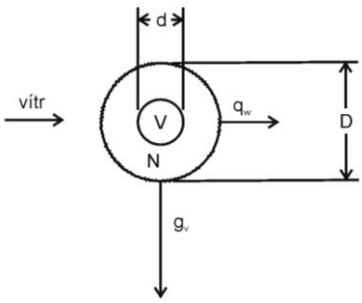
$$G_c = 1{,}3 - 0{,}083 \cdot ln(L) \tag{2.59}$$

$$q_h = 0{,}5 \cdot \rho \cdot V_h^2 \tag{2.60}$$

Kde ρ je relativní hustota vzduchu a V_h je rychlost vzduchu. Pokud tyto hodnoty nejsou k dispozici je možno je vypočíst podle ČSN EN 50341-1.

Kombinované zatížení

Při tomto druhu zatížení se uvazuje zatížení normální námrazou a se sníženým zatížením větru ve smyslu ČSN EN 50341-3.



Obrázek 10 - Zatížení vodiče s námrazou větrem[15]

$$z = \frac{\sqrt{n \cdot (g_v + q_I)^2 + q_{wcI}^2}}{n \cdot g_v} \tag{2.61}$$

$$q_{hcI} = \psi_{wc} \cdot q_h \tag{2.62}$$

Kde ψ_{wc} je součinitel kombinace, podle normy je roven hodnotě 0,25.

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4 \cdot I_d}{g \cdot \pi \cdot \rho_I}} \tag{2.63}$$

Kde D je ekvivalentní průměr vodiče, g je gravitační zrychlení, ρ_I je hustota námrazy.

$$q_{wcI} = q_{hcI} \cdot G_q \cdot C_{cI} \cdot G_c \cdot D \cdot \cos^2 \Omega \tag{2.64}$$

Tabulka 6 - Součinitel aerodynamického odporu a hustota námrazy

Typ námrazy	Mokrý sníh	Ledovka	Lehká jinovatka	Těžká jinovatka
C_{cI}	1,0	1,0	1,2	1,1
ρ_I	500	900	300	700

2.2.4. Minimální výšky vodičů

Minimální výšky vodičů v různých situacích jsou shrnuty v tabulce a jsou v souladu s normou ČSN EN 50341-1.

Tabulka 7 - Minimální výšky vodičů [16]

Případ/napěťová úroveň	420kV	110kV
Běžný profil země	7,8 m	6 m
Skalnatý nebo strmí svah	4,8 m	3 m
Pod vedením – stromy, na které nelze vylézt	2,8 m	1 m
Pod vedením – stromy, na které lze vylézt	4,3 m	2,5 m
Vedle vedením – stromy, na které nelze vylézt	2,8 m	1 m
Vedle vedením – stromy, na které lze vylézt	4,3 m	2,5 m
Vedení nad budovami – sklon střechy vetší než 15° (odolný proti požáru)	4,8 m	3 m
Vedení nad bud. – sklon střechy menší nebo roven 15° (odolný proti požáru)	6,8 m	5 m
Vedení nad budovami - bez odolnosti střechy proti požáru	12,8 m	11 m
Vedení v blízkosti budov	4,8 m	3 m
Antény, pouliční osvětlení, žerdi vlajek, reklamní tabule a podobné konstrukce	4,8 m	3 m
Křížení s komunikací	8,8 m	7 m
Křížení s trakčním vedením	4,8 m	3m
Křížení vedení – svislá vzdálenost od fázového nebo zemního vodiče	3,2 m	1,05 m

2.2.5. Hygienická norma – elektromagnetické pole

Jelikož navrhovanými vodiči protéká proud o frekvenci 50 Hz, bude z Nařízení vlády 1/2008 Sb. popsán pouze vliv elektromagnetického pole na lidský organismus. Z hygienického hlediska posuzujeme nízkofrekvenční pásmo do 100 kHz, středofrekvenční v intervalu od 100 kHz do 10 MHz a vysokofrekvenční nad 10 MHz. Přípustnost vystavení člověka nízkofrekvenčnímu poli posuzujeme podle hustoty elektrických proudů, která tato pole v těle člověka vyvolají. Ve středofrekvenční oblasti se kromě přímého působení indukovaných proudů v tkáni těla začíná uplatňovat i ohřev tkáně. Ve vysokofrekvenčním pásmu už posuzujeme jen ohřev tkáně a indukované proudy se zanedbávají.

V poli s frekvencí energetické sítě se hodnotí jen hustota elektrických proudů vyvolaných vnějším magnetickým a elektrickým polem. Ve většině situací, kdy je příslušná osoba vystavena nízkofrekvenčnímu elektromagnetickému poli, je pro posouzení vystavení člověka nízko- frekvenčnímu poli rozhodující magnetické pole. Nízkofrekvenční elektrická pole jsou v reálných podmínkách slabá nebo mají vysokou impedanci, takže se při indukování elektrických proudů v těle uplatňují při hygienickém hodnocení zřídka.

Nejvyšší přípustná hodnota indukovaného proudu pro hlavu a hruď vystavené osoby je pro interval od 4 Hz do 1 kHz, tedy i pro frekvenci 50 Hz. V nařízení vlády je tato hodnota stanovena pro zaměstnance $0{,}01\ {}^{\mathrm{A}}/_{\mathrm{m}^2}$ a pro ostatní osoby (obyvatelstvo) $0{,}002\ {}^{\mathrm{A}}/_{\mathrm{m}^2}$. Pro frekvenci 50 Hz je referenční hodnota magnetické indukce pro zaměstnance rovná $5 \cdot 10^{-4}$ T a pro ostatní osoby $1 \cdot 10^{-4}$ T. V třetí kapitole je zhotoven praktický výpočet na zmíněnou problematiku.[6]

3. Návrh vedení

V této kapitole je popsán již praktický návrh jednotlivého vedení. V řadě výpočtů bylo pak zapotřebí mnoho krát iterovat, proto byl použit software (viz příloha B).

3.1. Vedení 400 kV

Pro navrhování vedení je důležité znát jakým proudem bude zatěžováno a na jaké napěťové hladině bude pracovat. Pro ukázku uvažujeme blok s výkonem 1750 MWe (viz kapitola 2.1.2), při respektování vlastní spotřeby 6,69 %, účiníku 0,9 a minimálního napětí 380 kV se vypočte protékající proud svazkem podle vzorce:

$$I_{svazek} = 0{,}9331 \cdot \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot cos\varphi \cdot U_n} = 0{,}9331 \cdot \frac{1{,}75 \cdot 10^9}{\sqrt{3} \cdot 0{,}9 \cdot 380 \cdot 10^3} = 2756{,}6\ A$$

3.1.1. Návrh průřezu fázového vodiče

Povrchová teplota fázového vodiče při nominálním zatížení

Při návrhu průřezu vodiče je doporučeno postupovat ve smyslu normy ČSN EN 50341 a metodiky, která je popsána v kapitole 2.2.1. Podle přílohy A je nutno zvolit lano a propočíst, zda vyhovuje požadavkům.

Vstupní veličiny:

- Typ vodiče AlFe 680/83
- Souhrnné sluneční záření 1000 W/m^2 dle ČSN 50341-3
- Rychlost větru 0,5 m/s dle ČSN 50341-3
- Úhel větru 45° dle ČSN 50341-3
- Okolní teplota 35°C dle ČSN 50341-3
- Nadmořská výška 500 m

Cíl výpočtu:

Spočítat povrchovou teplotu vodiče T_s s přirozeným chlazením.

Postup výpočtu:

Tento výpočet se spoléhá na prvotní odhad teploty T_s (např. T_s = 57°C ~ 330 K) a předpokladu $T_{av} = T_s$.

Výpočet procházejícího proudu:

Pro vysoké výkony se používají svazkové vodiče, zde je zvolen čtyřsvazek, z čehož plyne, že proud jedním vodičem ve svazku je:

$$I_{ac} = \frac{I_{svazek}}{4} = \frac{2756,6}{4} = 689.15\ A$$

Pro výpočet Jouleho oteplení je uvažován stejnosměrný proud, jenž je vypočten pomocí empirické rovnice 2.3 (viz kapitola 2.1.2):

$$I_{dc} = I_{ac} \cdot \sqrt{1,0123 + 2,36 \cdot 10^{-5} \cdot I_{ac}} = 689.15\ \cdot \sqrt{1,0123 + 2,36 \cdot 10^{-5} \cdot 689.15}\ =$$

$$= 698,92\ A$$

Výpočet ohřevu vodiče:

Z rovnice 2.2 je vypočten Jouleho ohřev (viz kapitola 2.2.1.):

$$P_j = I_{dc}^2 \cdot R_{dc} \cdot [1 + \alpha \cdot (T_{av} - 20)] =$$

$$= 698,92^{\,2} \cdot 0,0425 \cdot 0,001 \cdot [1 + 4,03 \cdot 10^{-3} \cdot (57 - 20)] = 23,77\ W/m$$

Z rovnice 2.4 je vypočten sluneční ohřev (viz kapitola 2.2.1.):

$$P_S = \alpha_s \cdot S \cdot D = 0,5 \cdot 1000 \cdot 35,8 \cdot 10^{-3} = 17,9\ W/m$$

Korónový a magnetický ohřev je zanedbáván (viz kapitola 2.2.1.):

$$P_i = 0\ \ a\ \ P_M = 0$$

Výpočet ochlazení vodiče:

Pro výpočet ochlazení je potřeba mnoha dílčích koeficientů (viz rovnice 2.5; 2.8; 2.10; 2.12; 2.13 z kapitoly 2.2.1.):

$$T_f = 0,5 \cdot (T_s + T_a) = 0,5 \cdot (57 + 35) = 46\ °C$$

$$v_f = 1,32 \cdot 10^{-5} + 9,5 \cdot 10^{-8} \cdot T_f = 1,32 \cdot 10^{-5} + 9,5 \cdot 10^{-8} \cdot 46 = 1,76 \cdot 10^{-5}\ m^2/s$$

$$\lambda_f = 2,42 \cdot 10^{-2} + 7,2 \cdot 10^{-5} \cdot T_f = 2,42 \cdot 10^{-2} + 7,2 \cdot 10^{-5} \cdot 46 = 2,75 \cdot 10^{-2}\ W/m$$

$$\rho_r = e^{-1,16 \cdot 10^{-4} \cdot y} = e^{-1,16 \cdot 10^{-4} \cdot 500} = 0,94$$

$$Re = \frac{\rho_r \cdot V \cdot D}{v_f} = \frac{0{,}94 \cdot 0{,}5 \cdot 35{,}8 \cdot 10^{-3}}{1{,}76 \cdot 10^{-5}} = 956$$

Drsnost povrchu vodiče podle (viz kapitola 2.2.1 – Nucené chlazení vedením):

$$R_f = \frac{d}{2 \cdot [D - d]} = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot [35{,}8 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-3}]} = 6{,}28 \cdot 10^{-2}$$

Z první tabulky vycházejí koeficienty: $B_1 = 0{,}048\ a\ n = 0{,}8$

Z rovnice 2.14 je vypočteno Nusseltovo číslo (viz kapitola 2.2.1):

$$Nu = B_1 \cdot (Re)^n = 0{,}048 \cdot 956^{0{,}8} = 11{,}63$$

Z rovnice 2.15 je vypočteno Nusseltovo číslo pro úhel větru 45° (viz kapitola 2.2.1):

$$Nu_{45} = Nu \cdot [A_1 + B_2 \cdot (\sin \delta)^{m_1}] = 11{,}63 \cdot [0{,}42 + 0{,}58 \cdot (\sin 45)^{0{,}9}] = 9{,}82$$

Z rovnice 2.13 je vypočteno ochlazení vedením (viz kapitola 2.2.1)::

$$P_c = \pi \cdot \lambda_f \cdot (T_s - T_a) \cdot Nu_{45} = \pi \cdot 2{,}75 \cdot 10^{-2} \cdot (57 - 35) \cdot 9{,}82 = 18{,}7\ W/m$$

Z rovnice 2.18 je vypočteno ochlazení sáláním (viz kapitola 2.2.1)::

$$Pr = \pi \cdot D \cdot \varepsilon \cdot \sigma_B.[(T_s + 273)^4 - (T_a + 273)^4] =$$

$$= \pi \cdot 35{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}5 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8}[(57 + 273)^4 - (35 + 273)^4] = 9{,}1\ W/m$$

Ochlazení vypařováním je zanedbáváno (viz kapitola 2.2.1):

$$P_W = 0$$

Závěr

Nyní na základě rovnice tepelné bilance (viz rovnice 2.1) je vypočten celkový ohřev a chlazení.

$$P_j + P_M + P_s + P_i = P_c + P_r + P_w$$

$$23{,}77 \quad + 0 + 17{,}9 + 0 = 18{,}7 + 9{,}1 + 0$$

$$41.67 = 27{,}8$$

Pokud hodnoty nejsou stejné, byl prvotní odhad teploty špatný. Nyní je potřeba odhadnout další teplotu a celý výpočet opakovat, dokud se nevyrovná tepelná bilance. Z tohoto důvodu byl vytvořen software pro tento případ (viz příloha B), kde byla vypočtena ustálená povrchová teplota na 68,2 °C.

Výpočet toku maximálního proudu fázovým vodičem při dané teplotě

Při výpočtu je doporučeno postupovat ve smyslu normy ČSN EN 50341 a metodiky, která je popsána v kapitole 2.2.1. Podle normy ČSN EN 50182 je stanovena maximální teplota 80 °C.

Vstupní veličiny:

- Typ vodiče AlFe 680/83
- Souhrnné sluneční záření 1000 W/m^2 dle ČSN 50341-3-19
- Rychlost větru 0,5 m/s dle ČSN 50341-3-19
- Úhel větru 45° dle ČSN 50341-3-19
- Okolní teplota 35°C
- Maximální teplota vodiče 80°C dle ČSN EN 50182
- Nadmořská výška 500 m

Cíl výpočtu:

Stanovit maximální proud, který poteče vodičem při 80°C (T_s =80°C)

Postup výpočtu:

Výpočet se spoléhá na prvotní odhad proudu I_{dc} (např. I_{dc} = 800 A) a opět platí předpoklad, že $T_{av} = T_s$

Výpočet ohřevu vodiče:

Z rovnice 2.2 se spočte Jouleho ohřev (viz kapitola 2.2.1.):

$$P_j = I_{dc}^2 \cdot R_{dc} \cdot [1 + \alpha \cdot (T_{av} - 20)] =$$

$$= 800^2 \cdot 0{,}0425 \cdot 0{,}001 \cdot [1 + 4{,}03 \cdot 10^{-3} \cdot (80 - 20)] = 33{,}78\ W/m$$

Z rovnice 2.4 je vypočten sluneční ohřev (viz kapitola 2.2.1.):

$$P_S = \alpha_s \cdot S \cdot D = 0{,}5 \cdot 1000 \cdot 35{,}8 \cdot 10^{-3} = 17{,}9\ W/m$$

Korónový a magnetický ohřev je zanedbáván (viz kapitola 2.2.1.):

$P_i = 0 \ a \ P_M = 0$

Výpočet ochlazení vodiče:

Pro výpočet ochlazení je potřeba mnoha dílčích koeficientů (viz rovnice 2.5; 2.8; 2.10; 2.12; 2.13 z kapitoly 2.2.1.):

$T_f = 0{,}5 \cdot (T_s + T_a) = 0{,}5 \cdot (80 + 35) = 57{,}5\ °C$

$v_f = 1{,}32 \cdot 10^{-5} + 9{,}5 \cdot 10^{-8} \cdot T_f = 1{,}32 \cdot 10^{-5} + 9{,}5 \cdot 10^{-8} \cdot 57{,}5 \ = 1{,}866 \cdot 10^{-5}\ m^2/s$

$\lambda_f = 2{,}42 \cdot 10^{-2} + 7{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot T_f = 2{,}42 \cdot 10^{-2} + 7{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot 57{,}5 \ = 2{,}834 \cdot 10^{-2}\ W/m$

$\rho_r = e^{-1{,}16 \cdot 10^{-4} \cdot y} = e^{-1{,}16 \cdot 10^{-4} \cdot 500} = 0{,}94$

$$Re = \frac{\rho_r \cdot V \cdot D}{v_f} = \frac{0{,}94 \cdot 0{,}5 \cdot 35{,}8 \cdot 10^{-3}}{1{,}866 \cdot 10^{-5}} = 902$$

Drsnost povrchu vodiče podle (viz kapitola 2.2.1 – Nucené chlazení vedením):

$$R_f = \frac{d}{2 \cdot [D - d]} = \frac{4 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot [35{,}8 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-3}]} = 6{,}28 \cdot 10^{-2}$$

Z první tabulky vycházejí koeficienty: $B_1 = 0{,}048 \ a \ n = 0{,}8$

Z rovnice 2.14 je vypočteno Nusseltovo číslo (viz kapitola 2.2.1):

$Nu = B_1 \cdot (Re)^n = 0{,}048 \cdot 902^{0{,}8} = 11{,}1$

Z rovnice 2.15 je vypočteno Nusseltovo číslo pro úhel větru 45° (viz kapitola 2.2.1):

$Nu_{45} = Nu \cdot [A_1 + B_2 \cdot (\sin \delta)^{m_1}] = 11{,}1 \cdot [0{,}42 + 0{,}58 \cdot (\sin 45)^{0{,}9}] = 9{,}37$

Z rovnice 2.13 je vypočteno ochlazení vedením (viz kapitola 2.2.1)::

$P_c = \pi \cdot \lambda_f \cdot (T_s - T_a) \cdot Nu_{45} = \pi \cdot 2{,}834 \cdot 10^{-2} \cdot (80 - 35) \cdot 9{,}37 = 37{,}54\ W/m$

Z rovnice 2.18 je vypočteno ochlazení sáláním (viz kapitola 2.2.1)::

$Pr = \pi \cdot D \cdot \varepsilon \cdot \sigma_B.[(T_s + 273)^4 - (T_a + 273)^4] =$

$= \pi \cdot 35{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}5 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8}[(80 + 273)^4 - (35 + 273)^4] = 20{,}8\ W/m$

Ochlazení vypařováním je zanedbáváno (viz kapitola 2.2.1):

$P_W = 0$

Závěr

Nyní na základě rovnice tepelné bilance (viz rovnice 2.1) je vypočten, celkový ohřev a chlazení.

$P_j + P_M + P_s + P_i = P_c + P_r + P_w$

$33{,}78 \ + 0 + 17{,}9 + 0 = 37{,}54 + 20{,}8 + 0$

$51{,}68 = 58{,}3$

Pokud hodnoty nejsou stejné, byl prvotní odhad proudu špatný. Nyní je potřeba odhadnout další hodnotu proudu a celý výpočet opakovat, dokud se nevyrovná tepelná bilance. Z tohoto důvodu byl vytvořen software pro tento případ (viz příloha B), který stanovil, že maximální protékající proud při teplotě 80 °C je 862,6 A pro vodič 680/83 a pro vodič 450/52 je hladina maximálního proudu 647 A.

Pomocí programu byly vypočteny ustálené teploty a maximální protékající proudy uvažovaných vodičů pro všechny zvažované projekty.

Tabulka 8 - Výpočet pomocí programu – všechny projekty – ustálená teplota

Projekt	**Vodič**	**Teplota**
EPR s výkonem 1750 MWe	4x450/52	84,5 °C
EPR s výkonem 1750 MWe	3x680/83	84,3 °C
EPR s výkonem 1750 MWe	4x680/83	68,2 °C
AP1000 s výkonem 1200 MWe	3x450/52	78,0 °C
AP1000 s výkonem 1200 MWe	4x450/52	64,7 °C
AP1000 s výkonem 1200 MWe	3x680/83	64,8 °C
MIR 1200 s výkonem 1063 MWe	3x450/52	71,2 °C
MIR 1200 s výkonem 1063 MWe	4x450/52	61,1 °C
MIR 1200 s výkonem 1063 MWe	3x680/83	61,3 °C

Návrhy, které nevyhověly podle doporučení normy ČSN EN 50182, jsou označeny červeně, zvolené vodiče pro jednotlivé projekty jsou vyznačeny v tabulce zeleně. Výběr

vodičů byl udělán, tak aby vyhovovaly případnému zvýšení výkonu a byly ekonomicky výhodné.

Výpočet teploty na fázovém vodiči při zkratu

Výpočet teploty vodiče při zkratu je proveden ve smyslu kapitoly 2.2.2 a normy ČSN EN 50341-1, která doporučuje typické hodnoty trvání zkratů. Tato hodnota je v případě fázového vodiče či zemního lana stanovena na 0,5 s. Pro výpočet teploty je zapotřebí znát zkratové poměry na vedení. Tyto poměry byly poskytnuty z interních zdrojů ČEZ a.s.[17]

Podle rovnice 2.19 je vypočtena hodnota teploty. Dále zde bude ukázán pouze výpočet pro první hodnotu proudu u rozvodny Kočín. Na následné hodnoty zkratového proudu v průběhu vedení byl použit software a je uveden v příloze B.

$$T_2 = \frac{[1+\alpha\cdot(T_1-20)]\cdot e^{\frac{I_{th}\cdot\rho_{dc}\cdot\alpha}{A\cdot(A_1\cdot\gamma_1\cdot c_1+A_2\cdot\gamma_2\cdot c_2)}\cdot t}-1}{\alpha} + 20 =$$

$$= \frac{[1+4{,}03\cdot10^{-3}\cdot(68{,}2-20)]\cdot e^{\frac{4{,}429\cdot10^{4}\cdot2{,}8264\cdot10^{-8}\cdot4{,}03\cdot10^{-3}}{678{,}58\cdot10^{-6}\cdot(678{,}58\cdot10^{-6}\cdot2703\cdot897+83{,}11\cdot10^{-6}\cdot7780\cdot481)}\cdot0{,}5}-1}{4{,}03\cdot10^{-3}} + 20 = 69{,}8°C$$

Vzdálenost je brána od rozvodny Kočín k jaderné elektrárně Temelín. Protože u vedení V53 a V54 jsou uvažovány stejné zkratové poměry, tak zde budou výsledky jen pro jedno vedení.

Tabulka 9 - Výpočet pomocí programu – teplota při zkratu – EPR část 1

Vzdálenost od rozvodny Kočín	Zkratový proud	Teplota
0 m	44 kA	69,8 °C
40 m	44 kA	69,8 °C
240 m	43 kA	69,8 °C
440 m	43 kA	69,7 °C
640 m	42 kA	69,7 °C
840 m	41 kA	69,6 °C
1040 m	41 kA	69,6 °C
1240 m	40 kA	69,5 °C
1440 m	39 kA	69,5 °C
1640 m	39 kA	69,4 °C
1840 m	38 kA	69,4 °C

Tabulka 10 - Výpočet pomocí programu – teplota při zkratu - EPR část 2

2040 m	38 kA	69,4 °C
2240 m	37 kA	69,3 °C
2440 m	36 kA	69,3 °C
2640 m	36 kA	69,3 °C
2840 m	35 kA	69,2°C
3040 m	35 kA	69,2 °C

Tabulka 11 - Výpočet pomocí programu – teplota při zkratu - AP 1000 a MIR 1200

Vzdálenost od rozvodny Kočín	**Zkratový proud**	**Teplota**
0 m	44 kA	84,7 °C
40 m	44 kA	84,6 °C
240 m	43 kA	84,4°C
440 m	43 kA	84,2 °C
640 m	42 kA	84,0 °C
840 m	41 kA	83,8 °C
1040 m	41 kA	83,6 °C
1240 m	40 kA	83,4 °C
1440 m	39 kA	83,3 °C
1640 m	39 kA	83,1 °C
1840 m	38 kA	82,9 °C
2040 m	38 kA	82,8 °C
2240 m	37 kA	82,6 °C
2440 m	36 kA	82,5 °C
2640 m	36 kA	82,4 °C
2840 m	35 kA	82,2 °C
3040 m	35 kA	82,1°C

Závěr

V celé délce vedení nepřesahuje vodič doporučenou mezní teplotu 200°C. V deváté a desáté tabulce jsou zobrazeny výsledky z výpočtového softwaru z přílohy B pro zvolené vodiče k jednotlivým projektům.

3.1.2. Návrh průřezu zemního lana

Zemnící lano se dimenzuje na jednofázový zkrat. Je doporučeno postupovat ve smyslu kapitoly 2.2.2 a normy ČSN EN 50341-1, která doporučuje typické hodnoty trvání zkratů. Tato hodnota je v případě fázového vodiče či zemního lana stanovena na 0,5 s. Pro výpočet teploty je zapotřebí znát zkratové poměry na vedení. Tyto poměry byly poskytnuty z interních zdrojů ČEZ a.s.[17]

Na hladině zvn jsou používána dvě zemnící lana. Teplota zemního lana je kontrolována podobně jako na fázovém vodiči, jen s tím rozdílem, že za počáteční teplotu je dosazována teplota okolí. Vzdálenost je brána od rozvodny Kočín k jaderné elektrárně Temelín. Protože u vedení V53 a V54 jsou uvažovány stejné zkratové poměry, tak zde budou výsledky jen pro jedno vedení.

Tabulka 12 - Výpočet pomocí programu – zemní lano pro V53 a V54 – 2X240/39

Vzdálenost od rozvodny Kočín	**Zkratový proud**	**Teplota**
0 m	44 kA	79,6 °C
40 m	44 kA	79,3 °C
240 m	43 kA	77,7 °C
440 m	43 kA	76,2 °C
640 m	42 kA	74,7 °C
840 m	41 kA	73,4 °C
1040 m	41 kA	72,1 °C
1240 m	40 kA	70,8 °C
1440 m	39 kA	69,7 °C
1640 m	39 kA	68,5 °C
1840 m	38 kA	67,5 °C
2040 m	38 kA	66,4 °C
2240 m	37 kA	65,5 °C
2440 m	36 kA	64,5 °C
2640 m	36 kA	63,6 °C
2840 m	35 kA	62,8 °C
3040 m	35 kA	61,9 °C

Tabulka 13 - Výpočet pomocí programu – zemní lano pro V53 a V54 – 2X180/59

Vzdálenost od rozvodny Kočín	**Zkratový proud**	**Teplota**
0 m	44 kA	107,6 °C
40 m	44 kA	107,0 °C
240 m	43 kA	104,3 °C
440 m	43 kA	101,8 °C
640 m	42 kA	99,3 °C
840 m	41 kA	97,0 °C
1040 m	41 kA	94,9 °C
1240 m	40 kA	92,8 °C
1440 m	39 kA	90,8 °C
1640 m	39 kA	89,0 °C
1840 m	38 kA	87,2 °C
2040 m	38 kA	85,5 °C
2240 m	37 kA	83,9 °C
2440 m	36 kA	82,3 °C
2640 m	36 kA	80,8 °C
2840 m	35 kA	79,4 °C
3040 m	35 kA	78,1 °C

Závěr

V celé délce vedení nepřesahují navržené vodiče dovolenou mezní teplotu 200°C. V jedenácté a desáté tabulce jsou zobrazeny výsledky softwaru z přílohy B pro zvolené vodiče k jednotlivým vedením.

Z výsledků je zvolen vodič 2x180/59, protože vyhovuje nejen z pohledu elektrického, ale na rozdíl od druhého testovaného vodiče je i ekonomicky výhodný. Z důvodu většího podílu železa ve vodiči bude lepší z mechanického hlediska.

3.2. Vedení 110 kV

O rezervním vedení 110 kV již bylo zmíněno v kapitole 1.2, kde je popsána jeho funkce. Dimenzování rezervního vedení je prováděno na vlastní spotřebu bloku. I když jsou bloky navzájem propojeny, není rezervní vedení dimenzováno na dvojnásobek vlastní spotřeby. Z bezpečnostních hledisek při využití propojení mezi bloky dochází jen k dochlazování bloku, nikoliv k výrobě elektrické energie. V režimu dochlazování bloku je velký podíl vlastní spotřeby tvořen pohonem cirkulačních čerpadel, jenž mají výkon jednotky MW.

3.2.1. Návrh průřezu fázového vodiče

Postup navrhování je obdobný jako v kapitole 3.1.1. proto zde nebude podrobný postup, ale budou pouze shrnuty výsledky softwaru přílohy B.

Povrchová teplota fázového vodiče při nominálním zatížení

Tabulka 14 - Výpočet pomocí programu – ustálená teplota – fázový vodič

Projekt	Vodič	Teplota
EPR s vlastní spotřebou 117 MWe	450/52	92,6 °C
EPR s vlastní spotřebou 117 MWe	680/83	72,5 °C
AP1000 s vlastní spotřebou 84 MWe	350/59	79 °C
AP1000 s vlastní spotřebou 84 MWe	450/52	70,3 °C
AP1000 s vlastní spotřebou 84 MWe	680/83	60,8 °C
MIR 1200 s vlastní spotřebou 78 MWe	350/59	74,5 °C
MIR 1200 s vlastní spotřebou 78 MWe	450/52	67,2 °C
MIR 1200 s vlastní spotřebou 78 MWe	680/83	59,2 °C

Návrhy, které nevyhověly podle doporučení normy ČSN EN 50182, jsou označeny červeně. Pro projekty je zvolen vodič 680/83, jehož důvodem zvolení je vycházení z koncepce stávajících bloků ETE 1, 2, kde je použit stejný vodič a z filozofie, která byla popsána v kapitole 3.2. Využití vodiče s největší přenosovou schopností vychází z filozofie ochrany do hloubky a konzervatismu projektování jaderných elektráren.

Výpočet teploty na fázovém vodiči při zkratu

Zde jsou provedeny výpočty vedení V9003 aV9004, jelikož mají podobné zkratové poměry, uvažujeme pouze jedno vedení.

Výpočet byl udělán pouze pro projekt EPR, z důvodu největší vlastní spotřeby. Tím, že je použit stejný vodič u všech projektů, má projekt EPR na tento vodič nejhorší vliv. Obě vedení splňují oteplení do 200 °C podle normy ČSN EN 50182

Tabulka 15 - Výpočet pomocí programu – V9003 a V9004 – 680/83- fázový vodič

Vzdálenost od rozvodny Kočín	**Zkratový proud**	**Teplota**
0 m	39 kA	93,3 °C
200 m	37 kA	90,4 °C
400 m	34 kA	88,2 °C
600 m	32 kA	86,1 °C
800 m	30 kA	84,5 °C
1000 m	28 kA	83,1 °C
1200 m	27 kA	82,0 °C
1400 m	25 kA	81,0 °C
1600 m	24 kA	80,1 °C
1800 m	23 kA	79,4 °C
2000 m	22 kA	78,7 °C
2200 m	21 kA	78,1 °C
2400 m	20 kA	77,6 °C
2600 m	19 kA	77,2 °C
2750 m	18 kA	76,9 °C

3.2.2. Návrh průřezu zemního lana

Zemnící lano se dimenzuje na jednofázový zkrat. Je doporučeno postupovat ve smyslu kapitoly 2.2.2 a normy ČSN EN 50341-1, která doporučuje typické hodnoty trvání zkratů. Tato hodnota je v případě fázového vodiče či zemního lana stanovena na 0,5 s. Pro výpočet teploty je zapotřebí znát zkratové poměry na vedení. Tyto poměry byly poskytnuty z interních zdrojů ČEZ a.s. [17]

Teplota zemního lana je kontrolována podobně jako na fázovém vodiči, jen s tím rozdílem, že za počáteční teplotu je dosazována teplota okolí. Jelikož vedení V9003 a V9004 mají podobné zkratové poměry, uvažujeme pouze jedno vedení.

Tabulka 16 - Výpočet pomocí programu – zemní lano pro V9003 a V9004 – 2x180/59

Vzdálenost od rozvodny Kočín	**Zkratový proud**	**Teplota**
0 m	39 kA	91,3 °C
200 m	37 kA	83,0 °C
400 m	34 kA	76,4 °C
600 m	32 kA	71,0°C
800 m	30 kA	66,5 °C
1000 m	28 kA	62,8 °C
1200 m	27 kA	59,6 °C
1400 m	25 kA	57,0 °C
1600 m	24 kA	54,7 °C
1800 m	23 kA	52,7 °C
2000 m	22 kA	51,0 °C
2200 m	21 kA	49,5 °C
2400 m	20 kA	48,2 °C
2600 m	19 kA	47,0 °C
2750 m	18 kA	46,2 °C

Tabulka 17 - Výpočet pomocí programu – zemní lano pro V9003 a V9004 – 180/59

Vzdálenost od rozvodny Kočín	**Zkratový proud**	**Teplota**
0 m	39 kA	nevyhovuje
200 m	37 kA	nevyhovuje
400 m	34 kA	nevyhovuje
600 m	32 kA	nevyhovuje
800 m	30 kA	185,5 °C
1000 m	28 kA	165,5 °C
1200 m	27 kA	148,3 °C
1400 m	25 kA	134,5 °C
1600 m	24 kA	123,0 °C
1800 m	23 kA	113,3 °C
2000 m	22 kA	105,0 °C
2200 m	21 kA	97,9 °C
2400 m	20 kA	91,8 °C
2600 m	19 kA	86,4 °C
2750 m	18 kA	81,8 °C

Z výsledků je patrné, že zemní lano 2x180/59 by vyhovovalo v celé délce vedení. Z ekonomického pohledu by bylo velmi výhodné, od vzdálenosti cca 800 m využít pouze jedno zemní lano 180/59. Konkrétně je to od stožáru devět na vedení V9002 a V9004 a od stožáru osm na vedení V9001 a V9003.

3.3. Mechanický výpočet

Mechanika vedení je velmi složitá problematika, jak po stránce teoretické, tak i výpočtové. Teoretická část zmíněné problematiky je popsána v kapitole 2.2.4. a výpočet byl udělán pomocí softwaru v příloze B.

Pro zmíněnou problematiku bylo zapotřebí přesné mapy, ze které bylo možno odečítat vzdálenosti jednotlivých stožárů a dále je zapotřebí topografická mapa k určení nadmořské výšky jednotlivých stožárů.

Zde bude proveden pouze příklad výpočtu jednoho pole zbytek výsledků je v souboru „mechanické namáhání – výsledky“ na přiloženém CD.

Popis výpočtu jednoho pole

Vedení V53, první pole.

- Stožár 1 – RV_{120} +14, nadmořská výška 506 m
- Stožár 2 – RV_{120} +14, nadmořská výška 502 m
- rozpětí stožárů 284.66 m
- rozdíl výšek zavěšení 4.00 m
- Rychlost větru 24 m/s
- Námrazová oblast N2

Základní zatížení je -5 °C a normální námraza, pro projekt EPR byl navržen v kapitole 3.1 vodič 4x680/83. Z páté tabulky a rovnice 2.54 je vypočteno charakteristické zatížení námrazou.

$$I_K = K_h \cdot I_R = \left(\frac{32,5}{10}\right)^{0,13} \cdot (21.423 + 0.0838 \cdot 35,8) = 28,47\, N/m$$

Návrhové zatížení námrazou je vypočteno podle rovnice 2.52 s uvažovaným součinitelem spolehlivosti rovnému jedné.

$$q_I = I_d = I_K \cdot \gamma_I = 28.47 \cdot 1 = 28.47\, N/m$$

Nyní je možno vypočítat zatížení vodiče, v základním zatížení je uvažováno pouze normální námraza a vlastní tíha vodiče.

$$g_v = \gamma \cdot S = 0,03291 \cdot 761,69 = 25,07\, N/m$$

$$z = \frac{n \cdot (g_v + q_I)}{n \cdot g_v} = \frac{4 \cdot (25,07 + 28,47)}{4 \cdot 25,07} = 2,14$$

Doporučuje se volit delší rozpětí stožárů než je kritické rozpětí. Kritické rozpětí se vypočte podle následující rovnice:

$$L_{krit} = \frac{\sigma_{dov}}{\gamma}\sqrt{\frac{24\cdot\alpha\cdot(30-\vartheta)}{z^2-1}} = \frac{93{,}094\cdot}{0{,}03291}\sqrt{\frac{24\cdot 19{,}653\cdot 10^{-6}\cdot(30-5)}{2{,}14^2-1}} = 162{,}3\ m$$

Rozpětí stožárů je větší než kritické, první podmínka je splněna, dále je nutné vypočítat, zda vzdálenost x_A není záporná, aby nedocházelo k nadzvedávání izolátoru vlastním tahem.

$$x_A = \frac{L}{2} - \frac{\sigma_H\cdot h}{L\cdot\gamma\cdot z} = \frac{284{,}66}{2} - \frac{78{,}9\cdot 4}{284{,}66\cdot 0{,}03291\cdot 2{,}14} = 140{,}76\ m$$

Protože druhá také podmínka vyhovuje, je možno vypočítat délku šikmého pole a následně viditelný průhyb.

$$b = \frac{L}{\cos\left(\tan^{-1}\frac{h}{L}\right)} = \frac{284{,}66}{\cos\left(\tan^{-1}\frac{4}{284{,}66}\right)} = 284{,}68\ m$$

$$f_V = b^2\cdot\gamma\cdot\frac{z}{8\cdot\sigma_H} = 284{,}68^{\,2}\cdot 0{,}03291\cdot\frac{2{,}14}{8\cdot 78{,}9} = 9\ m$$

Z výpočtu je patrné, že vodič má průhyb 9 m, v zmíněném případě je vodič na podměrném době upevněn v 27,5 m nad zemí při respektování izolátoru v zóně N. Izolátor je uvažován ve svislé poloze – nejhorší případ, ale protože se jedná o kotevní stožár, tak je ve skutečnosti izolátor natočen pod úhlem a izolační vzdálenost od země je vyšší.

Tento průhyb vyhovuje. Pro další možné případy zatížení byl využit software viz příloha B. Výsledky jsou shrnuty v následující tabulce včetně mechanického napětí na jednotlivých stožárech. Na přiloženém CD jsou vypočtena ostatní pole navrhovaného koridoru.

Tabulka 18 - Výpočet pomocí programu – EPR – Vedení V53 – pole 1 – fázový vodič

Stav počasí	Celkové mechanické napětí	Viditelný průhyb	
-5°C a NN	bod A:79,75MPa bod B:79,48MPa	8,82 m	vyhovuje
-5°C vítr	bod A:24,38MPa bod B:24,31MPa	7,44 m	vyhovuje
+40°C	bod A:35,99MPa bod B:35,86MPa	9,36 m	vyhovuje
-30°C	bod A:45,94MPa bod B:45,82MPa	7,31 m	vyhovuje
-5°C vítr + NN	bod A:44,80MPa bod B:44,67MPa	7,88 m	vyhovuje
+80°C	bod A:32,32MPa bod B:32,17MPa	10,45 m	vyhovuje
+15°C vítr	bod A:22,36MPa bod B:22,29MPa	8,12 m	vyhovuje

3.4. Stávající vedení

Z důvodu stavby nového vedení musí být rozšířena rozvodna Kočín a některé úseky stávajících vedení přemístěny na jiná místa. To znamená, že se tyto úseky musí otestovat, zda vyhovují mechanickým i elektrickým požadavkům.

Vodiče použité na stávajícím vedení:

Tabulka 19 - Stávající vedení

	400 kV	110 kV
Fázový vodič	3x450/52	680/83
Zemní lano	2x180/59	180/59

Výsledky jednotlivých průhybů a mechanického namáhání na stožáry jsou v souboru „mechanické namáhání – výsledky“ na přiloženém CD. Bylo potvrzeno, že stávající vedení vyhovuje mechanickým požadavkům i v nových podmínkách.

3.5. Pozemky

Zde je soupis vlastníků pozemků pod uvažovanými stožáry. Jména jednotlivých vlastníků jsou převzata z katastrálního úřadu.

3.5.1. Vedení V9004

Tabulka 20 - Pozemky - V9004 část 1

Označení stožáru	Katastrální úřad	Číslo pozemku	Vlastník	Adresa	Podíl
1	Křtěnov	180/1	ČEZ, a. s.	Duhová 1444/2, Praha, Michle, 140 53	1
2	Temelínec	1150/5	ČEZ, a. s.	Duhová 1444/2, Praha, Michle, 140 53	1
3	Temelínec	1150/26	ČEZ, a. s.	Duhová 1444/2, Praha, Michle, 140 53	1
4	Temelínec	1170/10	ČEZ, a. s.	Duhová 1444/2, Praha, Michle, 140 53	1

Tabulka 21 - Pozemky - V9004 část 2

Označení stožáru	Katastrální úřad	Číslo pozemku	Vlastník	Adresa	Podíl
5	Temelínec	1263	Starý Josef	Neznašov 82, Všemyslice, 373 02	1
6	Temelínec	1236	Husová Vlasta	Čelakovského 1012, Strakonice, 386 01	1/2
			Říha Václav	Temelín 143, 373 01	1/2

3.5.2. Vedení V9003

Tabulka 22 - Pozemky - V9003

Označení stožáru	Katastrální úřad	Číslo pozemku	Vlastník	Adresa	Podíl
1	Křtěnov	180/1	ČEZ, a. s.	Duhová 1444/2, Praha, Michle, 140 53	1
2	Křtěnov	180/1	ČEZ, a. s.	Duhová 1444/2, Praha, Michle, 140 53	1
3	Temelínec	1170/10	ČEZ, a. s.	Duhová 1444/2, Praha, Michle, 140 53	1
4	Temelínec	1263	Starý Josef	Neznašov 82, Všemyslice, 373 02	1
		1261	Husová Vlasta	Čelakovského 1012, Strakonice, 386 01	1/2
			Říha Václav	Temelín 143, 373 01	1/2
5	Temelínec	1233	Starý Josef	Neznašov 82, Všemyslice, 373 02	1
		1234	Starý Josef	Neznašov 82, Všemyslice, 373 02	1
6	Kočín	436	Pozemkový fond České republiky	Husinecká 1024/11a, Praha, Žižkov, 130 00	1/3
			Jůn Josef	Soběšice 110, 342 01	2/3
			Ing. Jůnová Marie	Soběšice 110, 342 01	
7	Kočín	424	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1

3.5.3. Vedení V9001 a V9003

Tabulka 23 - Pozemky - V9001 a V9003

Označení stožáru	Katastrální úřad	Číslo pozemku	Vlastník	Adresa	Podíl
8	Kočín	383	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1
9	Kočín	340	Fikota Josef	Prachatická 1193/5, České Budějovice, 370 05	1
10	Kočín	289	Kříž Libor	Krčínova 1086/8, České Budějovice, 370 11	1/4
			Kříž Miloš	Česká Lhota 17, Dívčice, 373 48	1/4
			Mgr. Remiášová Ivana	Třebín 78, Dubné, 373 84	1/4
			Velická Dagmar	Kpt.Jaroše 1074, Milevsko, 399 01	1/4
11	Chvalešovice	1217 a 1218	Pozemkový fond České republiky	Husinecká 1024/11a, Praha, Žižkov, 130 00	1/3
			Jůn Josef	Soběšice 110, 342 01	2/3
			Ing. Jůnová Marie	Soběšice 110, 342 01	
12	Chvalešovice	1256	Fürst František	Kočín 19, Temelín, 375 01	1
13	Chvalešovice	1278	Agro Temelín s.r.o.	Temelín 23, 373 01	1

3.5.4. Vedení V9002 a V9004

Tabulka 24 - Pozemky - V9002 a V9004

Označení stožáru	Katastrální úřad	Číslo pozemku	Vlastník	Adresa	Podíl
7	Kočín	429	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1
8	Kočín	379	Bezpalec František	Kočín 23, Temelín, 375 01	1/2
			Kolářová Miloslava	třída Přátelství 1981, Písek, 397 01	1/2
9	Kočín	357	Suchanová Marta	Kočín 13, Temelín, 375 01	1
10	Kočín	317	Ing. Daňhel Miroslav	Přívozní 220, Týn nad Vltavou, Malá Strana, 375 01	1/3
			Dvořáková Jindra	Hlinecká 725, Týn nad Vltavou, 375 01	1/6
			Dvořáková Ludmila	Hlinecká 725, Týn nad Vltavou, 375 01	1/6
			Sedlák Jan	V Provazech 475, Zliv, 373 44	1/6
			Sedlák Vlastimil	Pod Vartou 691, Zliv, 373 44	1/12
			Sedláková Marie	Pod Vartou 691, Zliv, 373 44	1/12
11	Kočín	278	Bezpalec František	Kočín 23, Temelín, 375 01	1/2
			Kolářová Miloslava	třída Přátelství 1981, Písek, 397 01	1/2
12	Chvalešovice	1213	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1
13	Chvalešovice	1257	Fürst František	Kočín 19, Temelín, 375 01	1
14	Chvalešovice	1284	Pekárek Václav	Chlumec 71, Olešník, 373 41	1

3.5.5. Vedení V54

Tabulka 25 - Pozemky - V54

Označení stožáru	Katastrální úřad	Číslo pozemku	Vlastník	Adresa	Podíl
1	Křtěnov	180/1	ČEZ, a. s.	Duhová 1444/2, Praha, Michle, 140 53	1
2	Temelínec	1150/22 1150/26	ČEZ, a. s.	Duhová 1444/2, Praha, Michle, 140 53	1
3	Temelínec	1176	Sobolík František	Gorkého 195, Říčany, Radošovice, 251 01	1
4	Temelínec	1202	MVDr. Grill Stanislav	Žitná 7, Hracholusky, 384 11	1
5	Temelínec	1232	Ing. Hajíčková Jaroslava	Dukelská 499/49, České Budějovice, 370 01	1
		1353/1	Pozemkový fond České republiky	Husinecká 1024/11a, Praha, Žižkov, 130 00	1
6	Kočín	443	Bezpalec František	Kočín 23, Temelín, 375 01	1/2
			Kolářová Miloslava	třída Přátelství 1981, Písek, 397 01	1/2
7	Kočín	446	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1
		399	Bezpalec František	Kočín 23, Temelín, 375 01	1/2
			Kolářová Miloslava	třída Přátelství 1981, Písek, 397 01	1/2
8	Kočín	383	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1
9	Kočín	340	Fikota Josef	Prachatická 1193/5, České Budějovice, 370 05	1
10	Kočín	273	FHečková Marie	Otavská 1068/11, České Budějovice, 370 11	1
12	Chvalešovice	1258 1257	Fürst František	Kočín 19, Temelín, 375 01	1

3.5.6. Vedení V53

Tabulka 26 - Pozemky - V53

Označení stožáru	Katastrální úřad	Číslo pozemku	Vlastník	Adresa	Podíl
1	Křtěnov	180/1	ČEZ, a. s.	Duhová 1444/2, Praha, Michle, 140 53	1
2	Křtěnov	180/1	ČEZ, a. s.	Duhová 1444/2, Praha, Michle, 140 53	1
3	Temelínec	1180/1	ČEZ, a. s.	Duhová 1444/2, Praha, Michle, 140 53	1
4	Temelínec	1202	MVDr. Grill Stanislav	Žitná 7, Hracholusky, 384 11	1
5	Temelínec	1224	Husová Vlasta	Čelakovského 1012, Strakonice, 386 01	1/2
			Říha Václav	Temelín 143, 373 01	1/2
6	Kočín	452	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1
		453	Suchanová Marta	Kočín 13, Temelín, 375 01	1
7	Kočín	451	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1
8	Kočín	419	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1
9	Kočín	342	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1
10	Kočín	269	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1
11	Chvalešovice	1225	RAgro Temelín s.r.o.	Temelín 23, 373 01	1
12	Chvalešovice	1248	ČEPS, a.s.	Elektrárenská 774/2, Praha, Michle, 101 52	1/2
			Koubová Marta	Dlouhá 1031/16, České Budějovice, 370 11	1/2

3.5.7. Vedení V51

Tabulka 27 - Pozemky - V51

Označení stožáru	Katastrální úřad	Číslo pozemku	Vlastník	Adresa	Podíl
9	Kočín	258	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1
10	Kočín	217	Stluka Jan	Kočín 12, Temelín, 375 01	1/2
			Stluková Alena	Kočín 12, Temelín, 375 01	1/2
		218	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1

3.5.8. Vedení V52

Tabulka 28 - Pozemky - V52

Označení stožáru	Katastrální úřad	Číslo pozemku	Vlastník	Adresa	Podíl
6	Kočín	465	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1
		460	Ing. Daňhel Miroslav	Přívozní 220, Týn nad Vltavou, Malá Strana, 375 01	1
9	Kočín	259	Stluka Jan	Kočín 12, Temelín, 375 01	1/2
			Stluková Alena	Kočín 12, Temelín, 375 01	1/2
		264	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1
10	Kočín	212	Fikota Josef	Prachatická 1193/5, České Budějovice, 370 05	1

3.5.9. Vedení V9001

Tabulka 29 - Pozemky - V9001

Označení stožáru	Katastrální úřad	Číslo pozemku	Vlastník	Adresa	Podíl
4	Temelínec	1176	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1
5	Temelínec	1198	Sobolík František	Gorkého 195, Říčany, Radošovice, 251 01	1
6	Temelínec	1209	Švehla Jan	Růžová 8, Týn nad Vltavou, 375 01	1
7	Kočín	442	Raučinová Romana	Kočín 22, Temelín, 375 01	1

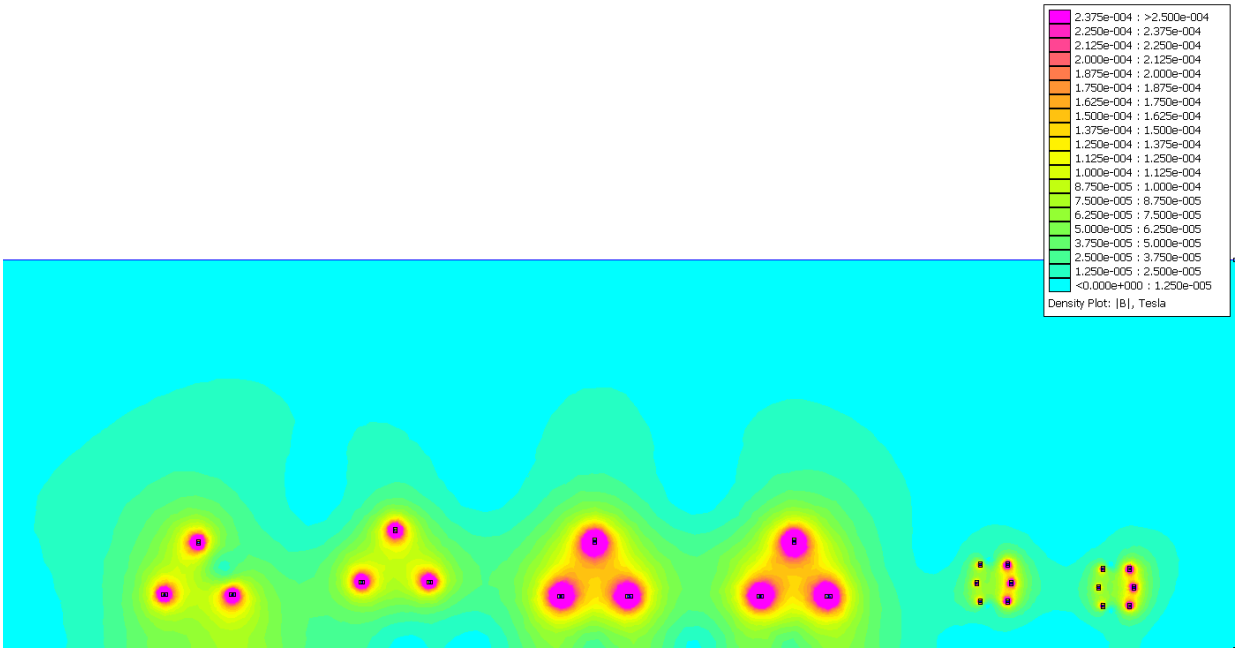
3.5.10. Vedení V9002

Tabulka 30 - Pozemky - V9002

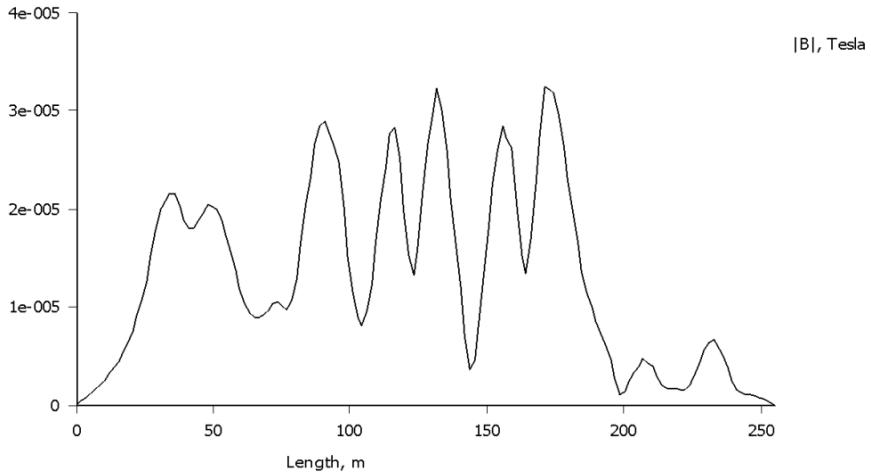
Označení stožáru	Katastrální úřad	Číslo pozemku	Vlastník	Adresa	Podíl
4	Temelínec	1200	Sobolík František	Gorkého 195, Říčany, Radošovice, 251 01	1
		1203	Šimánek Jan	Sedmihorky 60, Karlovice, 511 01	1/2
			Šimánek Miroslav	Sedmihorky 60, Karlovice, 511 01	1/2
		1198	Sobolík František	Gorkého 195, Říčany, Radošovice, 251 01	1
5	Temelínec	1224	Husová Vlasta	Čelakovského 1012, Strakonice, 386 01	1/2
			Říha Václav	Temelín 143, 373 01	1/2
6	Temelínec	1216	Starý Josef	Neznašov 82, Všemyslice, 373 02	1

3.6. Hygienická norma – elektromagnetické pole

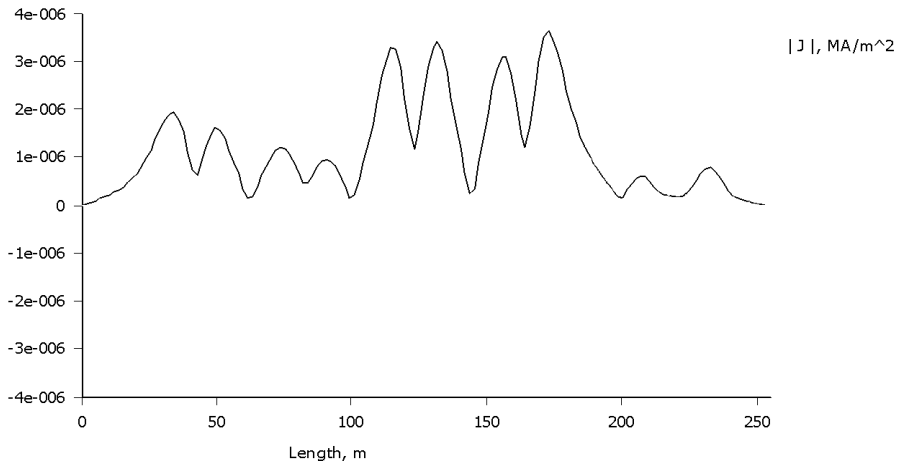
V blízkosti koridoru vedení se nachází obec Kočín, proto je elektromagnetické pole zkoumáno v této oblasti. Pomocí programu FEM je nasimulováno prostředí a výsledky jsou zobrazeny v následujících grafech.



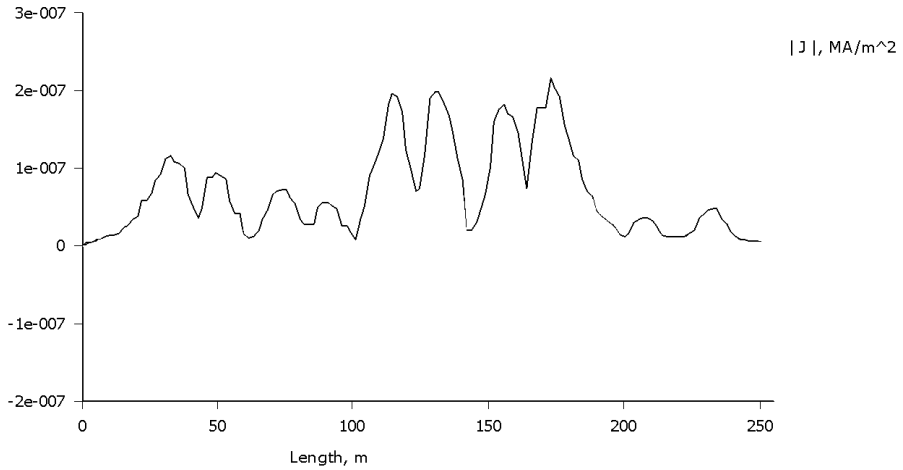
Obrázek 11 - Magnetická indukce v okolí vsi Kočín – 2D řez vedením



Obrázek 12 - Magnetická indukce v okolí vsi Kočín – graf



Obrázek 13 – Rozložení proudové hustoty 1,7 m nad zemí v okolí vsi Kočín – graf



Obrázek 14 – Rozložení proudové hustoty 0,1 m nad zemí v okolí vsi Kočín – graf

Z grafů je patrné, že zkoumané magnetické pole je znatelné pouze v blízkosti vodičů. V přilehlých oblastech a vsi Kočín, která je vzdálena cca 230 m od koridoru, je pole již neznatelné. Navržený koridor plní požadavky legislativy.

Závěr

V práci je splněn úkol zadání. Byl zpracován praktický návrh koridoru vedení pro nové bloky ETE 3 a 4. Na zmíněnou dostavbu jsou zvažovány tři projekty o různých výkonových hladinách. Bylo zapotřebí popsat všechny projekty jednotlivě.

Konkrétně byla navržena vedení pro rezervní napájení a vyvedení výkonu obou zvažovaných bloků s provedením nákresu do katastrální mapy. Pro každý projekt byl navržen vodič, a ten následně vyzkoušen, zda vyhovuje ustálenému oteplení a oteplení při zkratu. Jak již bylo zmíněno, tato práce obsahuje katastrální mapu s nákresem jednotlivých vedení. Pro každý projekt byl navržený vodič, resp. svazkový vodič a vyzkoušen i z mechanického hlediska na průhyb a mechanické napětí v tahu.

Dále je v práci okrajově řešeno nařízení vlády 1/2008 Sb., ve kterém je řešen vliv elektromagnetického pole na živý organismus.

Na závěr je soupis vlastníků pozemků pod zvažovanými stožáry, pro jejich případný výkup. Tento bod je nejspíše největším problémem při návrhu vedení, jelikož je to jediný faktor, který nelze významně ovlivnit. Při nevykoupení pozemku se musí celý návrh vedení předělat anebo postupovat dle zákona 184/2006 Sb. o odnětí nebo omezení vlastnického práva k pozemku nebo ke stavbě (zákon o vyvlastnění). V této práci není optimalizace projektu a výkup řešen.

Všechny výsledky výše zmíněné jsou shrnuty v kapitole 3 (popř. přiloženém CD), kde je popsán praktický návrh vedení. V přílohách je uvedena katastrální mapa, kde jsou zakresleny jednotlivá vedení a software. Z důvodu obsáhlosti byly v přílohách uvedeny jen dílčí části softwaru, celý je přiložen na CD.

Použitá literatura

[1] Tichá, G.:Elektrická část JE VVER 1000 I. část, 2002

[2] Technologie [online], [cit. 2012-03-27], Dostupné z: www.cez.cz

[3] Novovoroněžská elektrárna [online], [cit. 2012-04-29], Dostupné z: www.aep.ru

[4] Les centrales EPR [online], [cit. 2012-04-29], Dostupné z: www.lenergeek.com

[5] Fission Focus: AP1000 [online], [cit. 2012-04-29], Dostupné z: www.tint.or.th

[6] Hygiena práce [online], [cit. 2012-02-04], Dostupné z: www.hygpraha.cz

[7] Sýkora, M.: PpBZ - Díl 8 - část 1 - elektrické systémy, 2009

[8] Mertlová, J., Noháčová, L.: Elektrické stanice a vedení, Plzeň, 2008

[9] Products and sevices [online], [cit. 2012-02-04], Dostupné z: www.power-m.ru

[10] Stephen, R., Douglass, D., Gaudry M., and working group 22.12:
THERMAL BEHAVIOUR OF OVERHEAD CONDUCTORS, 2002

[11] ČSN 50341-3-19, Elektrická venkovní vedení s napětím nad 45 KV AC, 2003.

[12] Examples of posible "main connection"diagram [online],
[cit. 2012-02-04], Dostupné z: www.epr/reactor.co.uk

[13] Sýkora, M.: PpBZ - Díl 8 - část 2 - elektrické systémy, 2009

[14] Přehledové schéma zapojení do elektrizační soustavy.
Dostupné z: interních zdrojů ČEZ a.s.

[15] Orsáková, J.: Rozvodná zařízení, Brno, 2010

[16] ČSN 50341-1, Elektrická venkovní vedení s napětím nad 45 KV AC, 2003

[17] Hrdlička P.: Podklady ČEZ pro zkratové dimenzování v okolí TR Kočín – spočetl ČEPS, Majkus; 2011

Obsah příloh

Příloha A - AlFe lana 1
Příloha B – maximální proud vodičem 4
Příloha B – oteplení vodiče při zkratu 6
Příloha B – ustálená teplota 2
Příloha B – výpočet mechaniky 7

Příloha A – AlFe lana

Označení lana AlFe			180/59	185/31	240/39	350/59	450/52	680/83
Počet drátů a konstrukce	Fe	ks	3+9	1+6	1+6	3+9	3+9	1+6+12
	Al	ks	15+21	10+16	10+16	11+17	12+18 +24	12+18 +24
Průměr drátů	Fe	mm	2,50	2,36	2,65	2,50	2,36	2,36
	Al	mm	2,50	3,00	3,45	4,00	3,25	4,00
Matematický průřez S	Fe	mm^2	58,90	30,62	38,61	58,90	52,49	83,11
	Al	mm^2	176,71	183,78	243,05	351,86	447,97	678,58
	lano	mm^2	235,61	214,40	281,66	410,76	500,46	761,69
Poměr průřezů	S_{Al}/S_{Fe}	-	3,00	6,00	6,30	5,97	8,53	8,16
Průměr Fe duše	d_{Fe}	mm	10,39	7,08	7,95	10,39	9,81	11,80
Průměr lana	D	mm	20,39	19,08	21,75	26,39	29,31	35,80
Jmenovitá hmotnost lana	g	kg/km	971,26	756,78	984,37	1453,0	1667,42	2556,12
Měrná tíha	γ	$N/m.mm^2$	0,0404	0,0346	0,03427	0,0346	0,03267	0,03291
Modul pružnosti	E	MPa	87749	74567	73861	74637	69901	70421
Součinitel tepelné roztažnosti	α	$10^{-6}.K^{-1}$	16,846	18,863	18,991	18,850	19,759	19,653
Matematická únostnost lana			104,84	68,292	85,492	127,58	133,858	207,337
Zaručená únostnost lana			94,360	61,463	76,943	114,82	120,472	186,603
Měrná pevnost			$400,49^{+}$	$286,67^{+}$	$273,18^{+}$	$279,54^{+}$	$240,72^{+}$	$244,98^{+}$
Maximální dovolené mechanické napětí			152,18	108,93	103,807	106,22	91,475	93,094
El. odpor stejnosměrný	$R_{20°}$	Ω/km	0,1593	0,1562	0,1181	0,0816	0,0646	0,0425
Oteplovací proudy při T_{dov}=70°C	T_{ok}=25°	A	566	554	657	835	875	1095
	T_{ok}=40°	A	450	441	522	660	725	909
Max. délka na bubnu			2300	3000	3000	2300	2000	1200

Příloha B – ustálená teplota

```
%zadane hodnoty
Pn=113.74e6;                    % cinny vykon generatoru                [W]
fi=0.9;                         % ucinik                                [-]
Umax=123e3;                     % maximalni napeti vedeni               [V]
ns=1;                           % z kolika vodicu se sklada svazek      [-]
alfa=4.03e-3;                   % tepelny koeficient odporu             [1/K]
T=20+273.15;                    % referencni teplota                    [K]
S=1000;                         % souhrne slunecni zareni               [W/m^2]
alfas=0.5;                      % absorpce povrchu vodice               [-]
Ta=35+273.15;                   % teplota okoli                         [K]
y=500;                          % nadmorska vyska                       [m]
V=0.5;                          % rychlost vetru                        [m/s]
g=9.807;                        % gravitacni zrzchleni                  [m/s^2]
epsilon=0.5;                    % emisivita                             [-]
sigmab=5.67e-8;                 % Stefan-Boltymannova konstanta         [W/m^2*K^4]
delta=45;                       % uhel vetru                            [°]
R20=0.0425;                     % el. DC odpor pri referencni teplote   [ohm]
D=35.8e-3;                      % prumer lana                           [m]
dal=4e-3;                       % prumer Al dratu                       [m]
Hg=1;                           % teplo ziskane poc. hod.               [W/m]
Hl=1;                           % teplo ztracene poc hod.               [W/m]
Ts=308.15;                      % povrchova teplota vodice poc. hod     [K]
imax=10000;                     % pocet iteraci
i=0;
while 1                         % vypocet
        i=i+1;
        Ts=Ts+0.01;                         % povrchova teplota                 [K]
        del=delta*pi()/180;
        Iac=Pn/(sqrt(3)*fi*Umax*ns);        % AC proud jednim vodicem
                                            %ve svazku pri VS                  [A]
        Idc=Iac*sqrt(1.0123+2.36e-5*Iac);   % DC prou vychazejici z AC proudu   [A]
        Tav=Ts;                             % hlavni teplota vodice             [K]
        Pj=Idc^2*R20*0.001*(1+alfa*(Tav-T)); % Jouleho ztraty                   [W/m]
        Ps=alfas*S*D;                       % solarni ohrev                     [W/m]
        Pi=0;                               % ohrev korokou zanedbavame         [W/m]
        Pm=0;                               % magneticke otepleni               [W/m]
        Tf=0.5*(Ta+Ts);
        vf=1.32e-5+9.5e-8*(Tf-273.15);
        lamdaf=2.42e-2+7.2e-5*(Tf-273.15);  % tepelna vodivost vzduchu          [W/m*K]
        Ror=exp(-1.16e-4*y);                % relativni hustota vzduchu         [-]
        Re=Ror*V*D/vf;                      % Reznoldsovo cislo                 [-]
        Rf=dal/(2*(D-dal));                 % drsnost vodice                    [-]

        if  Rf<=0.05                        % viz tab. 1 [metodika cirge]
                B1=0.178;
                n=0.633;
        else
                B1=4.8e-2;
                n=0.8;
        end
```

```
        if delta<24
                A1=0.42;                    %hodnoty pro uhel vetru 0° < delta < 24°
                B2=0.68;
                m1=1.08;
        else
                A1=0.42;                    %hodnoty pro uhel vetru 24° < delta < 90°
                B2=0.58;
                m1=0.9;
        end

        Nu=B1*Re^n;                         % Nusseltovo cislo                          [-]
        Nudelta=Nu*(A1+B2*sin(del)^m1);     % Nusseltovo cislo pri vetru pod uhlem      [-]
        Pc=pi()*lamdaf*(Ts-Ta)*Nudelta;     % chlazeni vedenim                          [W/m]
        Pr=pi()*D*epsilon*sigmab*(Ts^4-Ta^4); % chlazeni salanim                        [W/m]
        Pw=0;
        Hg=round((Pj+Pm+Ps+Pi)*10)/10;      % teplo ziskane                             [W/m]
        Hl=round((Pc+Pr+Pw)*10)/10;         % teplo ztracene                            [W/m]

        if Hl==Hg
                Ts=Ts-273.15;
                break
        end
        if i>=imax
                break
        end

end
if i>=imax
        fprintf('Dosazen maximalni pocet iteraci\n')
else
        fprintf('Teplota vodice je %2.1f°C\n', Ts)
end
```

Příloha B – maximální proud vodičem

```
%zadane hodnoty
Pn=113.74e6;                    % cinny vykon generatoru                  [W]
fi=0.9;                         % ucinik                                  [-]
Umax=123e3;                     % maximalni napeti vedeni                 [V]
ns=1;                           % z kolika vodicu se sklada svazek        [-]
alfa=4.03e-3;                   % tepelny koeficient odporu               [1/K]
T=20+273.15;                    % referencni teplota                      [K]
S=1000;                         % souhrne slunecni zareni                 [W/m^2]
alfas=0.5;                      % absorpce povrchu vodice                 [-]
Ta=35+273.15;                   % teplota okoli                           [K]
y=500;                          % nadmorska vyska                         [m]
V=0.5;                          % rychlost vetru                          [m/s]
g=9.807;                        % gravitacni zrzchleni                    [m/s^2]
epsilon=0.5;                    % emisivita                               [-]
sigmab=5.67e-8;                 % Stefan-Boltymannova konstanta           [W/m^2*K^4]
delta=45;                       % uhel vetru                              [°]
R20=0.0425;                     % el. DC odpor pri referencni teplote     [ohm]
D=35.8e-3;                      % prumer lana                             [m]
dal=4e-3;                       % prumer Al dratu                         [m]
Hg=1;                           % teplo ziskane poc. hod.                 [W/m]
Hl=1;                           % teplo ztracene poc hod.                 [W/m]
Ts=308.15;                      % povrchova teplota vodice poc. hod       [K]
imax=10000;                     % pocet iteraci
i=0;
while 1                         % vypocet
        i=i+1;
        del=delta*pi()/180;             % prepocet na radiany
        Idc=Idc+0.1;                    % DC proud                          [A]
        Tav=Ts;                         % hlavni teplota vodice             [K]
        Pj=Idc^2*R20*0.001*(1+alfa*(Tav-T));  % Jouleho ztraty               [W/m]
        Ps=alfas*S*D;                   % solarni ohrev                     [W/m]
        Pi=0;                           % ohrev korokou zanedbavame         [W/m]
        Pm=0;                           % magneticke otepleni               [W/m]
        Tf=0.5*(Ta+Ts);
        vf=1.32e-5+9.5e-8*(Tf-273.15);
        lamdaf=2.42e-2+7.2e-5*(Tf-273.15);  % tepelna vodivost vzduchu      [W/m*K]
        Ror=exp(-1.16e-4*y);            % relativni hustota vzduchu         [-]
        Re=Ror*V*D/vf;                  % Reznoldsovo cislo                 [-]
        Rf=dal/(2*(D-dal));             % drsnost vodice                    [-]
        if  Rf<=0.05                    % viz tab. 1 [metodika cirge]
                B1=0.178;
                n=0.633;
        else
                B1=4.8e-2;
                n=0.8;
        end
         if delta<24
                A1=0.42;                %hodnoty pro uhel vetru 0° < delta < 24°
                 B2=0.68;
                m1=1.08;
         else
                A1=0.42;                %hodnoty pro uhel vetru 24° < delta < 90°
                B2=0.58;
                m1=0.9;
        end

        Nu=B1*Re^n;                     % Nusseltovo cislo                  [-]
```

```
        Nudelta=Nu*(A1+B2*sin(del)^m1);      % Nusseltovo cislo pri vetru pod uhlem  [-]
        Pc=pi()*lamdaf*(Ts-Ta)*Nudelta;      % chlazeni vedenim                      [W/m]
        Pr=pi()*D*epsilon*sigmab*(Ts^4-Ta^4);  % chlazeni salanim                    [W/m]
        Pw=0;
        Hg=round((Pj+Pm+Ps+Pi)*10)/10;       % teplo ziskane                         [W/m]
        Hl=round((Pc+Pr+Pw)*10)/10;          % teplo ztracene                        [W/m]

        if Hl==Hg
                Ts=Ts-273.15;
                Iac=Idc/sqrt(1.0123+2.319e-5*Idc);
                break
        end
        if i>=imax
                break
        end

end
if i>=imax
   fprintf('Dosazen maximalni pocet iteraci\n')
else
   fprintf('Maximalni proud ve vodici je %2.1fA pri teplote %d°C\n', Iac, Ts)
end
```

Příloha B – oteplení vodiče při zkratu

```
%vstupni hodnoty
roa=2.8264e-8;          % rezistivita [ohm.m]
alfaa=0.00403;          % tepelny koeficient odporu
Aa=678.58e-6;           % prurez hliniku
gamaa=2703;             % hustota hliniku
ca=897;                 % tepelna kapacita hliniku
As=83.11e-6;            % prurez ocely
gamas=7780;             % hustota ocely
cs=481;                 % tepelna kapacita ocely
t=0.5;                  % cas vypnuti
T1=64.6;                % pocatecni teplota
i=0;
I=0;
%zkraty od CEZ
I1=4.429e4;
I2=4.414e4;
I3=4.340e4;
I4=4.267e4;
I5=4.197e4;
I6=4.129e4;
I7=4.063e4;
I8=3.999e4;
I9=3.937e4;
I10=3.876e4;
I11=3.817e4;
I12=3.760e4;
I13=3.704e4;
I14=3.649e4;
I15=3.596e4;
I16=3.544e4;
I17=3.494e4;
%vypocet teploty
while 1
        i=i+1;
        I=[I1 I2 I3 I4 I5 I6 I7 I8 I9 I10 I11 I12 I13 I14 I15 I16 I17];
T2=(((1+alfaa*(T1-20))*exp(((((I(i)/4)^2)*roa*alfaa)/(Aa*((Aa*gamaa*ca)+(As*gamas*cs))))*t)-
1)/alfaa)+20;
fprintf('Pri vzdalenosti %1.0fm je zkratovy proud %1.0fA a teplota vodicevzroste na %1.1f°C\n',I, I(i),
T2);
        if I<1
                I=I+40;
        else
                I=I+200;
        end
        if i>=17;
                break
        end
end
```

Příloha B – výpočet mechaniky

```
%zadani hodnot vodic
n=1;                    %pocet vodicu ve svazku
S=235.61;               %prurez vodice
D=20.39;                %prumer vodice
gama=0.04043e6;         %merna tiha
E=87.749e9;             %modul pruznosti
alfa=16.846e-6;         %soucinitel tepelne roztaznosti
sigmadov=152.187e6;     %max. dovolene namahani
mer_pev=400.49e6;        %merna pevnost
sigmahz=128.97e6;       %horizontalni namahani


%zadani terenu
hdov=1;                 %dovolena vyska od zeme
L=317.66;               %rozpeti stozaru
h=6;                    %rozdil vysek zaveseni
hh=30;                  %vyska zaveseni vodice

%zadani hodnot prostredi
Vh=24;                  %rychlost vetru viz norma tab 4.2 CSN 50341
omega=0;                %uhel vetru
H=500;                  %nadmorska vyska
Nx=3;                   %namrazova oblast N0=1, N1=2, N2=3, N3=4, N5=5, N8=6, N12=7, N18=8
gamai=1;                %soucinitel zatizeni namrazou pro: uroven 1=1, uroven 2=1.25, uroven 3=1.5
gamaw=1;                %soucinitel zatizeni vetrem pro: uroven 1=1, uroven 2=1, uroven 3=1
TNx=1;                  %typ namrazy mokry snih=1, ledovka=2, lehka jinovatka=3, tezka jinovatka=4

%vypocet pridavneho zatizeni
%koeficienty
T=15;                                   %thustota vzduchu 15°C referencni
z0=0.05;                                %treci vyska viy tab 4.2.1 norma 50341-1
g=9.81;                                 %gravitacni zrychleni
Gq=(1+2.28/log(hh/z0))^2;               %poryvovy soucinitel
Gc=1.3-0.082*log(L);
gv=gama*1e-6*S;                         %tiha vodice
%vitr
roref=1.225;                            %referencni hustota vzduchu
ro=roref*(288/(T+273))*exp((-1.2e-4)*H);%hustota vzduchu
if D>=16
        Cc=1;
end
if 12.5<=D<=16
        Cc=1.1;
end
if D<12.5
         Cc=1.2;
end
qh=0.5*ro*Vh^2;                         %dynamicky tlak vetru
psiWc=0.25;                             %soucinitel mirneho vetru
qhcI=psiWc*qh;                          %dynamicky tak vetru respektovany soucinitelem mirneho
vetru
qwc=qh*Gq*Gc*Cc*D*1e-3*(cos(omega))^2;


%namraza
if D<=30
        d=1;
```

```
else
        d=2;
end
if Nx<=4                                %soucinitel vysky pro zatizeni namrazou
        Kh=(hh/10)^0.13;
else
        Kh=(hh/10)^0.25;
End
TN=[1 500;1 900; 1.2 300; 1.1 700];     % tab 4.2.5 norma 50341-1
N=[1.298+0.1562*D 5.267+0.0239*D;       %namrazove oblasti
  3.873+0.2698*D 10.566+0.0467*D;
  10.566+0.4457*D 21.423+0.0838*D;
  18.305+0.5866*D 33.032+0.0957*D;
  35.376+0.8155*D 55.569+0.1424*D;
  63.077+1.0890*D 90.254+0.1831*D;
  102.063+1.8352*D 143.619;
  162.924+1.7501*D 215.427];
CcI=TN(TNx, 1);                         %soucinitel aerodynamickeho odporu
roi=TN(TNx, 2);                         %hustota namrazy
IR=N(Nx,d);                             %referencni zatizeni namrazou
IK=Kh*IR;                               %charakteristicke zatizeni namrazou
Id=IK*gamai;qi=Id;                      %charakteristicke zatizeni namrazou respektovana se
                                        %soucinitelem namrazy
Dek=sqrt(((D*0.001)^2)+(4*Id/(g*pi()*roi)));    %ekvivalentni prumer
%vitr a namraza
qwcI=qhcI*Gq*Gc*CcI*Dek*(cos(omega))^2;
%zatezovatele
gv=gama*1e-6*S;                         %tiha vodice
za=n*(gv+qi)/(n*gv);
zb=sqrt(n*gv^2+qwc^2)/(n*gv);
zc=1;
zd=sqrt(n*(gv+qi)^2+qwcI^2)/(n*gv);
z=[za zb zc zc zd zc];
j=0;
xA=L/2-sigmahz*h/(L*gama*z(1));
fprintf('rozpeti stozaru\t\t\t\t\t%2.2fm\nrozdil vysek zaveseni\t\t\t%2.2fm\nvyska zaveseni
vodice\t\t\t%2.2fm\n\n',L, h, hh);
while 1
  j=j+1;
  if xA<0
    fprintf('nevyhovela vzdalenost xA\n ')
    break
  else
    if j==1
      sigmah=sigmahz;
    end
    if j>=2
      theta=[-5 40 -30 -5 80];
      N=(gama^2)*E/24*L^2*z(j)^2;
      M=(gama^2)*E/24*L^2*((z(1)/sigmahz)^2)+alfa*E*(theta(j-1)+5)-sigmahz;
      sigmah1=1;
      e=1;

while 1
        e=e+1;
        i=sigmah1;
        sigmah1=sqrt(N/(sigmah1+M));
        if abs(i-sigmah1)<0.1
          sigmah=i;
          break
```

```
        end
        if e==10e4
            fprintf('dosazen max pocet iteraci\n ')
            break
        end
      end
    end
    b=L/cos(atan(h/L));
    c=sigmah/(gama*z(j));
    sigmaB=c*cosh(xA/c)*gama*z(j);
    sigmaA=c*cosh((L/2+sigmah*h/(L*gama*z(j)))/c)*gama*z(j);
    fv=b^2*gama*z(j)/(8*sigmah);
    if sigmaA<=sigmadov
        if sigmaB<=sigmadov
            if (hh-fv)>=hdov
                sigmaA=sigmaA/1e6;
                sigmaB=sigmaB/1e6;
                if j==1
                    fprintf('stav pocasi\t\t\tMech. napeti celkove\t\tViditelny pruhyb\n ')
                end
                switch j
                    case 1
fprintf('-5°C a NN\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 2
fprintf('-5°C vitr\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 3
fprintf('+40°C\t\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 4
fprintf('-30°C\t\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 5
fprintf('-5°C vitr NN\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 6
fprintf('+80°C\t\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                end
                 else
                fprintf('nevzhovel pruhyb\n ')
                switch j
                    case 1
fprintf('-5°C a NN\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 2
fprintf('-5°C vitr\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 3
fprintf('+40°C\t\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 4
fprintf('-30°C\t\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 5
fprintf('-5°C vitr NN\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 6
fprintf('+80°C\t\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                end
             end
        else
            fprintf('nevzhovelo namahani na B\n ')
            switch j
                    case 1
fprintf('-5°C a NN\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 2
 fprintf('-5°C vitr\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 3
 fprintf('+40°C\t\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
```

```
                    case 4
 fprintf('-30°C\t\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 5
 fprintf('-5°C vitr NN\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB,
fv)
                    case 6
 fprintf('+80°C\t\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
              end
            end
      else
         fprintf('nevzhovelo namahani na A\n ')
         switch j
                    case 1
fprintf('-5°C a NN\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 2
fprintf('-5°C vitr\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 3
fprintf('+40°C\t\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 4
fprintf('-30°C\t\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 5
fprintf('-5°C vitr NN\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
                    case 6
fprintf('+80°C\t\t\tBodA:%2.2fMPa BodB:%2.2fMPa\t\t\t%2.2fm\t\t\tvyhovuje\n ',sigmaA, sigmaB, fv)
         end
      end
      if j==5
        break
      end
   end
end
```