1 Mechanická kritéria projektu

Jak již bylo dříve naznačeno, následuje po elektrické stránce návrhu analýza mechanických aspektů projektu. Zatímco elektrické vlastnosti venkovního a kabelového vedení mají v zásadě společného jmenovatele ve formě shodných elektrických parametrů lišících se pouze velikostí, mechanické vlastnosti je nutné od počátku separovat pro oba druhy vedení vzhledem k jejich odlišnostem.

1.1 Mechanika

Mechanika je nauka o výpočtech, dimenzování konstrukcí a stavbě elektrických vedení z hlediska pevnosti. Cílem je dosáhnout účelného, spolehlivého a hospodárného přenosu a rozvodu elektrické energie. Mechanika vedení je součástí rozhodování o základních směrech řešení celkové úlohy, tj. zda se má zvolit rozvod elektrické energie kabelem, venkovním vedením nebo oběma způsoby, jaké napětí se použije a jaká má být bezpečnost dodávky.

1.1.1 Vodiče

Při návrhu venkovního vedení je nutné znát přesné prostorové umístění vodičů. Při ukotvení vodiče mezi dva závěsné body netvoří spojovací přímku mezi těmito body, ale vlivem vlastní hmotnosti se prohne do tzv. *průhybové křivky*. V následujících bodech je shrnuta mechanika zavěšeného vodiče.

1. <u>Průhyb vodiče</u>

Průhyb vodiče venkovního vedení je maximální svislá vzdálenost v poli venkovního vedení mezi vodičem a spojnicí jeho závěsných bodů na podpěrných bodech - stožárech. Pomocí průhybu se určuje výška stožárů.

Vodič zavěšený mezi dvěma body má tvar křivky, která se pro mechanický výpočet vedení nahrazuje:

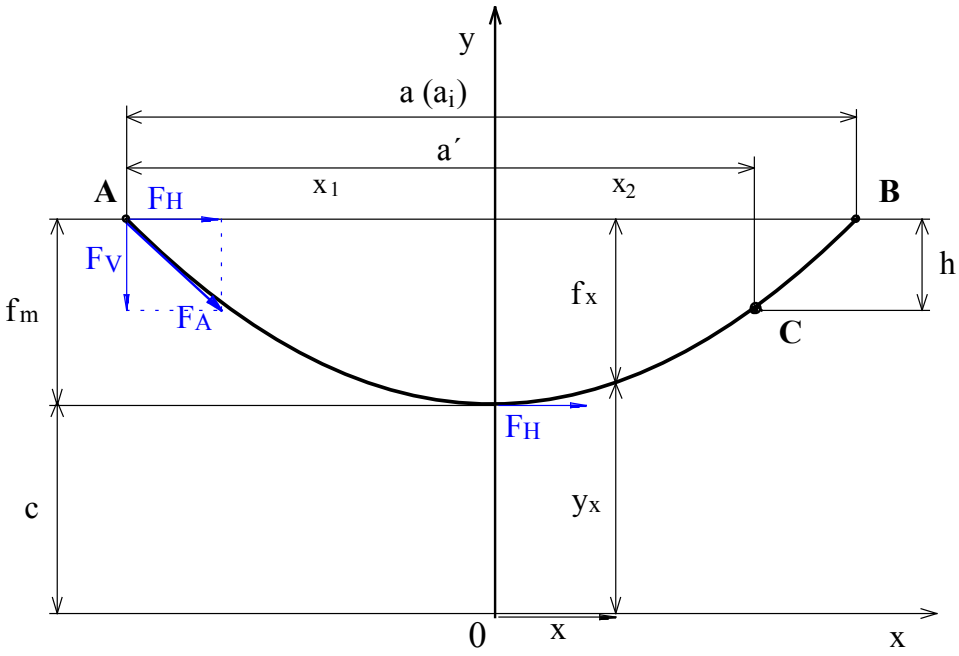
- *Řetězovkou* - tíha vodiče i přídavného zařízení je rovnoměrně rozložena po délce vodiče.

- *Pružnou řetězovkou* - tíha vodiče i přídavného zařízení závisí na protažení vodiče v daném místě. Výpočet pružné řetězovky je obtížný a rozdíly vůči nepružné řetězovce jsou minimální.

- *Parabolou* - tíha vodiče i přídavného zařízení je rovnoměrně rozložena po spojnici závěsů. Pro rozpětí do 400 m se od řetězovky liší jen nepatrně, v místě maximálního průhybu asi o 10 cm.

Z hlediska uchycení vodiče se zavěšení vodiče dělí na:

- *Souměrné* - závěsné body jsou ve stejné nadmořské výšce.
- *Nesouměrné* - závěsné body nejsou ve stejné nadmořské výšce.



Obr. 13: Grafické znázornění průhybu vodiče

Při řešení průhybu pomocí řetězovky se vychází ze základní rovnice řetězovky:

$$y = c \cdot \cosh \frac{x}{c}, \qquad \text{kde} \qquad c = \frac{\sigma_H}{\gamma \cdot z} \qquad [\text{m; N/m}^2\ (\text{Pa}),\ \text{N/(m . mm}^2)]\ [7]$$

c parametr řetězovky; převádí reálné namáhané vedení na matematický model. Je fiktivní souřadnicí nejnižšího místa řetězovky od země; při z = 1 bude c rovno:
- 2 240 m pro Cu (σ_H = 200 MPa),
- 2 970 m pro Al (σ_H = 80 MPa),
- 3 200 m pro AlFe (σ_H = 110 MPa);

σ_H vodorovná složka mechanického namáhání (napětí),

γ měrná tíha vodiče,

z činitel přetížení, z = 1 pro vodiče bez přídavného zatížení, u vodiče zatíženého námrazou může být z = 2 až 3, obvykle se udává mezi 1 až 2.

a) Souměrné zavěšení

Průhyb v libovolném místě *x* rozpětí pro souměrné zavěšení bude:

podle řetězovky:

$$f_x = c \cdot \left(\cosh \frac{a}{2 \cdot c} - \cosh \frac{x}{c} \right) \quad [m]$$

podle paraboly:

$$f_x = \frac{1}{2 \cdot c} \cdot \left(\frac{a^2}{4} - x^2 \right) \quad [m] \qquad [7]$$

a rozpětí pole AB.

Maximální průhyb pro souměrné zavěšení je ve středu rozpětí pole a rovnice budou nabývat tvarů:

podle řetězovky:

$$f_m = c \cdot \left(\cosh \frac{a}{2 \cdot c} - 1 \right) \quad [m]$$

podle paraboly:

$$f_m = \frac{a^2}{8 \cdot c} \quad [m] \qquad [7]$$

b) Nesouměrné zavěšení

Závěsné body nejsou ve stejné výši, ale je mezi nimi *převýšení h* (viz obr. 13). Rozpětí se udává vodorovnou vzdáleností závěsných bodů *a´*. Výpočet průhybu se řeší tak, že se nesouměrný závěs *AC* doplní na souměrný *AB* stanovením tzv. ideálního rozpětí a_i s vodorovnými podpěrami. Výpočet průhybu se pak řeší podle stejných vzorců jako pro souměrné zavěšení.

Ideální rozpětí a_i se vypočte:

pro řetězovku:

$$a_i = 2 \cdot c \cdot \ln \left[\frac{h}{2 \cdot c \cdot \sinh \frac{a'}{2 \cdot c}} + \sqrt{\left(\frac{h}{2 \cdot c \cdot \sinh \frac{a'}{2 \cdot c}} \right)^2 + 1} \right] + a'$$

pro parabolu:

$$a_i = \frac{2 \cdot c \cdot h}{a'} + a' \qquad [8]$$

U nesouměrně zavěšeného vodiče není nejnižší bod uprostřed rozpětí. Mohou nastat tři případy:

- $a' < \frac{a_i}{2}$ nejnižší bod leží mimo závěsné body *AC*. Tento případ může nastat při maximálním zkrácení vodiče při nízkých teplotách na svahu s velkým sklonem. V tomto případě vodič svým tahem spodní izolátor nadzvedává.

- $a' = \frac{a_i}{2}$ nejnižší bod leží v nižším závěsném bodě.

- $a' > \frac{a_i}{2}$ nejnižší bod leží mezi závěsnými body *AC*.

Průhyb vodiče nesmí přesáhnout dovolenou výšku nad zemí ani při -5 °C a námrazku, ale též ani při +40 °C. Z toho důvodu se určuje tzv. *kritická teplota*, při které je v obou případech průhyb stejný. Dále je definováno *kritické rozpětí*, při kterém je namáhání při teplotě -5 °C a zvětšeném námrazku rovno 85 % pevnosti lan. Rozpětí vedení musí být menší než kritické.

2. <u>Délka vodiče</u>

Aby bylo možné správně určit elektrické parametry vodiče, je nutné předem znát jeho délku mezi závěsnými body. Pro nesouměrné zavěšení vodiče platí:

$$\ell = 2 \cdot c \cdot \sinh \frac{a'}{2 \cdot c} \cdot \cosh \frac{x_0}{c} \quad [m], \qquad [8]$$

přičemž $x_0 = \frac{x_1 - x_2}{2}$.

Z obr. 13 a z výše uvedeného vztahu je zřejmé, že pro souměrné zavěšení je $x_0 = 0$, $a' = a$, proto se výraz zjednoduší na:

$$\ell = 2 \cdot c \cdot \sinh \frac{a}{2 \cdot c} \quad \text{a pro parabolu bude} \quad \ell = a + \frac{a^3}{24 \cdot c^2} \quad [m] \qquad [7]$$

3. Namáhání vodiče

Pro velká rozpětí je nutné určit síly, které namáhají vodič v místě závěsu, jakož i síly působící na závěs, aby nebylo překročeno dovolené namáhání (mechanické napětí) vodiče. Charakteristickou hodnotou pro namáhání vodiče je tah na jednotkový průřez [N/m^2 = Pa]. Tah má vodorovnou a svislou složku. Vodorovná je v každém průřezu téhož rozpětí stejná, svislá složka se rovná tíze vodiče s přídavným zatížením od závěsu až k vrcholu křivky průhybu. Pro výpočet namáhání platí vztahy:

Tah:

$\sigma_A = \sigma_H + f \cdot \gamma \cdot z$ [MPa; MPa, m, N/(m . mm^2),-]

Síla:

$F_A = \sigma_A \cdot S$ [N; MPa, mm^2]

Po rozdělení na složku vodorovnou a svislou:

σ_H udává výrobce (norma)

$F_H = \sigma_H \cdot S$

$\sigma_V = \ell_{0A(C)} \cdot \gamma \cdot z$

$F_V = \sigma_V \cdot S$ [1], [8]

Výše uvedený vztah platí pro nesouměrný závěs, kde ℓ představuje délku vodiče od počátku souřadnic *x*, *y* na stranu k bodu *A* nebo *C*.

Pro souměrné zavěšení se vztah upraví na:

$$\sigma_V = \frac{\ell \cdot \gamma \cdot z}{2}$$ [1]

1.1.2 Podpěrné body

Podpěrný bod je všeobecný termín pro různé typy konstrukcí, které nesou vodiče venkovního elektrického vedení. Jako podpěrné body venkovních vedení jsou používány betonové sloupy, ocelové sloupy, příhradové stožáry a dřevěné sloupy. Obecně se pro výše uvedené podpěrné body vžil název *stožáry*. Stožár je definován jako konstrukční prvek vedení, na kterém jsou izolovaně upevněny vodiče s příslušenstvím. Skládá se ze základů, dříku, hlavy, břevna, příček, konzol, případně ze vzpěr a kotev.

Stožáry mohou značnou měrou ovlivnit spolehlivost provozu, životnost vedení, pracnost výstavby i elektrické provozní parametry vedení a investiční i provozní náklady. Tvar a rozměry stožáru závisí na napětí, druhu a počtu fázových vodičů i zemnicích lan, na jejich vzájemném uspořádání, na rozpětí, profilu terénu, únosnosti půdy, na použitém materiálu, na funkci stožáru a silách na něj působících apod. Důležitá je výška stožáru, která je dána uspořádáním fázových vodičů i zemnicích lan, jejich materiálem, průhybem vodičů, dovolenými vzdálenostmi vodičů od terénu, délkou a typem izolátorů. Kovové stožáry musí být uzemněné a stabilní, tj. uložené tak, aby při jejich namáhání v dané zemině byly bezpečné proti překlopení [20].

Stožáry lze rozlišovat z různých hledisek, nejčastěji to je podle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny, a podle účelu. Dalším hlediskem může být tvar konstrukce.

1. Dělení podle použitého materiálu

a) Dřevěné

Dřevěné sloupy se používají pro jednoduchá vedení nn a vn* všech průřezů a druhů vodičů, jako podpěrné body v místech těžko přístupných pro mechanizaci k postavení betonových sloupů, v chráněných krajinných oblastech a národních parcích a všude tam, kde je nutné dodržet ráz krajiny. Pro specifické vlastnosti (pružnost) je vhodné je používat v lesních průsecích.

Dřevo je lehké a pružné, nevyžaduje složité zpracování, je investičně levné a pokud je dobře konzervované, vydrží průměrně 20 až 30 roků. Používá se dřeva ze smrku, jedle, borovice nebo pro větší pevnost z modřínu, dubu a buku. Stavba vedení se dřevěnými stožáry je lehká a rychlá. Jejich údržba je však dražší než u stožárů ocelových nebo betonových, protože i při dobře konzervovaných stožárech se některé musí na různých místech trasy měnit i po deseti letech. Životnost dřevěných stožárů závisí na impregnaci, manipulaci při převozu, uložení v zemi, složení půdy a na vlhkosti.

Podle uspořádání se používají dřevěné stožáry jednoduché, dvojité, stožáry složené ze dvou sloupů těsně spojených, stožáry ve tvaru štíhlého nebo širokého kozlíku. Stožáry jsou typizovány. Jednoduché stožáry se používají jako nosné, lze je však použít též jako rohové nebo odbočné. Stožár se buď podepře vzpěrou nebo zakotví kotvou, aby se nevykláněl. Kozlíky se používají pro stožáry výztužné, rohové nebo odbočné. Mají velmi dobrou stabilitu v rovině procházející oběma sloupy.

Stožáry se mohou zapouštět přímo do půdy do asi 1/6 své výšky nebo se upevňují na betonové patky s ohledem na úsporu dřeva a na delší životnost. Pro konzervaci dřeva se používají látky původu organického (z uhlí, ropy) i anorganického (modrá skalice, chlorid rtuťnatý, chlorid zinečnatý a jiné). Nejlépe se osvědčil kamenouhelný dehtový olej [20].

b) Betonové

V našich podmínkách se betonové stožáry užívají hlavně pro vedení nn a vn. Betonové stožáry mají tvar sloupu zužujícího se směrem nahoru. Průřez mají většinou ve tvaru mezikruží. Beton je armován ocelovými dráty. Sloupy se vyrábějí z předpjatého betonu, čímž se dosáhne větší pevnosti stožáru, případně se zmenší jeho hmotnost, ale výroba je dražší. Tyto stožáry nepotřebují protikorozní ochranu a jsou provozně levnější. Mají kratší výrobní dobu ve srovnání s ocelovými stožáry, mají velkou životnost a jsou odolné proti působení povětrnostních vlivů. Nevýhodou je velká hmotnost a z ní vyplývající značné nároky na dopravu a manipulace s pomocí těžkých mechanizmů.

* V zahraničí se zejména v horských oblastech stavějí s dřevěnými stožáry i vedení vvn. Mají tvar portálu, který je většinou ukotvený.

c) Ocelové

Ocelové stožáry lze rozdělit na stožáry z ocelových trubek a příhradové stožáry. Většinou se jich používá pro vedení větších výšek nebo větších tahů všech napěťových úrovní.

Stožáry *sloupové* se používají pro vedení nn a vn, známá jsou i použití pro napětí 110 kV a 220 kV. Jsou tvořeny bezešvými trubkami zužujícími se nahoru.

Ocelové stožáry s *příhradovou* konstrukcí se používají pro náročnější vedení vn a téměř výlučně pro vedení vvn a zvn a jsou rozličných tvarů. Stožáry mohou být jednodříkové, dvoudříkové a vícedříkové. Dřík má nejčastěji průřez čtvercový nebo obdélníkový a po své délce je buď stejný nebo se směrem k vrcholu zmenšuje. Jako konstrukčního materiálu pro příhradové stožáry se používají válcované rovnostranné úhelníky tvaru L, někdy i trubky nebo profil U. Montáž stožárů se provádí na zemi a stožár se pak postaví nebo se montuje po částech tak, že se postupně přidávají části stožárů nad sebe. Ocelové prvky konstrukce se chrání proti korozi žárovým pozinkováním [20].

2. <u>Dělení podle účelu</u>:

N - nosné: jsou vybaveny podpěrnými izolátory nebo nosnými izolátorovými závěsy v přímé trase vedení. Musí odolávat uvažovanému zatížení větrem a kombinovanému zatížení větrem a námrazou.

R - rohové: jsou vybaveny podpěrnými izolátory, nosnými nebo kotevními izolátorovými závěsy při použití v lomovém bodu trasy vedení nebo vybavené kotevními závěsy v přímé trase vedení, pokud současně neslouží jako výztužné podpěrné body. Musí vydržet výslednici tahů vodičů, zatížení větrem a kombinované zatížení větrem a námrazou.

V - výztužné: kotevní (vybavené kotevními izolátory) podpěrné body v přímé trase nebo lomu trasy vedení, sloužící současně jako pevné body pro omezení lavinového šíření poruchy. Musí být schopné odolat zatížení 2/3 jednostranného tahu omrzlých vodičů a zemnicích lan ve směru vedení spolu s kombinovaným zatížením větrem a námrazou.

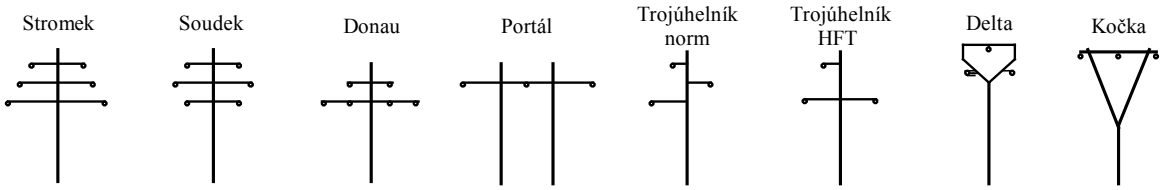
K_o - koncové: podpěrné body s kotevními závěsy, které jsou zatíženy celkovým jednostranným tahem vodičů. Musí snést zatížení tahem omrzlých vodičů a zemnicích lan a kombinované zatížení větrem a námrazou.

O - odbočné: podpěrné body, ze kterých vedou jednotlivá vedení alespoň třemi směry. Musí snést zatížení tahem omrzlých vodičů a zemnicích lan a rovněž kombinované zatížení větrem a námrazou.

K - křižovatkové: podpěrné body vedení ohraničující jednotlivá rozpětí nebo kotevní úseky, které přecházejí přes koridor železničních drah. Musí odolat zatížení 1/3 jednostranného tahu omrzlých vodičů a zemnicích lan ve směru vedení společně se zatěžovacím stavem kombinovaného zatížení větrem a námrazou.

3. Dělení podle konstrukce

Konstrukční provedení stožárů je rozmanité, nejčastěji používané typy jsou na obr. 14.



Obr. 14:Nejpoužívanější typy stožárů

1.1.3 Základy podpěrných bodů

Základy plní úkol přenést zatížení z podpěrného bodu na okolní zeminu a ochránit stožár před kritickým pohybem podloží. Před rozhodnutím o typu základu, jeho tvaru a rozměrech je nutné znát s dostatečnou podrobností strukturu zeminy do hloubky rovné alespoň účinné šířce základu a v případě pilotového základu do větší hloubky, než je hloubka piloty. Při výběru typu základu je nutno také počítat s přirozenými riziky. Typ, stav, rozsah, vrstevnatost a hloubku jednotlivých půdních vrstev a hladinu spodní vody lze prověřit pomocí vrtů, sondováním nebo zkušebními výkopy.

1.1.4 Izolátory a armatury

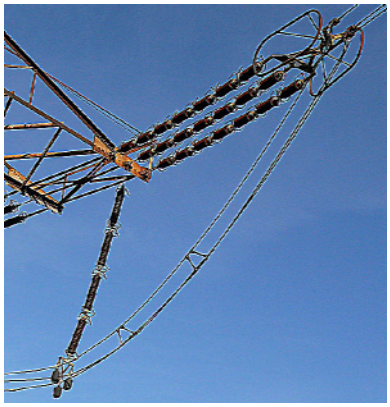
Izolátory slouží k upevnění vodičů k podpěrným bodům. Zajišťuji izolaci fázového vodiče vůči vodivé konstrukci stožáru. Jsou namáhány mechanicky i elektricky. Izolátory musejí odolávat vlivu všech okolních klimatických podmínek, včetně slunečního záření. Musejí být odolné vůči atmosférickému znečištění a schopné spolehlivého chování při vystavení podmínkám znečištění. Izolátory musejí být navrženy tak, aby umožňovaly snadnou údržbu, včetně případné údržby pod napětím. Z elektrického hlediska musejí vyhovět požadavkům na výdržná napětí[*].

[*] Jmenovité impulsní výdržné napětí je vrcholová hodnota impulsního napětí určitého tvaru a polarity, které musí izolátor vydržet bez přeskoku, za určených zkušebních podmínek.

Izolátory lze dělit na:

- *Podpěrné* - používají se pro vedení vn, nejčastěji se používají izolátory roubíkové, které se na konzoly stožárů uchycují pomocí roubíků zasazených do izolátorů. Používají se na podpěrných bodech nosných (v přímé trase) a rohových, do maximální dovolené pevnosti izolátoru. Dále se používají pro vytvoření různých šablon a propojení vodičů na stožárech. Vodiče se k izolátorům uchycují pomocí vazů z drátů.

- *Závěsné* - používají se pro kotvení vodičů a pro závěsy vodičů pro napětí vn, vvn a zvn. Mohou se spojovat do řetězců. Konstruují se jako *talířové* nebo *tyčové*. Z talířových izolátorů se sestavují řetězce, které mohou být jednoduché nebo vícenásobné. Jednotlivé články se spojují pomocí čapky a paličky. Počet článků se zhruba volí tak, aby napětí připadající na jeden článek nebylo vyšší než 10 kV. Talířové izolátory jsou výhodné z hlediska mechanického namáhání, ale méně výhodné z hlediska elektrického namáhání (vznik koróny na paličce). Opačná situace je u tyčových izolátorů. Mechanicky jsou namáhány značně nevýhodně na tah. Tyčový izolátor je na svém povrchu opatřen stříškami ve tvaru šroubovice. Na obou koncích je ukončen natmelenými ocelovými čepičkami. Izolátor je neprůrazný - spíše nastane přeskok než průraz. Vyžaduje proto kvalitní suroviny a náročnou výrobu. Řetězce z těchto izolátorů jsou kratší než u izolátorů talířových. Pro nosný závěs u vedení 110 kV se používá jeden tyčový izolátor, u vedení 220 kV dva izolátory a u vedení 400 kV zpravidla tři a více tyčových izolátorů v sérii. Pro kotevní závěsy se užívá dvojitých až trojitých řetězců. U vedení 220 kV a výše se izolátory vybavují ochrannými kruhy, které mají příznivý vliv na rozdělení napětí na řetězci a snižují nebezpečí poškození povrchu izolátorů přeskokem [8], [20].



Obr. 16: Závěsné izolátory

Ke konstrukci izolátorů se používá sklo, keramika, silikon a materiály na bázi epoxidových pryskyřic, které se hodí zejména do prostředí s těžkými povětrnostními podmínkami.

Armatura je součást, která tvoří část izolátoru, určená k jeho upevnění na nosnou konstrukci nebo vodič, na část výstroje nebo na jiný izolátor. Závěsné a kotevní části výzbroje se vyrábí z ocele s minimální pevností 500 MPa, nebo jsou zhotoveny z jakostní temperované slitiny. Proudové části výzbroje jsou zhotoveny ze slitin mědi a hliníku podle druhu vodiče. Kotevní svorky a spojky mají zaručenou pevnost odpovídající 90 % pevnosti lana. Ocelové části výzbroje jsou chráněny proti korozi pozinkováním. Mezi armatury patří i rozpěrky svazkových vodičů a tlumiče vibrací [20].

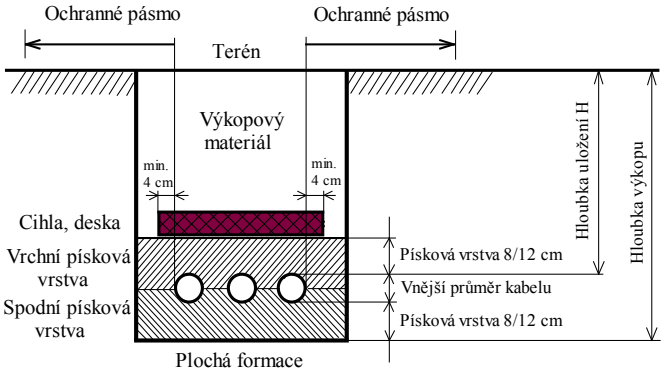
1.1.5 Kabelová vedení

Mechanický návrh silového kabelového vedení je podstatně jednodušší než vedení venkovního. Kabely jsou mechanicky namáhány zejména při jejich kladení a za provozu je v některých případech nutné počítat se seizmickými účinky průmyslu a dopravy (komunikace, neperiodické chvění, kmitání a otřesy). Výrobce kabelů ve své dokumentací zpravidla uvádí nejmenší poloměr ohybu. Kabely lze klást na rovný podklad, na kabelové lávky, rošty, do kabelových kanálů, kolektorů, do tvárnic a do země. Druh kabelu se musí volit se zřetelem k prostředí, povaze prostoru a způsobu uložení. Prochází-li úsek vedení bez přerušení různým prostředím nebo prostory, volí se druh kabelu podle nejnepříznivějšího místa nebo se kabel v takovém místě dodatečně vhodně chrání.

1. <u>Uložení v zemi</u>

Pro vn a vvn rozvody uložené v zemi se užívá jednožílových kabelů vodotěsného provedení. Kabely se mohou ukládat do *trojúhelníkové* nebo *ploché formace*. V situacích, kdy je nutno maximálně využívat zatížitelnost kabelů pro přenášení velkého výkonu, se použije plochá formace, při které lze kabely více zatížit, neboť jejich izolace je méně tepelně zatěžována. V případě průrazu je u ploché formace menší možnost přechodu zemního spojení na dvou nebo třífázový zkrat. Při soustředění většího počtu kabelů do jedné trasy je nutno snížit zatížení nebo zvětšit jejich vzdálenost, aby nedocházelo k vysušování půdy. Propojení nových kabelů se stávající kabelovou sítí se přednostně provádí v zemi tak, aby se kabely nepropojovaly v objektech, kabelových kanálech, kolektorech či tunelech. Při ukládání kabelů různých napěťových soustav nad sebe platí zásada, že vysokonapěťové kabely jsou uloženy u dna výkopu a nízkonapěťové nad nimi. Kabely vn jsou přitom zasypány vrstvou písku a odděleny betonovými deskami tak, aby při případné poruše nedošlo k poškození ostatních kabelů obloukem. Při tomto uspořádání je zatížitelnost kabelů snížena, vzhledem k vzájemnému ohřívání a vysušování půdy.

Do výkopu se kabely kladou na vrstvu jemnozrnného písku o tloušťce nejméně 8 cm a u 110 kV nejméně 12 cm. Po uložení se kabely zasypou stejnou vrstvou písku. U kabelu 110 kV nesmí být výška pískové vrstvy menší než 30 cm a jednotlivé kabely se od sebe a od okraje výkopu **oddělují přepážkami (cihly, desky, příklopy). Jejich osové vzdálenosti určuje výrobce. Kabely se pak musí pokrýt cihlami, tvárnicemi nebo dlaždicemi, které musí překrývat kabel nejméně o**



Obr. 17 : Řez uložením kabelů v zemi

4 cm. (Pouze u kabelů do 1 kV, které nemohou být mechanicky poškozeny, lze místo cihel, tvárnic umístit výstražnou fólii.)

Ochranné pásmo **je pro kabely do 110 kV včetně stanoveno 1 metr od povrchu vnějších kabelů na každou stranu a 3 metry pro kabely nad 110 kV.**

Při *seskupení nebo křižování* vn a vvn kabelů se sdělovacími kabely i jinými silovými kabely musí být mezi jejich povrchy vzdálenost minimálně 20 cm.

Vstup kabelů ze země do budov a kanálů se provede betonovou rourou nebo tvárnicí. Průměr otvorů musí být minimálně 1,5násobek průměru kabelu. Proti šíření ohně se utěsní z venkovní strany požární ucpávkou. Proti zatékání vody se utěsní manžetou nebo vhodným tmelem se sklonem ven, aby voda nemohla zatékat. Při výstupu kabelu ze země na stožár je nutno kabel chránit proti mechanickému poškození krytem [14].

Tab. 13: Hloubky uložení kabelů do země

Napětí [kV]	**Hloubka uložení H [cm]**		
	Terén	**Chodník**	**Vozovka**
1	35 (70 bez mech. ochrany)	35	100
do 10	70	50	100
do 35	100	100	100
110	130	130	130

2. **<u>Uložení na vzduchu a v objektech</u>**

Používají se pouze kabely opatřené vnějším pláštěm z materiálu nešířícího plamen. Ve zvláštních případech, např. při vstupu kabelu uloženého v zemi do objektu, lze použít i kabel s vnějším PE pláštěm, který však musí být opatřen nehořlavým nátěrem v části uložené na vzduchu. S ohledem na tepelné zatížení a dynamické namáhání při zkratu je nejvýhodnější kabely ukládat na vzduchu vedle sebe s mezerou minimálně 20 mm mezi žílami. Kabely se přichytávají k podkladu příchytkami ve vzdálenosti určené výrobcem. Příchytky mají pružnou vložku, aby se kabel za provozu nedeformoval.

3. <u>Uložení ve tvárnicích a rourách</u>

Tvárnice a roury chrání kabely před mechanickým poškozením. Používají se zejména v případech, kde existuje větší riziko poškození kabelů, např. při křížení komunikací. Tvárnice musí mít pevný podklad, který poskytuje dostatečnou záruku nosnosti a pevnosti před případným sesedáním půdy. Kladou-li se nad sebe, musí být spáry vystřídány, aby nebyly nad sebou. Do každého otvoru tvárnice se vtahuje jen jeden kabel. Jednotlivé úseky tvárnic musí být přímé a světlost jejich otvorů taková, aby kabely se do nich daly bez poškození zatahovat, doporučuje se 1,5násobek průměru kabelu.

4. **<u>Uložení v kabelových kanálech a šachtách</u>**

Kabelové kanály mohou být průchozí, průlezné nebo shora přístupné. Jsou vybaveny nosnými konstrukcemi (rošty, závěsy, žlaby), které slouží pro uložení nebo uchycení kabelů. Kabelové kanály bývají rozděleny na jednotlivé samostatné požární úseky, které jsou odděleny požárními přepážkami.

Kabely se ukládají volně nebo pevně vždy v jedné vrstvě. V prostoru uličky se nekladou na podlahu. Při uložení nad sebou se kabely do 1 kV dávají obvykle pod kabely nad 1 kV. Jestliže je tomu naopak, musí se od sebe oddělit přepážkou odolávající elektrickému oblouku. Mezi kabely nad 10 kV mají být mezery rovné dvojnásobku vnějšího průměru většího z kabelů, nejméně však 100 mm, pokud nejsou odděleny přepážkou odolávající elektrickému oblouku.

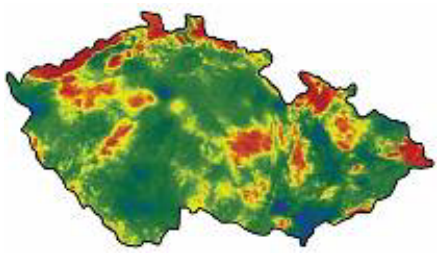
Kabely 110 kV a 220 kV se do kabelových kanálů a šachet ukládají pouze v mimořádných případech, kdy pro jejich uložení nelze ze závažných důvodů vybudovat kabelový tunel. Kabely přitom musejí mít nehořlavý vnější obal nebo po celém povrchu nanesenou protipožární hmotu. Pokud jsou uloženy do společných kabelových kanálů s kabely nižších napětí, musí být uloženy ve stavebně odděleném prostoru, který musí mít požární odolnost nejméně 30 minut a ulička mezi konstrukcí stavebně odděleného prostoru a ostatními kabely musí být nejméně 1 metr široká [14].

1.2 Vlivy okolí

Při návrhu vedení se zohledňují různé podmínky okolí, které mají vliv na jeho spolehlivost a na které musí být vedení dimenzováno, neboť způsobují přídavné zatěžovací stavy. Patří do kategorie nahodilých zatížení. Pro venkovní vedení jsou to klimatické podmínky, pro kabelová vedení uložená v zemi je to zejména chemické složení půdy.

1.2.1 Vítr

Tlak větru způsobuje přídavné zatížení vodičů i ostatních částí venkovních vedení. Přitom je důležitý směr a rychlost větru. **Vítr svým přídavným zatížením způsobuje protažení vodiče, zvětšení jeho namáhání, vychýlení vodiče i izolátorů. Může též způsobit vibraci (kmitání) vodičů ve svislé rovině s frekvencí 10 až 15 Hz s amplitudou několik cm. Následkem vibrací vzniká dodatečné dynamické namáhání ve vodiči, které může v místě upevnění vést k únavovému lomu.** Tomu lze zabránit použitím výkyvných lehkých svorek, zesílením lan u výstupu ze svorek, použitím antivibračních* lan a tlumičů kmitání.



Obr. 18: Orientační větrná mapa ČR

Území ČR je rozděleno do dvou větrových oblastí. Pro stanovení zatížení větrem se v závislosti na větrové oblasti a nadmořské výšce uvažují hodnoty *referenční rychlosti větru* uvedené v tab. 14.

Tab. 14: Hodnoty referenční rychlosti V_R pro výšku 10 m nad zemí a kategorii terénu II.

Větrová oblast	Nadmořská výška H [m]	Referenční rychlost V_R [m/s]
1 (žlutá)	$H \leq 700$	24
	$700 < H \leq 1300$	30
2 (červená)	$H \leq 700$	26
	$700 < H \leq 1300$	30,2
	$H > 1300$	33

* Antivibrační lano je tvořeno pláštěm ze slaněných hliníkových drátů, uvnitř kterého je volně uložené ocelové lano. Obě lana jsou napnuta rozdílným tahem, přičemž ocelové lano bývá napnuto tahem vyšším. Tím se dosáhne, že kmitočty lan jsou různé a lana se nemohou vzájemně rozkmitat.

1. **<u>Síla větru na vodiče</u>**

Tlak větru na vodiče vyvolává síly působící příčně na směr vedení. Na každý podpěrný bod, ohraničující rozpětí, působí polovina této síly. Směr síly je vodorovný a kolmý na rozpětí. Síla větru na vodič Q_{Wc} v jednom rozpětí se vypočte podle vztahu:

$$Q_{Wc} = q_h \cdot G_q \cdot G_c \cdot d \cdot C_c \cdot L \cdot \sin^2 \beta \quad [\text{N; Pa, -, -, m, -, m,-}] \qquad [12]$$

q_h dynamický tlak větru pro výšku vodiče rovnou výšce závěsného bodu,
G_q poryvový součinitel (viz tab. 16),
G_c součinitel rozpětí (viz tab. 16),
L délka rozpětí,
C_c součinitel aerodynamického odporu vodiče:
- $C_c = 1{,}0$ pro vodiče o průměru $d > 16$ mm,
- $C_c = 1{,}1$ pro vodiče o průměru $12{,}5 < d < 16$ mm a pro všechny průměry omrzlých vodičů,
- $C_c = 1{,}2$ pro vodiče o průměru $d < 12{,}5$ mm,

d průměr vodiče,
β úhel mezi směrem větru a podélnou osou vodiče [°].

2. **<u>Síla větru na sloupy</u>**

Síla větru na sloupy Q_{Wpol} se určí pomocí vztahu:

$$Q_{Wpol} = q_h \cdot G_q \cdot G_{pol} \cdot C_{pol} \cdot A_{pol} \qquad [\text{N; Pa, -, -, -, m}^2] \qquad [12]$$

q_h dynamický tlak větru (viz tab. 16),
G_q poryvový součinitel (viz tab. 16),
G_{pol} dynamický součinitel ($G_{pol} = 1$ pro výšky do 20 m),
C_{pol} součinitel aerodynamického odporu:
- betonové, ocelové s kruhovým profilem $C_{pol} = 0{,}7$,
- dřevěné a dřevěné dvojité tvaru A $C_{pol} = 0{,}8$,
- sloupy s 12, 10, 8, 6-ti úhelníkovým profilem C_{pol} = postupně 0,8; 1,2; 1,3; 1,4,

A_{pol} účinná plocha dříku sloupu.

3. **<u>Síla větru na příhradové stožáry</u>**

Platí tentýž vztah jako na sloupy, místo indexu *pol* je index *t* a dále:
- G_t do 30 metrů je rovno jedné,
- C_t pro vítr kolmo na stožár je 2,6 a pro vítr úhlopříčně na stožár je 3.

4. **<u>Síla větru na ostatní výzbroj</u>**

Síly větru na ostatní výzbroj (izolátory, armatury, konzoly atd.) se běžně neuvažují. V ojedinělých případech, kdy je třeba z hlediska zatížení jejich vliv do celkového zatížení zahrnout, se použije vztahu jako v předchozím případě. Součinitele G_x, C_x, se buď vypočítají nebo lze přiměřeně použít hodnot z předchozích případů. Plocha prvku A_x, promítnutá do roviny kolmé na směr větru, se vypočítá.

1.2.2 Námraza

Námraza na vodičích působí svislé síly a také vyvolává zvýšení tahů ve vodičích (zatížení námrazou na podpěrných bodech a izolátorech se běžně neuvažuje). V závislosti na průběhu tvorby námrazy existují dva hlavní typy atmosférické námrazy:

- ***Srážková* námraza, což může být mokrý sníh nebo ledovka.**
- ***Vnitrooblaková* námraza ve formě lehké nebo těžké jinovatky.**

Hodnoty *referenčního zatížení námrazou* I_R [N/m] ve výšce 10 m nad zemí na jednotce délky vodiče s dobou návratu T = 50 let jsou uvedeny následující tabulce. (Námrazové mezooblasti N0 až NK jsou znázorněny v Mapě námrazových mezooblastí na území ČR.)

Tab. 17: Referenční zatížení námrazou

Námrazová oblast	**I_R [N/m] na jednotku délky vodiče o průměru d [mm]**	
	d ≤ 30	**d > 30**
N0	1,298 + 0,1562 d	5,267 + 0,0239 d
N1	3,873 + 0,2698 d	10,566 + 0,0467 d
N2	10,566 + 0,4457 d	21,423 + 0,0838 d
N3	18,305 + 0,5866 d	33,032 + 0,0957 d
N5	35,376 + 0,8155 d	55,569 + 0,1424 d
N8	63,077 + 1,0890 d	90,254 + 0,1831 d
N12	102,063 + 1,3852 d	143,619
N18	162,924 + 1,7501 d	215,427
NK	Stanoví se individuálně	

Průměrem vodiče *d* se rozumí celkový průměr vodiče včetně izolace u izolovaných vodičů, u závěsných kabelů průměr vodičů včetně nosného lana a u slaněných vodičů celkový průměr po slanění jednotlivých vodičů.

Charakteristické zatížení námrazou na jednotku délky vodiče I_K ve výšce h nad zemí se určí vztahem:

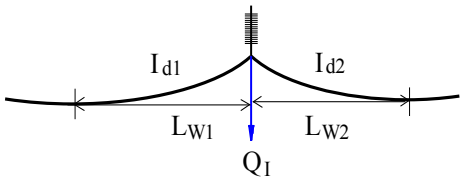
$$I_K = K_h \cdot I_R \qquad [N/m;\ -,\ N/m] \qquad [12]$$

K_h součinitel výšky pro zatížení námrazou:
$K_h = 1$ pro výšky závěsného bodu do 20 m nad zemí,
$K_h = 1{,}09$ pro výšky závěsného bodu nad 20 m nad zemí v oblastech N0 až N3,
$K_h = 1{,}19$ pro výšky závěsného bodu nad 20 m nad zemí v oblastech N5 až NK.

Vzhledem k tomu, že hodnota zatížení námrazou může být v obou přilehlých rozpětích různá, vypočte se svislé zatížení námrazou, které působí na každém dílčím vodiči na podpěrný bod, jako součet příspěvků z obou přilehlých rozpětí podle vztahu:

$$Q_I = I_{d1} \cdot L_{W1} + I_{d2} \cdot L_{W2} \qquad [N;N/m,\ m]$$

I_{d1}, I_{d2} zatížení námrazou na jednotku délky vodičů v přilehlých rozpětích,
L_{W1},L_{W2} jsou délky váhového rozpětí přilehlých rozpětí (vzdálenost dolu průhybové křivky od podpěrného bodu) v rovinatém terénu do sklonů 30° postačí uvažovat poloviny přilehlých rozpětí .



Obr. 19: Svislé zatížení podpěrného bodu námrazou

1.2.3 Kombinace větru a námrazy

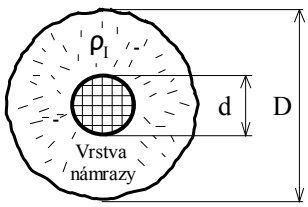
V České republice se uvažuje kombinace návrhového zatížení námrazou podle uvažované úrovně spolehlivostí spolu s 50 % extrémní rychlostí větru. Norma připouští i kombinaci vysoké rychlosti větru a mírné námrazy. U podpěrných bodů se zvětšení jejich plochy námrazou, která je vystavena větru, neuvažuje.
Dynamický tlak větru pro kombinaci s námrazou je dán vztahem:

$$q_{hI} = \psi_W \cdot q_h \qquad [Pa;\ -,\ Pa] \qquad [12]$$

q_h dynamický tlak větru
ψ_W součinitel kombinace pro zatížení větrem $\psi_W = 0{,}25$.

Průměr omrzlého vodiče D* se vypočte ze vztahu:

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4 \cdot I_d}{g \cdot \pi \cdot \rho_I}} \qquad [m;\ m,\ N/m,\ m/s^2,\ -,kg/m^3],\ [12]$$



Obr. 20: Námraza na vodiči

* Platí i v případě, kdy tvar námrazy je nepravidelný.

d průměr vodiče,
I_d návrhová zatížení námrazou na jednotku délky vodiče,
g gravitační zrychlení g = 9,81 m/s^2,
ρ_I hustota námrazy (ρ_I = 500 kg/m^3).

Síla větru na omrzlý vodič v jednom rozpětí pak bude:

$$Q_{WCI} = q_{hI} \cdot G_q \cdot G_c \cdot C_c \cdot D \cdot L \cdot \sin^2 \beta \qquad \text{[N; Pa, -, -, -, m, m,-]} \qquad [12]$$

Opět platí, že na každý podpěrný bod, ohraničující rozpětí, působí polovina této síly. Směr síly větru je vodorovný a kolmý na rozpětí.

1.2.4 Teplota

Teplota -5 °C je stanovena jako referenční teplota. V projektu se pro každý vodič v každém kotevním úseku uvádí vodorovná složka tahu nebo mechanického napětí vodiče při této teplotě vodiče bez dalšího zatížení např. větrem nebo námrazou.

V návrhových situacích pro mezní stavy se uvažují tyto teploty:

1. Minimální teploty *bez dalších* klimatických zatížení:

- Mezní stav použitelnosti -30 °C.
- Mezní stav únosnosti
  - úroveň spolehlivosti 0 a 1 -30 °C,
  - úroveň spolehlivosti 2 -35 °C,
  - úroveň spolehlivosti 3 -40 °C.

2. Teploty v kombinaci *s dalšími* klimatickými zatíženími:

- při zatížení větrem, námrazou a jejich kombinací se uvažuje teplota -5 °C.

1.2.5 Další vlivy

1. Další zvláštní síly

Patří mezi ně síly vyvolané lavinami, sesuvy sněhu nebo seismické otřesy půdy. Tyto síly se běžně neuvažují.

2. Atmosférická přepětí

Venkovní vedení je nutno chránit před přímými i nepřímými účinky blesků. Volba stupně ochrany závisí na intenzitě bouřkové činnosti v oblasti, kterou vedení prochází, a na požadované přípustné poruchovosti vedení. Ochrana vedení se provádí před:

- Přímým zásahem blesku - zemnicím lanem.
- Zpětným přeskokem (přeskok ze stožáru na vodič fáze) - dobrým uzemněním stožárů.
- Indukovaným přepětím (úder blesku v blízkosti vedení) - dostatečnou izolací a svodiči přepětí.

3. **Vlivy okolí na kabelová vedení**

Vlivy prostředí působící na kabelová vedení jsou různorodé. **Pro kabelová vedení uložená ve venkovním prostředí je nutné počítat s přímým slunečním zářením, které může způsobit nadměrné oteplení kabelů. Kabely lze chránit kryty, clonami, speciálními barevnými nátěry nebo materiály odolnými proti ultrafialovému záření.**

Dále se kabelová vedení mohou nacházet v prostředích mokrých, vlhkých, prašných a výbušných apod. Speciálním případem je vedení kabelové trasy pod vodou. Kabely nesmějí být volně ve vodě ani nesmějí ležet na dně. Musí být uloženy v rýze v hloubce aspoň 1 m (pod splavnými vodními cestami aspoň 2 m) pod normálním dnem a musí se zasypat oblázky, ve zvláštních případech se musí uložit do trub nebo tvárnic.

Kabelová vedení se do prostředí s extrémní korozní agresivitou a do půd obsahující soli, kyseliny a hnijící látky ukládají jen výjimečně. V takových případech se doporučuje uložit kabely do tunelů, rour nebo kanálů a žlabů a tyto zakrýt stříškami z chemicky odolného materiálu. Kabely mají být přednostně s měděnými jádry, pokud na měď negativně nepůsobí přítomné agresivní látky.

Další možné uložení kabelových vedení je v prostředí s biologickými škůdci. V tomto případě se doporučuje použít kabely s hladkými povrchy a uložit je tak, aby je bylo možno pravidelně kontrolovat, případně opatřovat potřebnými nátěry nebo nástřiky.

Všechny tyto faktory je nutné při návrhu kabelové trasy vzít v úvahu a přiměřeně tomu zvolit vhodný druh kabelu a případně snížit dovolené zatížení kabelu přiřazeným přepočítávacím koeficientem.