

## Rozvodná zařízení

**Garant předmětu:**  
Ing. Jaroslava Orságová

**Autor textu:**  
Ing. Jaroslava Orságová



## Obsah

<b>1</b>	<b>PŘENOSOVÁ A ROZVODNÁ SOUSTAVA.....</b>	<b>7</b>
1.1	NAPĚŤOVÉ ÚROVNĚ.....	7
1.1.1	<i>Střídavá napětí.....</i>	7
1.1.2	<i>Stejnoseměrná napětí.....</i>	7
1.1.3	<i>Použití napěťových soustav.....</i>	8
1.2	PRINCIPIÁLNÍ ŘEŠENÍ SÍTÍ Z HLEDISKA USPOŘÁDÁNÍ.....	8
1.3	ŘEŠENÍ SOUSTAV RŮZNÝCH NAPĚTÍ Z HLEDISKA SPOJENÍ UZLŮ VINUTÍ TRANSFORMÁTORŮ.....	9
1.3.1	<i>Sítě izolované.....</i>	9
1.3.2	<i>Sítě neúčinně uzemněné.....</i>	10
1.3.3	<i>Sítě účinně uzemněné.....</i>	11
<b>2</b>	<b>ROZVODNÁ ZAŘÍZENÍ ELEKTRICKÝCH STANIC.....</b>	<b>12</b>
2.1	DRUHY ELEKTRICKÝCH STANIC.....	12
2.2	ZAŘÍZENÍ ELEKTRICKÝCH STANIC.....	13
2.3	STŘÍDAVÉ ELEKTRICKÉ ROZVODNÉ ZAŘÍZENÍ.....	13
2.3.1	<i>Schémata rozvodných zařízení.....</i>	15
2.3.2	<i>Připojnicové systémy.....</i>	16
2.3.3	<i>Odbočky.....</i>	23
2.3.4	<i>Provozní manipulace v rozvodně.....</i>	23
2.4	KONSTRUKCE A PROVEDENÍ ROZVODNÝCH ZAŘÍZENÍ NN.....	27
2.4.1	<i>Provedení rozvodných zařízení nn.....</i>	27
2.4.2	<i>Provedení rozvodných zařízení vn.....</i>	30
2.4.3	<i>Provedení rozvodných zařízení vvn.....</i>	33
<b>3</b>	<b>VÝPOČTOVÉ ZATÍŽENÍ.....</b>	<b>39</b>
3.1	SOUČINITEL NÁROČNOSTI.....	39
3.2	VÝPOČTOVÉ ZATÍŽENÍ PRO VÝROBNÍ PROVOZ, OBJEKT NEBO ZÁVOD JAKO CELEK.....	40
3.3	VÝPOČTOVÉ ZATÍŽENÍ PRO JEDNU SKUPINU SPOTŘEBIČŮ.....	40
3.4	VÝPOČTOVÉ ZATÍŽENÍ NĚKOLIKA SKUPIN SPOTŘEBIČŮ.....	41
3.5	VÝPOČTOVÉ ZATÍŽENÍ PRO JEDEN SPOTŘEBIČ.....	41
3.6	VÝPOČTOVÝ PROUD.....	42
3.7	INSTALOVANÝ VÝKON TRANSFORMÁTORŮ ZÁVODNÍ TRANSFORMOVNY.....	42
<b>4</b>	<b>SILOVÉ KABELY.....</b>	<b>46</b>
4.1	MATERIÁL A KONSTRUKCE JADER SILOVÝCH KABELŮ.....	46
4.1.1	<i>Měď.....</i>	46
4.1.2	<i>Hliník.....</i>	46
4.1.3	<i>Konstrukce jader.....</i>	47
4.2	ZÁKLADNÍ TYPY SILOVÝCH KABELŮ NN A VN.....	48
4.2.1	<i>Klasické kabely - s papírovou izolací.....</i>	48
4.2.2	<i>Celoplastové kabely - s izolací z PVC.....</i>	49
4.2.3	<i>Kabely s izolací ze zesíťovaného polyetylénu.....</i>	49
4.2.4	<i>Kabely s izolací z kaučukového vulkanizátu.....</i>	51
4.2.5	<i>Kabely vvn.....</i>	52
4.3	ZNAČENÍ SILOVÝCH KABELŮ A VODIČŮ.....	53
<b>5</b>	<b>VENKOVNÍ VEDENÍ.....</b>	<b>55</b>

5.1	VODIČE PRO VENKOVNÍ VEDENÍ .....	55
5.1.1	<i>Materiál a konstrukce vodičů</i> .....	55
5.1.2	<i>Kombinovaná lana</i> .....	56
5.1.3	<i>Izolované vodiče pro venkovní vedení</i> .....	58
5.2	KLIMATICKÉ PODMÍNKY A JEJICH VLIV NA VÝPOČET ZAVĚŠENÉHO VODIČE .....	58
5.2.1	<i>Teplota</i> .....	59
5.2.2	<i>Námraza</i> .....	59
5.2.3	<i>Vítr</i> .....	61
5.3	MECHANIKA VENKOVNÍHO VEDENÍ .....	65
5.3.1	<i>Křivka zavěšeného vodiče</i> .....	65
5.3.2	<i>Průhybová křivka jako řetězovka</i> .....	65
5.3.3	<i>Průhybová křivka jako parabola</i> .....	67
5.3.4	<i>Mechanický výpočet souměrně zavěšeného vodiče</i> .....	67
5.3.5	<i>Mechanický výpočet nesouměrně zavěšeného vodiče</i> .....	71
5.4	STAVOVÁ ROVNICE ZAVĚŠENÉHO VODIČE.....	75
5.4.1	<i>Odvození stavové rovnice</i> .....	75
5.4.2	<i>Kritické rozpětí</i> .....	76
5.4.3	<i>Kritická teplota</i> .....	76
5.4.4	<i>Řešení stavové rovnice</i> .....	77
<b>6</b>	<b>DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ.....</b>	<b>79</b>
6.1	ZÁSADY DIMENZOVÁNÍ .....	79
6.2	DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ DLE DOVOLENÉ PROVOZNÍ TEPLoty [ 9].....	79
6.2.1	<i>Charakteristika vodiče</i> .....	79
6.2.2	<i>Charakteristiky provozu</i> .....	79
6.2.3	<i>Charakteristika prostředí</i> .....	80
6.2.4	<i>Charakteristika uložení</i> .....	82
6.3	DIMENZOVÁNÍ PRŮŘEZU VODIČE Z HLEDISKA HOSPODÁRNOSTI [ 17].....	84
6.4	DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ PODLE MECHANICKÉ PEVNOSTI .....	84
6.5	DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ PODLE ÚBYTKU NAPĚTÍ .....	84
6.6	DIMENZOVÁNÍ PODLE ÚČINKŮ ZKRATOVÝCH PROUDŮ .....	85
6.6.1	<i>Dimenzování podle tepelných účinků zkratových proudů [ 14] [ 15]</i> .....	85
6.6.2	<i>Dimenzování podle dynamických účinků zkratových proudů [ 14]</i> .....	88
6.6.3	<i>Určení hodnot zkratových proudů</i> .....	95
6.7	PŘÍKLADY DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ V SILNOPROUDÉM ROZVODU.....	97
6.7.1	<i>Tabulky jmenovitých zatížení vodičů</i> .....	101

## Seznam obrázků

<b>OBRÁZEK 1.1:</b>	DRUHY ROZVODŮ .....	9
<b>OBRÁZEK 1.2:</b>	IZOLOVANÁ SÍŤ.....	10
<b>OBRÁZEK 1.3:</b>	ROZLOŽENÍ PROUDŮ V IZOLOVANÉ SÍTI PŘI ZEMNÍM SPOJENÍ .....	10
<b>OBRÁZEK 1.4:</b>	KOMPENZOVANÁ SÍŤ .....	11
<b>OBRÁZEK 1.5:</b>	ROZLOŽENÍ PROUDŮ V KOMPENZOVANÉ SÍTI PŘI ZEMNÍM SPOJENÍ.....	11
<b>OBRÁZEK 1.6:</b>	SÍŤ UZEMNĚNÁ PŘES REZISTANCI .....	11
<b>OBRÁZEK 1.7:</b>	ÚČINNĚ UZEMNĚNÁ SÍŤ .....	12
<b>OBRÁZEK 2.1:</b>	ZÁKLADNÍ SCHÉMATICKÉ ZNAČKY.....	16
<b>OBRÁZEK 2.2:</b>	SCHÉMATA ROZVODNÝCH ZAŘÍZENÍ S JEDNODUCHÝM SYSTÉMEM PŘÍPOJNIC.....	17
<b>OBRÁZEK 2.3:</b>	SCHÉMA SE ZJEDNODUŠENÝM ZNAČENÍM .....	18
<b>OBRÁZEK 2.4:</b>	DVOJITÝ SYSTÉM PŘÍPOJNIC - A) S JEDNÍM ZDROJEM, B) SE DVĚMA ZDROJI.....	18
<b>OBRÁZEK 2.5:</b>	SPÍNÁNÍ PŘÍPOJNIC .....	19
<b>OBRÁZEK 2.6:</b>	A) TROJITÝ SYSTÉM PŘÍPOJNIC A B) KOMBINOVANÝ PŘÍČNÝ SPÍNAČ TROJITÝCH PŘÍPOJNIC ....	20
<b>OBRÁZEK 2.7:</b>	A) SYSTÉM S POMOCNOU PŘÍPOJNICÍ A B) KOMBINACE SPÍNAČE POMOCNÉ PŘÍPOJNICE S PŘÍČNÝM SPÍNAČEM.....	20
<b>OBRÁZEK 2.8:</b>	BY – PASS.....	21
<b>OBRÁZEK 2.9:</b>	A) OKRUŽNÍ PŘÍPOJNICE A B) OKRUŽNÍ PŘÍPOJNICE SE ZÁLOŽNÍM VYPÍNAČEM.....	21
<b>OBRÁZEK 2.10:</b>	H – SCHÉMA ROZVODNY .....	22
<b>OBRÁZEK 2.12:</b>	A) ROZVODNA SE TŘEMI VYPÍNAČI NA DVĚ ODBOČKY A B) ROZVODNA DVĚMA VYPÍNAČI NA ODBOČKU .....	22
<b>OBRÁZEK 2.13:</b>	SCHÉMA ROZVODNY 22 kV S DVOJITÝM SYSTÉMEM PŘÍPOJNIC A POMOCNOU PŘÍPOJNICÍ ...	24
<b>OBRÁZEK 2.14:</b>	ROZVODNA 110 kV V H ZAPOJENÍ .....	26
<b>OBRÁZEK 2.15:</b>	PŘEHLEDNÉ ROZDĚLENÍ ROZVÁDĚČŮ NN PODLE ZÁKLADNÍCH POŽADAVKŮ .....	28
<b>OBRÁZEK 2.16:</b>	RŮZNÁ PROVEDENÍ SKŘÍŇOVÝCH ROZVÁDĚČŮ NN .....	28
<b>OBRÁZEK 2.17:</b>	VNITŘNÍ USPOŘÁDÁNÍ SKŘÍŇOVÉHO ROZVÁDĚČE NN.....	29
<b>OBRÁZEK 2.18:</b>	PŘÍPOJNICOVÝ ROZVOD .....	30
<b>OBRÁZEK 2.19:</b>	ROZDĚLENÍ PROSTORU SKŘÍŇOVÉHO ROZVÁDĚČE VN.....	31
<b>OBRÁZEK 2.20:</b>	DUPLEXNÍ USPOŘÁDÁNÍ ROZVÁDĚČE – ROZVÁDĚČ SE DVĚMA SYSTÉMY PŘÍPOJNIC – USPOŘÁDÁNÍ SE DVĚMA VYPÍNAČI .....	32
<b>OBRÁZEK 2.21:</b>	RŮZNÁ PROVEDENÍ ODBOČEK SKŘÍŇOVÝCH ROZVÁDĚČŮ .....	32
<b>OBRÁZEK 2.22:</b>	PLYNEM IZOLOVANÝ ROZVÁDĚČ VN (SIEMENS) .....	33
<b>OBRÁZEK 2.23:</b>	VENKOVNÍ ROZVODNA 220 kV V KLASICKÉM USPOŘÁDÁNÍ .....	33
<b>OBRÁZEK 2.24:</b>	VENKOVNÍ ROZVODNA 110 kV V TANDEMovém USPOŘÁDÁNÍ.....	34
<b>OBRÁZEK 2.25:</b>	VENKOVNÍ ROZVODNA 110 kV V KÝLOVÉM USPOŘÁDÁNÍ.....	34
<b>OBRÁZEK 2.26:</b>	VENKOVNÍ ROZVODNA 400 kV S DIAGONÁLNÍM USPOŘÁDÁNÍM PŘÍPOJNICOVÝCH ODPOJOVAČŮ .....	34
<b>OBRÁZEK 2.27:</b>	VENKOVNÍ ROZVODNA 220 kV S DIAGONÁLNÍM USPOŘÁDÁNÍM PŘÍPOJNICOVÝCH ODPOJOVAČŮ .....	35
<b>OBRÁZEK 2.28:</b>	VENKOVNÍ ROZVODNA 110 kV S USPOŘÁDÁNÍM PODLE H- SCHÉMATU .....	36
<b>OBRÁZEK 2.29:</b>	SPÍNAČÍ JEDNOTKA PASS PRO HYBRIDNÍ PROVEDENÍ ROZVODEN VVN. ....	36
<b>OBRÁZEK 2.30:</b>	HYBRIDNÍ PROVEDENÍ ROZVODNY S DVOJITÝM SYSTÉMEM PŘÍPOJNIC PRO NAPĚTÍ 400 kV. ....	37
<b>OBRÁZEK 2.31:</b>	ŘEZ VÝVODOVÝM POLEM ZAPOUZDŘENÉ ROZVODNY S DVOJITÝM SYSTÉMEM PŘÍPOJNIC ...	37
<b>OBRÁZEK 2.32:</b>	SYSTÉM „COMPASS“ (ABB) PRO VENKOVNÍ ROZVODNY 110 kV .....	38
<b>OBRÁZEK 2.33:</b>	PRACOVNÍ POLOHY SPÍNAČÍ JEDNOTKY „COMPASS“.....	38
<b>OBRÁZEK 2.34:</b>	VÝSUVNÝ KOMPAKTNÍ VYPÍNAČ (LTB COMPACT – ABB) PRO 110 kV .....	39
<b>OBRÁZEK 2.35:</b>	KOMPAKTNÍ VYPÍNAČÍ MODUL PRO 400 kV (HPL COMPACT – ABB) .....	39
<b>OBRÁZEK 3.1:</b>	PRŮBĚH ZATÍŽENÍ ( $P_p$ ) BĚHEM JEDNÉ PRACOVNÍ SMĚNY .....	43
<b>OBRÁZEK 3.2:</b>	USPOŘÁDÁNÍ ROZVODNÉ SOUSTAVY .....	44
<b>OBRÁZEK 3.3:</b>	VARIANTY POČTU TRANSFORMÁTORŮ A JEJICH ZAPOJENÍ V ZÁVODNÍ TRAFOSTANICI .....	45
<b>OBRÁZEK 4.1:</b>	CYKY .....	49

<b>OBRÁZEK 4.2:</b>	CYKCY .....	49
<b>OBRÁZEK 4.3:</b>	NYCWY .....	49
<b>OBRÁZEK 4.4:</b>	CXKCE.....	50
<b>OBRÁZEK 4.5:</b>	CVXEKVCE.....	50
<b>OBRÁZEK 4.6:</b>	AVXEKVOY .....	51
<b>OBRÁZEK 4.7:</b>	CGSU.....	51
<b>OBRÁZEK 4.8:</b>	CBEH .....	51
<b>OBRÁZEK 4.9:</b>	RŮZNÁ PROVEDENÍ KABELŮ VVN .....	52
<b>OBRÁZEK 4.10:</b>	KABEL 110 kV 2XS(FL)2Y .....	52
<b>OBRÁZEK 5.1:</b>	KONSTRUKCE KOMBINOVANÉHO LANA .....	56
<b>OBRÁZEK 5.2:</b>	NÁMRAZA NA VODIČI .....	60
<b>OBRÁZEK 5.3:</b>	ZATÍŽENÍ VODIČE VĚTREM.....	62
<b>OBRÁZEK 5.4:</b>	ZATÍŽENÍ VĚTREM PRO VODIČE VE SVAZKU .....	63
<b>OBRÁZEK 5.5:</b>	PRŮHYBOVÁ KŘIVKA JAKO ŘETĚZOVKA .....	66
<b>OBRÁZEK 5.6:</b>	PRŮHYBOVÁ KŘIVKA JAKO PARABOLA .....	67
<b>OBRÁZEK 5.7:</b>	SOUMĚRNÝ ZÁVĚS .....	68
<b>OBRÁZEK 5.8:</b>	NESOUMĚRNÝ ZÁVĚS .....	71
<b>OBRÁZEK 5.9:</b>	PRINCIP ŘEŠENÍ STAVOVÉ ROVNICE ABAKEM .....	78
<b>OBRÁZEK 6.1:</b>	RŮZNÉ PRŮBĚHY ZATÍŽENÍ VODIČŮ .....	80
<b>OBRÁZEK 6.2:</b>	SOUČINITEL $k_{1s}$ PRO VÝPOČET ÚČINNÉ VZDÁLENOSTI VODIČE (OBR.1 v [ 15]).....	89
<b>OBRÁZEK 6.3:</b>	VZTAŽNÁ OSA OHYBOVÉHO NAMÁHÁNÍ PRO RŮZNÁ USPOŘÁDÁNÍ JEDNODUCHÝCH A VÍCENÁSOBNÝCH VODIČŮ.....	90
<b>OBRÁZEK 6.4:</b>	UKÁZKA KATALOGOVÉHO LISTU STANIČNÍ PODPĚRKY S JEJÍMI PARAMETRY .....	92
<b>OBRÁZEK 6.5:</b>	SOUČINITEL C PRO VÝZTUŽNÉ VLOŽKY .....	94
<b>OBRÁZEK 6.6:</b>	SOUČINITELÉ $V_f$ , $V_\sigma$ A $V_{\sigma s}$ PODLE VELIKOSTI NÁRAZOVÉHO SOUČINITEL (OBR.4 v [ 15]) .....	94
<b>OBRÁZEK 6.7:</b>	SOUČINITEL $M$ , TEPELNÝ ÚČINEK STEJNOSMĚRNÉ SLOŽKY ZKRATOVÉHO PROUDU.....	96
<b>OBRÁZEK 6.8:</b>	SOUČINITEL $N$ , TEPELNÝ ÚČINEK STŘÍDAVÉ SLOŽKY ZKRATOVÉHO PROUDU .....	96

## Seznam tabulek

TABULKA 1.1:	NAPĚTOVÉ ÚROVNĚ V ES .....	8
TABULKA 2.1:	NEJMENŠÍ VZDUŠNÉ VZDÁLENOSTI ŽIVÝCH ČÁSTÍ V ROZVODNÝCH ZAŘÍZENÍCH S NAPĚTÍM NAD 1kV DO 52kV (TAB.2 v [ 13]) .....	14
TABULKA 2.2:	ŘADA JMENOVITÝCH PROUDŮ PŘÍPOJNIC A ODBOČEK STŘÍDAVÝCH ROZVODNÝCH ZAŘÍZENÍ.....	14
TABULKA 2.3:	NORMALIZOVANÁ ŘADA ZKRATOVÝCH ODOLNOSTÍ ([ 15]) .....	14
TABULKA 2.4:	BLOKOVACÍ PODMÍNKY PRO PROVOZNÍ MANIPULACE V ROZVODNĚ PODLE OBRÁZEK 2.12 .....	25
TABULKA 2.5:	BLOKOVACÍ PODMÍNKY PRO PROVOZNÍ MANIPULACE V ROZVODNĚ PODLE OBRÁZEK 2.13 .....	26
TABULKA 2.6:	DĚLENÍ VNITŘNÍCH PROSTOR ROZVÁDĚČŮ NN .....	27
TABULKA 3.1:	PRŮBĚH PŘÍKONU JEDNOTLIVÝCH SPOTŘEBIČŮ A UKAZATELÉ PROVOZU ( $K_S$ A $K_Z$ ) .....	43
TABULKA 3.2:	ŠTÍTKOVÉ HODNOTY TRANSFORMÁTORŮ V NAVRHOVANÝCH VARIANTÁCH..	45
TABULKA 4.1:	VLASTNOSTI ELEKTROVODNÉ MĚDI.....	46
TABULKA 4.2:	VLASTNOSTI HLINÍKU .....	46
TABULKA 4.3:	ZNAČENÍ KABELŮ PODLE ŽIL OBSAŽENÝCH V PLÁŠTI.....	54
TABULKA 5.1:	INFORMATIVNÍ HODNOTY PARAMETRŮ LAN ALFe.....	57
TABULKA 5.2:	KONSTRUKCE O VLASTNOSTI ALFe LAN.....	58
TABULKA 5.3:	VELIKOST NÁMRAZKU PRO VÝPOČET MECHANICKÉHO NAPĚTÍ VODIČŮ ([ 7])	60
TABULKA 5.4:	HMOTNOST ZVĚTŠENÉHO NÁMRAZKU ([ 7]).....	61
TABULKA 5.5:	HODNOTY PRO VÝPOČET ZATÍŽENÍ VĚTREM ([ 7]).....	62
TABULKA 6.1:	INFORMATIVNÍ HODNOTY MĚRNÉHO TEPELNÉHO ODPORU PŮDY RŮZNÉHO SLOŽENÍ A VLHKOSTI (TAB. 52-NF8 z [ 9]) .....	81
TABULKA 6.2:	PŘEPOČÍTVACÍ SOUČINITELÉ PRO OKOLNÍ TEPLoty VZDUCHU ODLIŠNÉ OD 90°C (TAB. 52-NF21 z [ 9]).....	81
TABULKA 6.3:	PŘEPOČÍTVACÍ SOUČINITELÉ PRO OKOLNÍ TEPLoty VZDUCHU ODLIŠNÉ OD 30 °C (TAB. 52-NF20 z [ 9]) .....	81
TABULKA 6.4:	PŘEPOČÍTVACÍ SOUČINITELÉ PRO OKOLNÍ TEPLoty ZEMĚ ODLIŠNÉ OD 20°C (TAB. 52-NF22 z [ 9]).....	82
TABULKA 6.5:	PŘEPOČÍTVACÍ SOUČINITELÉ PROUDOVÉ ZATÍŽITELNOSTI PRO PŮDU S RŮZNÝM MĚRNÝM TEPELNÝM ODPorem (TAB. 52-NF8 z [ 9]).....	82
TABULKA 6.6:	PŘEPOČÍTVACÍ SOUČINITELÉ TRVALÉ PROUDOVÉ ZATÍŽITELNOSTI PRO KABEL ULOŽENÝ JEDNOTLIVĚ VE SVISLÉ POLOZE (TAB. 52-NF34 z [ 9]) .....	82
TABULKA 6.7:	PŘEPOČÍTVACÍ SOUČINITELÉ PROUDOVÉ ZATÍŽITELNOSTI PŘI SESKUPENÍ NĚKOLIKA VÍCEŽILOVÝCH KABELŮ V JEDNÉ VRSTVĚ NA VZDUCHU (TAB. 52-NF29 z [ 9])	83
TABULKA 6.8:	MATERIÁLOVÉ KONSTANTY PRO VÝPOČET OTEPLENÍ VODIČE PŘI ZKRATU ....	87
TABULKA 6.9:	DOVOLENÉ PROVOZNÍ A MAXIMÁLNÍ TEPLoty VODIČŮ PRO RŮZNÉ DRUHY IZOLACE (PODLE TAB.43-NA1 z [ 11]).....	88
TABULKA 6.10:	PRŮŘEZOVÉ MODULY SLOŽENÝCH OBDĚLNÍKOVÝCH VODIČŮ .....	90
TABULKA 6.11:	ÚČINNÁ VZDÁLENOST $A_S$ MEZI DÍLČIMI VODIČI PRO OBDĚLNÍKOVÉ PRŮŘEZY (TAB.I v [ 14]) .....	91
TABULKA 6.12:	SOUČINITELÉ $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ PRO RŮZNÁ USPOŘADÁNÍ PODPĚR (TAB.III v v [ 14]).	91
TABULKA 6.13:	SOUČINITEL PLASTICITY PRO RŮZNÉ TVARY VODIČŮ (TAB. IV. v v [ 14])..	92
TABULKA 6.14:	HMOTNOST AL A CU VODIČŮ .....	93
TABULKA 6.15:	MAXIMÁLNÍ MOŽNÉ HODNOTY ( $V_\sigma \cdot V_R$ ), ( $V_{\sigma S} \cdot V_R$ ), ( $V_F \cdot V_R$ ) (TAB.II v v [ 14]) .....	95
TABULKA 6.16:	SOUČINITEL $I_{KE}$ (TAB. 8A v [ 16]).....	96
TABULKA 6.17:	SOUČINITEL $\kappa$ (TAB. 8 v [ 16]).....	97

<b>TABULKA 6.18:</b>	JMENOVIÝ PROUD SILOVÝCH KABELŮ 6-AYKCY, 6-AYKCYDY (TAB. 52-NK30 Z [ 9]) .....	101
<b>TABULKA 6.19:</b>	JMENOVIÝ PROUD SILOVÝCH KABELŮ 10-AYKCY, 10-CYKCY (TAB. 52-NK33 Z [ 9]) .....	102
<b>TABULKA 6.20:</b>	JMENOVIÝ PROUD $I_{NV}$ HOLÝCH HLINÍKOVÝCH PLOCHÝCH VODIČŮ .....	102
<b>TABULKA 6.21:</b>	JMENOVIÝ PROUD $I_{NV}$ HOLÝCH MĚDĚNÝCH PLOCHÝCH VODIČŮ .....	103



# 1 Přenosová a rozvodná soustava

Elektrizační soustava má tři základní prvky

*výrobu elektrické energie  
přenos a rozvod elektrické energie  
spotřebu elektrické energie*

Základním úkolem přenosových sítí je propojení uzlů, do kterých je elektrická energie přiváděna z výrobních jednotek - elektráren a uzlů, ze kterých je přenášena do rozvodných soustav tak, aby rozložení výkonu bylo v celé oblasti optimální z hlediska nákladů na výrobu i přenos. Tato síť je vzhledem ke svému dominantnímu postavení nazývána **nadřazená soustava**.

Rozvodné sítě umožňující přivedení elektrické energie spotřebitelům, se nazývají také **distribuční**. Do těchto sítí jsou připojovány pouze výrobní zdroje malých výkonů, převážně místního charakteru. Malé vodní elektrárny, průmyslové elektrárny, případně starší vodní a tepelné elektrárny. Základním zdrojem elektrické energie pro distribuční sítě je nadřazená soustava.

## 1.1 Napěťové úrovně

### 1.1.1 Střídavá napětí

Normalizovaná stupnice uvádí **napětí sdružená**. Normalizovaná řada střídavých třífázových napětí v kilovoltech je v Tabulka 1.1. Volba přenosového a rozvodného napětí je dána technicko-ekonomickou rozvahou, přičemž rozhodující je vzdálenost a velikost přenášeného výkonu. Při začínající elektrizaci se volilo napětí přesně dle technicko-ekonomického výpočtu a vyrábělo se k němu i příslušné zařízení. Takto vznikala v jednotlivých státech celá řada různých napětí. Hromadná výroba potřebných zařízení a stoupající mezinárodní spolupráce si však vynucovala jednotnou řadu napětí. Normalizované řady napětí se však v různých státech vzhledem k původní volbě stále částečně liší, například rozdíl mezi naší a francouzskou řadou jsou:

400 - 380 kV  
220 - 225 kV  
110 - 123 kV  
22 - 20 kV

Rozdíly jsou malé a proto je možné používat v různých státech stejná zařízení, vyráběná vždy s určitou tolerancí. Každá napěťová úroveň má udanou **jmenovitou hodnotu** a **provozovací hodnotu**, tj. nejvyšší napětí, při kterém lze ještě síť trvale provozovat dle [ 13]viz Tabulka 1.1.

### 1.1.2 Stejnoseměrná napětí

- a) Napájení malých spotřebičů: ovládání, signalizace, automatiky, nouzové osvětlení, malé motory apod.  
12 24 48 60 110 220 440 600 [V]
- b) Napájení dopravních prostředků: tramvaj, trolejbus, metro, vlak atd  
(600) 750 1500 3000 [V]

Stejnoseměrný přenos velkých výkonů při 500 kV (v České republice není použit)

**Tabulka 1.1:** Napěťové úrovně v ES

Nízké napětí (nn) [ kV ]	jmenovité	0,4/0,23			0,50	0,69
	max. provozovací	0,42/0,241				0,73
Vysoké napětí (vn) [ kV ]	jmenovité	3	6	10	22	35
	max. provozovací	3,6	7,2	12	25	37
Velmi vysoké napětí (vvn) [ kV ]	jmenovité	110		220	400	-
	max. provozovací	123		245	420	-
Zvlášť vysoké napětí (zvn) [ kV ]	jmenovité	750				
	max. provozovací	787 (předp. se zvýšení na 800)				

### 1.1.3 Použití napěťových soustav

Nadřazená soustava je realizována na úrovni 400 kV a částečně 220 kV. Posledně uvedené napětí bylo v padesátých letech nejvyšším napětím v naší republice, proto tvořilo nadřazenou soustavu. Od vybudování 400 kV sítě v 60-tých letech se soustava 220 kV dále nerozvíjí, používá se jako doplněk 400 kV nadřazené soustavy.

Většina sítí 110 kV a sítě vn a nn jsou označovány jako distribuční a jsou spravovány rajónními energetikami.

## 1.2 Principiální řešení sítí z hlediska uspořádání

Sítě mohou být z hlediska uspořádání řešeny jedním ze dvou základních způsobů:

- jako **otevřený rozvod**, kde je elektrická energie ke spotřebiči dodána jednou cestou.

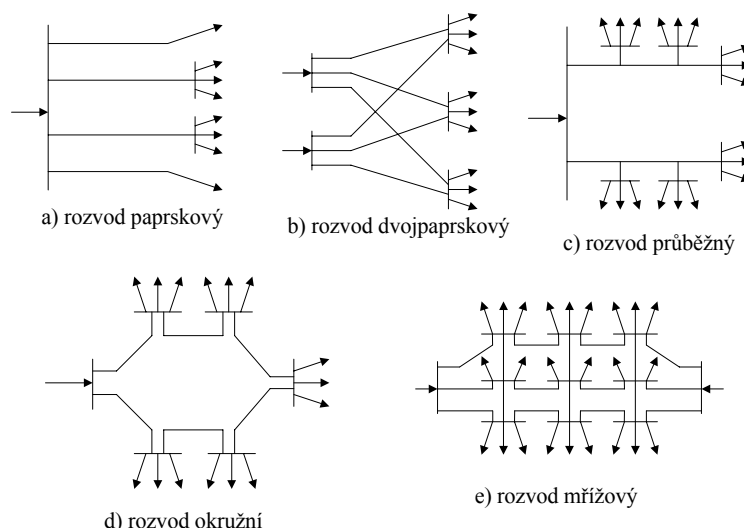
- jako **uzavřený rozvod**, kde napájení lze zajistit vždy ze dvou nebo více stran.

K prvnímu způsobu patří paprskový rozvod a průběžný rozvod, ke druhému způsobu patří okružní rozvod a mřížová síť. Výběr vhodného druhu rozvodu závisí na způsobu provozu řešené soustavy, jak z hlediska rozdělování výkonu, tak i z hlediska bezpečnosti a hospodárnosti. Na **Obrázek 1.1** jsou naznačeny uvedené druhy rozvodu elektrické energie.

**Nadřazená soustava 400 kV a 220 kV** je řešena okružním rozvodem do kterého pracují tuzemské zdroje velkých výkonů.

**Distribuční soustava 110 kV a vn** je provozována paprskově případně formou průběžného rozvodu, i když toto řešení umožňuje řadu propojení do dvojpaprskového nebo okružního rozvodu.

**Distribuční síť nn** jsou provozovány převážně paprskovým a průběžným rozvodem, husté městské sítě jsou provedeny jako mřížové



Obrázek 1.1: Druhy rozvodů

### 1.3 Řešení soustav různých napětí z hlediska spojení uzlů vinutí transformátorů

Způsob spojení uzlu vinutí transformátorů se zemí je též jedním z důležitých, technicko-ekonomických ukazatelů. Tyto uzly se někdy nazývají nulové body soustavy.

Způsob spojení uzlu má vliv na:

- velikost proudu při spojení jedné či více fází se zemí (výrazný vliv má na velikost jednopólového zkratového proudu)
- velikost napětí mezi fázovým vodičem a zemí.

Posuzování velikosti proudu vede k rozhodování o způsobu dimenzování a k chránění v soustavě. Velikost napětí mezi vodičem a zemí klade nárok na izolaci. Při souměrném chodu sítě neteče zemí proud. Napětí mezi fázemi je sdružené, mezi fází a uzlem je napětí fázové. Jinak je tomu při spojení jedné nebo více fází se zemí. Nás pro posouzení jednotlivých sítí, jak z dalšího vyplyne, zajímají pouze poměry v síti při spojení jedné fáze (bez jejího přerušení) se zemí. Z tohoto hlediska rozeznáváme dále uvedené druhy sítí.

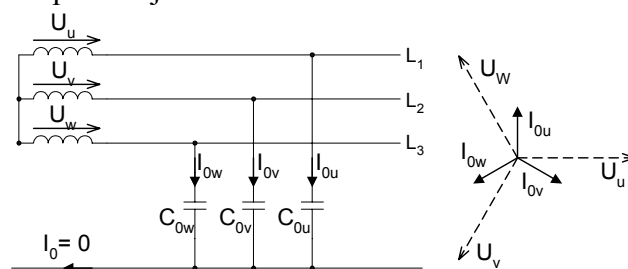
#### 1.3.1 Síť izolované

Uzel vinutí transformátoru není na uvažované straně spojen se zemí (**Obrázek 1.2**). Při spojení jedné fáze se zemí vzroste napětí uzlu vinutí transformátoru vůči zemi na napětí fázové (před spojením jedné fáze se zemí bylo nulové) napětí zdravých fází vzroste vůči zemi na napětí sdružené viz **Obrázek 1.3**.

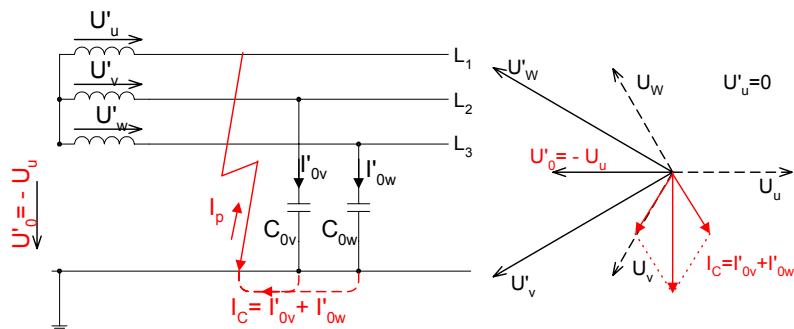
To, že i při poruchovém spojení jedné fáze se zemí lze síť dále provozovat je její velkou výhodou. Avšak vzhledem k tomu, že v tomto poruchovém stavu má napětí na zdravých fázích hodnotu sdruženou, musí být izolace této sítě dimenzována na sdružené napětí. Další nevýhodou provozu v tomto poruchovém chodu je, že místem spojení se zemí teče proud kapacitního charakteru, jehož velikost je dána kapacitami zdravých fází celé sítě vůči zemi a činnému odporu obvodu, kterým se proud uzavírá; ten pro zjednodušení řešení často zanedbáváme a pak uvažujeme proud čistě kapacitní. Pokud tento zemní proud nepřesahuje 10 A a spojení se zemí není přerušované, nevznikají většinou velké problémy.

Při vzniku zemního spojení (zvláště je-li přerušované) vznikají značná přepětí (na zdravých fázích) a tato přepětí mohou způsobit dvojité zemní spojení (což je vlastně dvoufázový zkrat) a vedení musí být odpojeno.

Jako izolované jsou tedy provedeny pouze sítě vn (od 6 do 35 kV včetně) malého rozsahu, kde kapacitní proud sítě nepřesahuje 20A.



Obrázek 1.2: Izolovaná síť



Obrázek 1.3: Rozložení proudů v izolované síti při zemním spojení

### 1.3.2 Síť neúčinně uzemněné

Sítě neúčinně uzemněné jsou takové v nichž nulové body transformátoru jsou uzemněny přes velkou impedanci.

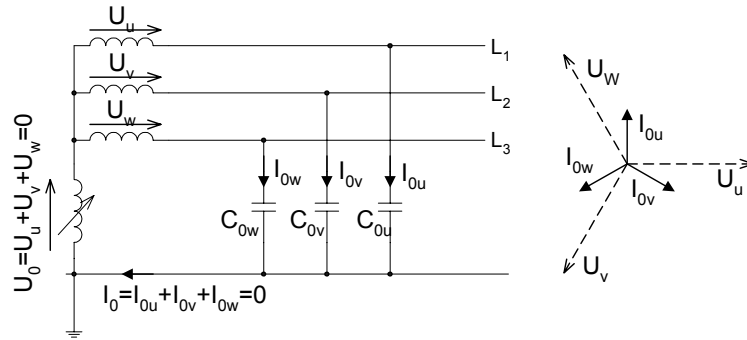
#### 1.3.2.1 Síť kompenzovaná (Obrázek 1.4)

Pro snížení zemního proudu se připojuje do nulového bodu transformátoru tzv. zhášecí tlumivka (Petersenova cívka). Vlivem fázového napětí mezi nulovým bodem transformátoru a zemí je tlumivka zdrojem proudu induktivního charakteru.

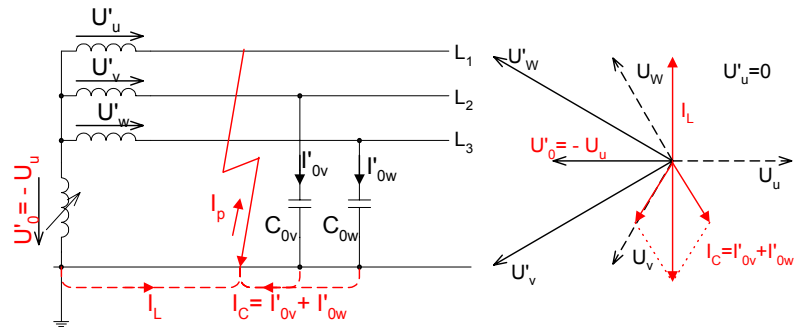
Opět, pro zjednodušení řešení, uvažujeme proud čistě induktivní a pokud je stejně veliký jako kapacitní proud jdoucí místem zemního spojení, nastává tzv. vykompenzování zemního proudu viz. Obrázek 1.5

Aby toto mohlo nastat, musí být zhášecí tlumivka regulovatelná, aby se její proud mohl měnit podle zemního proudu, který je v dané síti dán celkovou délkou galvanicky spojeného vedení sítě. Tato délka se mění buď vypínáním nebo zapínáním jednotlivých vedení anebo rozšiřováním sítě. Při uvažování činné složky proudu zemního spojení a obvodu tlumivky teče místem spojení tzv. zbytkový proud. Výše uvedené skutečnosti jsou uvažovány pro základní harmonickou proudů avšak, místem zemního spojení mohou téci i proudy vyšších harmonických.

Kompenzace kapacitní složky zemního proudu má ještě další ekonomický dosah a to díky nižším nákladům na uzemnění. Toto může být dimenzováno pouze na zbytkový proud a je tedy levnější, aniž by vzniklo nebezpečné dotykové napětí. V České republice provádíme kompenzování i kabelových sítí menšího rozsahu. Využití kompenzovaných sítí je opět dáno velikostí jejich kapacitního proudu: horní mezí je 100 A u venkovních vedení, 300 A u smíšených a 450 A u vedení kabelových. V zásadě se kompenzovaná síť při spojení jedné fáze se zemí chová jako síť izolovaná, ale kapacitní poruchový proud je díky kompenzaci velmi malý, což přináší také problematické zjišťování místa zemního spojení



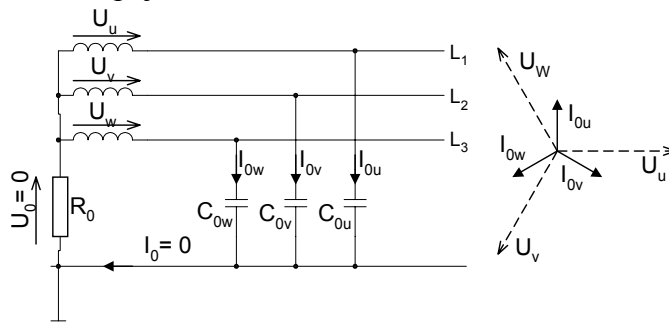
Obrázek 1.4: Kompenzovaná síť



Obrázek 1.5: Rozložení proudů v kompenzované síti při zemním spojení

### 1.3.2.2 Síť uzemněné přes rezistenci

Uzel transformátoru je spojen se zemí přes rezistor (Obrázek 1.6), který má stejně jako tlumivka v síti kompenzované, omezovat poruchový kapacitní proud při spojení jedné fáze se zemí. Používá se především u kabelových sítí velkého rozsahu, kde tyto proudy mohou dosahovat velkých hodnot. Výhodou je omezení přepětí, nevýhodou je však nutnost vypnutí vedení postiženého zemním spojením.

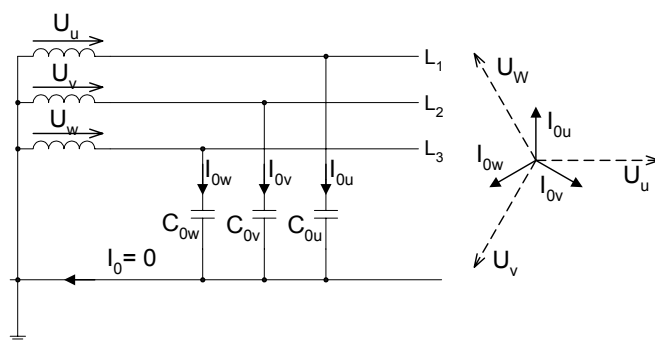


Obrázek 1.6: Síť uzemněná přes rezistanci

### 1.3.3 Síť účinně uzemněné

Tyto sítě mají všechny nulové body transformátorů spojeny přímo se zemí nebo přes malou impedanci (Obrázek 1.7). V ČR nulové body transformátorů uzemňujeme přímo. U některých transformátorů v sítích 110 kV máme výjimečně možnost odpojení nulových bodů transformátoru pro snížení velikosti jednofázových zkratových proudů. Napětí uzlů vinutí transformátorů (při přímém uzemnění) zůstává vůči zemi prakticky nulové a napětí zdravých fází zůstává vůči zemi na fázové hodnotě. Proto se izolace vedení těchto sítí dimenzují na jmenovitá napětí fázová, což je ekonomicky velmi výhodné. Avšak vedení této sítě při spojení jedné fáze se zemí musí být v krátkém čase odpojeno, protože zemní proud (v tomto případě nazývaný jednofázový zkratový proud) dosahuje obvykle značných hodnot.

V České republice provozujeme účinně uzemněné sítě vvn, tj. 110, 220, 400 kV a převážnou většinu nn sítí 400 V.



Obrázek 1.7: Účinně uzemněná síť

## 2 Rozvodná zařízení elektrických stanic

### 2.1 Druhy elektrických stanic

Elektrizační soustava sestává z výroby, přenosu a rozvodu a spotřebičů elektrické energie. Základním spojovacím prvkem mezi výrobkami a rozvodnou sítí a ve vlastní rozvodné síti mezi sítí a spotřebiči, jsou elektrické stanice, jejichž hlavním úkolem je transformovat napětí a rozdělovat elektrickou energii o různých napětích. Další funkcí elektrických stanic je provádění přeměn střídavého napětí na stejnosměrné a naopak.

Elektrické stanice je možno dělit z různých hledisek:

⇒ Podle účelu se dělí elektrické stanice na:

- **Transformovny**, které zajišťují jak rozdělování elektrické energie tak i transformaci na potřebné napětí.
- **Spínací stanice**, které zajišťují pouze rozdělování elektrické energie o stejném napětí.
- **Měnírny**, které zajišťují přeměnu střídavého napětí na stejnosměrné nebo naopak a rozdělují stejnosměrné napětí. Měnírna je možno rozdělit na dva základní typy:
  - Elektrické stanice (měnírny) přenosu; na některých úsecích je přenos realizován stejnosměrným napětím, slouží pro spojení soustav s různou frekvencí nebo s různým způsobem regulace frekvence.
  - Elektrické stanice (měírnny) spotřebního charakteru, které zajišťují stejnosměrné napětí pro trakci a některé průmyslové rozvody.

⇒ Podle umístění elektrické stanice ve schématu elektrizační soustavy je možno rozlišit:

- **Elektrické stanice výroby** - jsou to transformovny, které převádějí vyrobenou energii do přenosové sítě vvn a transformují napětí alternátorů na napětí přenosové sítě. Směr toku elektrické energie je vždy stejný a to od elektrárny do sítě. Počet odboček je dán počtem výrobních bloků a počtem vývodových vedení.
- **Elektrické stanice v přenosové soustavě**, které můžeme ještě rozlišit na dva typy
  - uzlové elektrické stanice - jsou spínací stanice, které tvoří společný bod mezi větvemi okružní přenosové sítě a rozdělují elektrickou energii o stejném napětí.
  - transformační stanice, ve kterých je transformována elektrická energie soustav o různém napětí.

Často bývají výše uvedené dva typy spojeny v jednu elektrickou stanici. Jsou to vždy elektrické stanice vvn případně vvn/vn. Směr toku elektrické energie v odbočkách je různý, podle okamžitého rozložení výroby a spotřeby v ES.

- **Elektrické stanice spotřeby** je možno rozlišit na dva základní typy:
  - Distribuční elektrické stanice, které rozdělují elektrickou energii, transformují napětí a dodávají elektrickou energii spotřebním centřům. Nejvíce se používá napětí 22 kV, v některých oblastech (VČE) 35 kV, v menších spotřebních centrech 6 kV a 10 kV.
  - Průmyslové elektrické stanice, které rozdělují elektrickou energii v průmyslových podnicích přímo ke spotřebičům a transformují jejich napětí na nn. Jsou to transformovny 110 kV/vn; vn/vn; vn/nn, případně spínací stanice vn nebo nn. Obvyklé napětí vn je 6 kV, výjimečně 10 kV. Zvláštním typem průmyslové elektrické stanice je stanice vlastní spotřeby elektrárny. Směr toku elektrické energie je vždy ze sítě směrem ke spotřebiči.

## 2.2 Zařízení elektrických stanic

Většina typů elektrických stanic obsahuje zařízení svým charakterem stejná. Jsou to:

- ⇒ Střídavé elektrické rozvodné zařízení (2.3): rozvodny, rozváděče, rozvodnice.
- ⇒ Společná zařízení: zařízení pro vlastní spotřebu, část střídavá i stejnosměrná, nouzové zdroje, akumulátorová baterie, střídače, výroba a i rozvod stlačeného vzduchu, měnič frekvence, dozorna, ochrany, měření a signalizace, stroje a přístroje používané při revizích a udržovacích pracích apod.
- ⇒ Pomocná zařízení: revizní věž, olejové hospodářství, dílny, garáže, sklady, vrátnice, apod.
- ⇒ Komunikace: vlečka, příjezdová silnice, komunikace v objektu a podobně.
- ⇒ Protipožární zařízení
- ⇒ Zařízení a prostředky pro ochranu zdraví a hygienu práce jak pro personál rozvodny tak i pro revizní a pracovní čety.
- ⇒ Ochranné a bezpečnostní pomůcky: dielektrické rukavice, záchranné háky, zkoušečky, výstražné tabulky apod.

V některých elektrických stanicích je dále instalováno:

- ⇒ Kompenzační zařízení: rotační kompenzátor, statický kompenzátor nebo kompenzační tlumivky s veškerým příslušenstvím
- ⇒ HDO: vysílač, automatika.

Transformační elektrické stanice obsahují dále transformátory s veškerým příslušenstvím, měřírny pak usměřňovače a stejnosměrná rozvodná zařízení.

## 2.3 Střídavé elektrické rozvodné zařízení

Rozvodné zařízení plní důležitý úkol elektrické stanice, tj. rozvádění elektrické energie při stejném napětí. Zahrnuje všechny přístroje nutné k rozvádění elektrické energie, seřazené a zapojené přesně podle elektrického schématu.

**Základní veličiny**, na které je rozvodné zařízení dimenzováno jsou:

1. Největší provozovací napětí příslušné ke jmenovité (normalizované) hodnotě viz Tabulka 1.1

Na základě jmenovité hodnoty napětí jsou určeny bezpečné vzdálenosti mezi živými částmi rozvodného zařízení a také mezi živou částí a zemí (viz. **Tabulka 2.1**)

**Tabulka 2.1:** Nejmenší vzdušné vzdálenosti živých částí v rozvodných zařízeních s napětím nad 1kV do 52kV (tab.2 v [ 13])

Nejvyšší napětí [kV]	Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulsu [kV]		Vzdálenost mezi fázemi a k zemi [mm]				Vzdálenost mezi systémy přípojníc [mm]			
	mezi fázemi a k zemi	mezi systémy	vnitřní prostředí		venkovní prostředí		vnitřní prostředí		venkovní prostředí	
			v klidu	po zkratu	v klidu	max. vítr nebo zkrat	v klidu	při zkratu	v klidu	max. vítr nebo zkrat
1	2 <sup>1)</sup>	3	4 <sup>1)</sup>	5	6 <sup>2)</sup>	7	8	9	10	11
3,6	20 40	60	40 60	30	– 130	90	100	40	170	100
7,2	40 60	75	60 100	40*	– 170	100	130	50	200	120*
12	60 75	95	110 130	70	– 210	140	160	80	240	160
17,5	75 95	125	130 160	90	– 240	160	210	110	290	190
25	95 125	150	190 210	130	– 290	200	270	150	350	230
38,5	155 180	210	270 320	200	– 400	270	400	250	480	330

<sup>1)</sup> Nižší hodnoty lze použít jen pro sítě bez atmosférických přepětí („neexponované“)

<sup>2)</sup> U vodičů připojených k přístrojům nebo nesených podpěrkami lze připustit vzdálenosti k uzemněným částem těchto přístrojů nebo podpěrek podle sloupce 4 pro exponované sítě

## 2. Jmenovitý proud

**Tabulka 2.2:** Řada jmenovitých proudů přípojníc a odboček střídavých rozvodných zařízení 100; 200; 400; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6300; 8000; 10000; 12500; 16000; 20000 [A].

## 3. Zkratová odolnost

**Tabulka 2.3:** Normalizovaná řada zkratových odolností ([ 15])

Jmenovitý vypínací proud $I_{vyp}$ [kA]	6,3	8	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63
Jmenovitý krátkodobý proud $I_{ke}$ [kA]	6,3	8	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63
Jmenovitý dynamický proud $I_{dyn}$ [kA]	16	20	31,5	40	50	63	80	100	125	160

**Základní prvky** rozvodného zařízení jsou:

1. Přípojnice - jsou holé vodiče, tuhé nebo lanové, jejichž průřez a profil je dán proudovým zatížením, požadavky na pevnost a zkratovými poměry. K těmto vodičům je energie přiváděna přívodními odbočkami a odváděna ke spotřebičům vývodovými odbočkami. Přípojnicový systém je soubor n fází přípojníc.
2. Odbočky jsou tvořeny souborem propojených přístrojů sloužících ke spínání měření a ochraně vývodů nebo přívodů elektrické energie, spínačů přípojníc, vývodů k měřicím transformátorům napětí, k bleskojistkám apod.

**Základní zařízení odbočky** jsou:

1. Spínač, který slouží k zapínání a vypínání odbočky buď bez zatížení nebo pod zatížením. Podle důležitosti to může být vypínač, odpínač, odpojovač, stykač a v omezeném měřítku jistič nebo pojistka.
2. Přípojnicový odpojovač, který zajišťuje viditelné oddělení odbočky od přípojnicového systému.
3. Vývodový odpojovač, který zajišťuje viditelné oddělení vedení, ať kabelového nebo venkovního od rozvodny. Bývá vybaven zemnicími noži.



4. Měřicí transformátory proudu a napětí, jejichž instalace záleží na charakteru a důležitosti odbočky a dále pak na požadavku měření a ochrany odbočky.
5. Měřicí a signalizační zařízení
6. Elektrické ochrany

Podle konstrukčního uspořádání rozvodného zařízení rozlišujeme:

- rozvodnu - zařízení, které je kompletováno a zkoušeno přímo na místě užití a vyžaduje zvláštní stavební úpravy prostoru.
- rozváděč - zařízení v němž přístroje i nosná konstrukce tvoří celek. Na místě užití se instaluje zkompletovaný a vyzkoušený. Nevyžaduje zvláštních stavebních úprav, pouze kabelové prostupy a kanály.
- rozvodnice - je zařízení nn, např. rozvodná deska nn s pojistkami, elektroměrová deska apod.

Odbočky jsou konstrukčně uspořádány v **poli**, což je část prostoru venkovní rozvodny, kryté rozvodny, nebo rozváděče, sloužící pro instalaci výzbroje jedné odbočky, oddělené od prostoru sousedních odboček mezistěnami.

### 2.3.1 Schémata rozvodných zařízení.

Základní schéma rozvodného zařízení se volí tak, aby vyhovovalo požadavkům provozu, bezpečnosti a hospodárnosti.

Provozní požadavky jsou dány především zapojením elektrické stanice do elektrizační soustavy (rozložení, počet, velikost a druh výroben a stanic, stupeň v důležitosti odběru). Doporučuje se volit základní schéma co nejjednodušší a přehledné.

Bezpečností se rozumí:

- bezpečnost před úrazem - souhrn opatření zajišťující ochranu osob před elektrickým proudem, bezpečnost osob, zařízení i okolí před účinky zkratu, oblouku, exploze a před požárem.
- bezpečnost provozní - zařízení musí být jednoduché, přehledné a spolehlivé. Musí být zajištěno proti chybným manipulacím blokováním zvláště u odpojovačů tak, aby nemohly být například zapínány a vypínány pod zatížením nebo do zkratu.

Z hlediska hospodárnosti musí být schéma řešeno tak, aby spotřeba materiálu a prostoru byla co nejnižší. Vzhledem k tomu, že schéma je součástí komplexního řešení celé elektrizační soustavy, mělo by uvažovat jednak energetickou situaci v oblasti a jednak perspektivní rozvoj elektrizační soustavy.

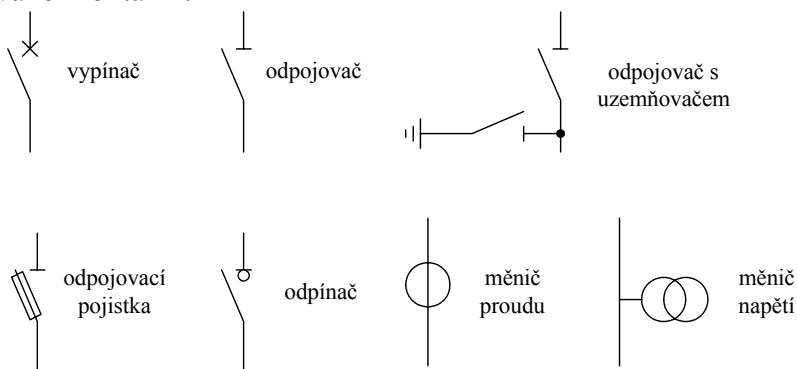
Při volbě schématu spojení je třeba uvážit ještě další hlediska:

- výkon, počet zdrojů a jejich zkratové hodnoty
- možnost trvalé nebo krátkodobé paralelní spolupráce zdrojů
- zkratovou odolnost zdrojů
- hodnoty zkratových proudů v rozvodu za rozváděčem
- charakter a současnost odběru s přihlédnutím k předpokládané obsluze
- selektivitu a druh chránění nebo jištění (proudové nebo časové odstupňování)
- plynulost dodávky elektrické energie, důležitost zařízení
- jednoduchost a bezpečnost manipulace
- možnost revize jednotlivých úseků za provozu
- způsob ovládání, měření a signalizace
- možnost použití typizovaných výrobků

Schéma rozvodného zařízení může být:

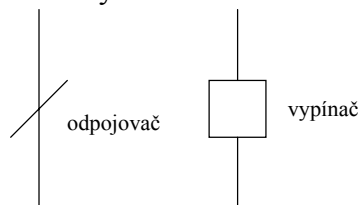
- Jednopolové - slouží pro základní popis zařízení. Na **Obrázek 2.1** jsou uvedeny základní schematické značky používané v jednopolových schématech

- Trojpólové (dvoupólové); slouží pro konstrukci (montáž) zařízení, je obvykle nazýváno montážní.



Obrázek 2.1: Základní schématické značky

Pro popis rozvodných zařízení se používá zjednodušených schémat, kde jsou pro základní spínací prvky použity jednoduché značky:



## 2.3.2 Přípojnicové systémy

### 2.3.2.1 Vodiče přípojníc

Přípojnice v rozvodných zařízeních nn a vn se provádí z holých plochých tyčí z elektrovedného hliníku EAl. V případě potřeby je možno použít i tyče jiného profilu (např. kruhového profilu, „U“ profilu apod.) Přípojnice v rozvodných zařízeních vvn venkovního provedení jsou nejčastěji ocelohliníková lana AlFe o průřezu větším než 350 mm<sup>2</sup>, případně svazkové vodiče s rozpěrkami. U vnitřních provedení jsou to nejčastěji vodiče profilové. V nově budovaných venkovních rozvodnách vvn se přechází na využívání trubkových vodičů.

V případě značného proudového zatížení se používá paralelních plochých tyčí zpevněných výztužnými vložkami. U zařízení nn mohou mít přípojnice odstupňovaný průřez podle skutečného proudu, který jimi v jednotlivých úsecích protéká. Zmenšený průřez se v tomto případě nejistí.

### 2.3.2.2 Průřez a uspořádání přípojníc

Průřez i uspořádání přípojníc (vzdálenost fází, uložení vodičů) je dáno jednak provozním stavem (zatěžovacím proudem **Tabulka 2.2** a jmenovitým napětím **Tabulka 1.1**) a jednak poruchovým stavem (musí být odolné proti tepelným a dynamickým účinkům zkratového proudu).

Počet a zapojení přípojnicových systémů je dáno provozními požadavky a stupněm důležitosti napájených spotřebičů. Dodávka elektrické energie se rozděluje podle důležitosti do tří skupin:

- **První stupeň.** Dodávka elektrické energie musí být zabezpečena za každých okolností, protože její přerušování může způsobit ohrožení lidských životů a velké národohospodářské ztráty. Dodávka elektrické energie musí být zajištěna ze dvou nezávislých zdrojů, z nichž každý musí mít takový výkon, aby zabezpečil dodávku elektrické energie pro všechny spotřebiče prvního stupně důležitosti.
- **Druhý stupeň.** Dodávka elektrické energie má být podle možnosti zabezpečena, protože její přerušování může způsobit podstatné zmenšení nebo i zastavení výroby.

Následkem přerušení však nenastane ohrožení lidských životů. Způsob napájení je dán místními poměry a provádí se zálohováním.

- **Třetí stupeň.** Dodávka elektrické energie nemusí být zabezpečena zvláštními, opatřeními. Napájení se provádí z jednoho zdroje bez zálohování.

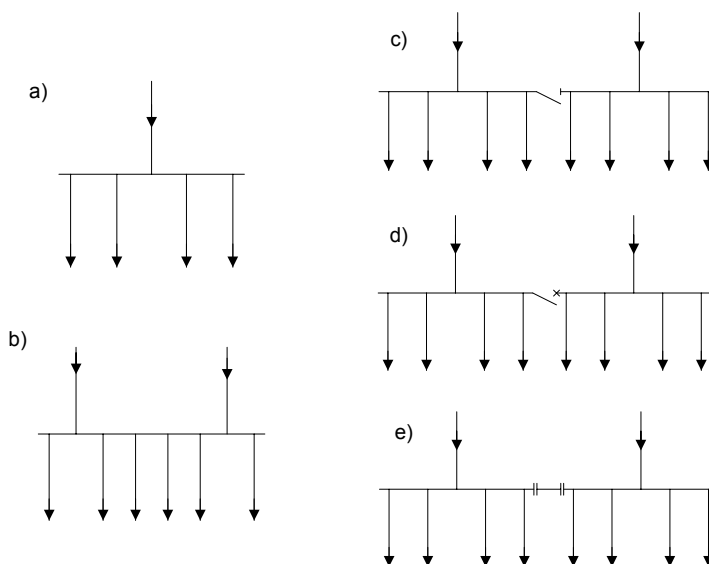
### 2.3.2.3 Rozvodné zařízení s přímými přípojnicemi

#### - jednoduchý systém přípojníc

Jednoduchých přípojníc lze používat tam, kde není požadavek na nepřerušovaný provoz při revizích a opravách. Používají se zásadně v rozvodných zařízeních, ze kterých jsou napájeny spotřebiče třetí kategorie, tj. takové spotřebiče jejichž vyřazení z chodu neznamená snížení bezpečnosti osob, ani národohospodářské ztráty.

Při požadavku zajištění napájení je možné přípojnice dělit podélně na sekce. Podélný spínač se spíná v případě výpadku jedné z přívodních odboček. V rozvodnách, které nejsou dimenzovány na paralelní spolupráci zdrojů, musí být podélný spínač přípojníc blokován proti oběma zapnutým přívodním vypínačům. Pro rozvodná zařízení s jednoduchým systémem přípojníc se používají schémata viz **Obrázek 2.2**.

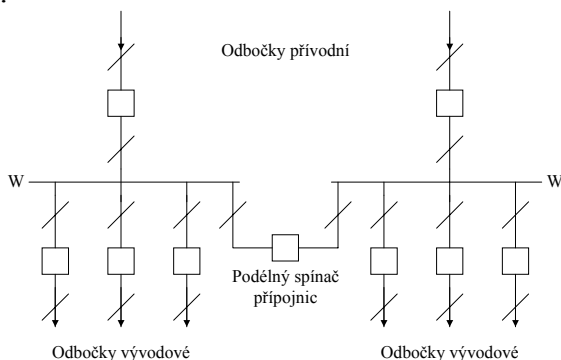
- Napájení z jednoho zdroje, při jehož poruše není rezerva.
- Nedělený systém přípojníc se dvěma zdroji. Při poruše jednoho zdroje je okamžitá rezerva (podle výkonového dimenzování může být částečná nebo plná). Výměna nebo revize zdroje je možná bez přerušení provozu.
- Podélně dělený přípojnicový systém s odpojovačem. Je možné spínání pouze bez zatížení. Každá sekce má svůj zdroj a doba přerušení je dána dobou potřebnou k sepnutí. Údržba a revize je možná u části zařízení.
- Podélně dělený přípojnicový systém s vypínačem. Při poruše zdroje je možný další provoz bez přerušení. Údržba a revize je možná u části zařízení.
- Podélně dělený přípojnicový systém se šroubovými spojkami. Každá sekce má svůj zdroj a při poruše zdroje je zde částečná rezerva. Po dobu potřebnou k montáži spojek je nutné přerušení provozu. Je možné provádět revizi a údržbu části zařízení.



**Obrázek 2.2:** Schémata rozvodných zařízení s jednoduchým systémem přípojníc

Na **Obrázek 2.3** je uvedeno schéma se zjednodušeným značením vypínačů a odpojovačů a s názvy odboček. Odpojovače ve schématu jsou u rozváděčů s výsuvnými vypínači realizovány přípojovacími zařízeními vypínače. Toto schéma je často používáno v průmyslových rozvodech a v distribučních sítích.

U rozvodných zařízení vvn se jednoduchý systém přípojnic používá pouze ve speciálním případě schéma pro distribuční transformovnu 110 kV/vn. Jeho řešení je uvedeno na **Obrázek 2.10**. Toto schéma se používá pro připojení transformátorů a propojení vedení. Někdy je nazýváno schéma typu H.



**Obrázek 2.3:** Schéma se zjednodušeným značením

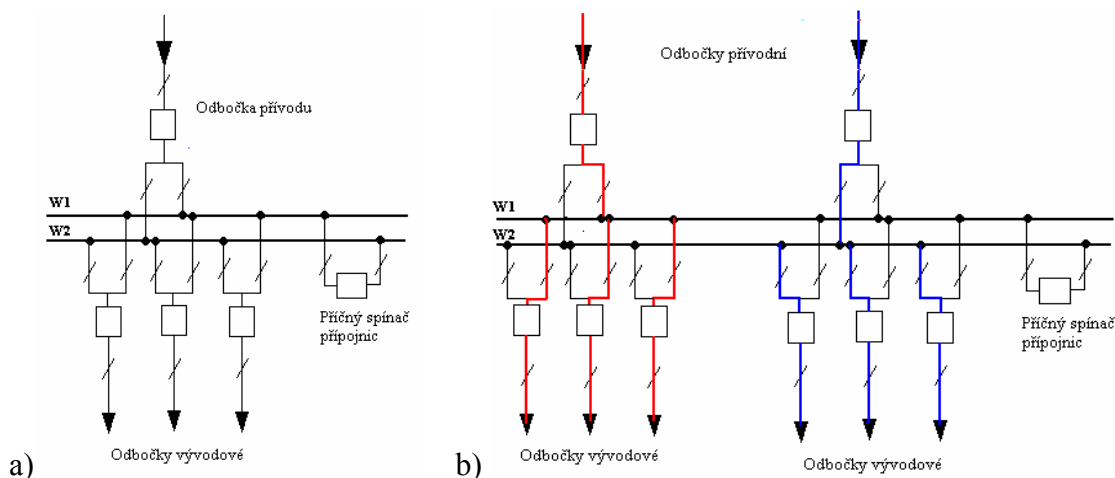
### - dvojitý systém přípojnic

Dvojitě přípojnice jsou použity:

- tam, kde není přípustné při revizi přípojnic ani krátkodobé přerušování dodávky
- tam, kde provoz odboček je nutno rozdělit do dvou skupin z některého z následujících důvodů:
  - o rozdělení zdrojů k omezení zkratových proudů
  - o současné napájení ze dvou nespolečných zdrojů
  - o oddělení spotřebičů kolísavého příkonu od spotřebičů, které vyžadují stálé napětí
  - o oddělení sítě s venkovními vedeními od sítě kabelové
  - o zajištění důležitých odběrů i v případě výpadku některých napáječů zbývajících napáječů menšího výkonu

**Dvojitý systém přípojnic** musí být vybaven příčným spínačem, aby se přepojování odboček na druhý systém mohlo provozovat bez přerušování provozu. Manipulovat s přípojnicovými odpojovacími v sepnutých odbočkách lze pak pouze při sepnutém spínači přípojnic.

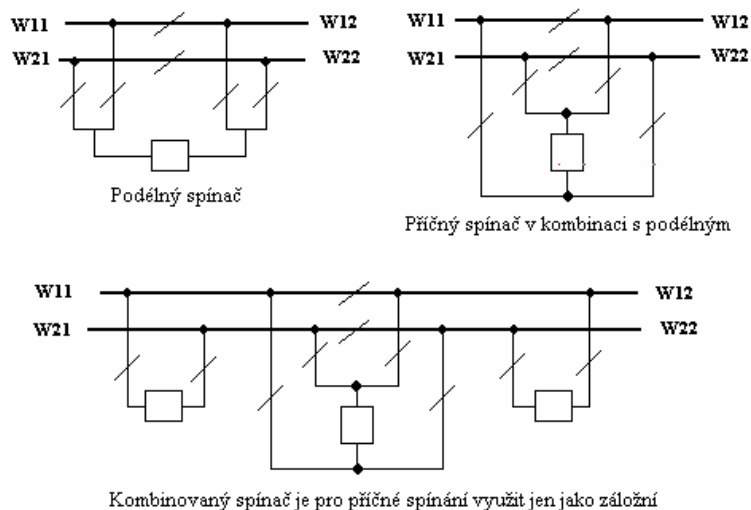
Schéma dvojitěho systému přípojnic s jedním zdrojem a jednou přípojnicí záložní je uvedeno na **Obrázek 2.4a**). Za normálního stavu je přípojnice W2 bez napětí. Schéma dvojitěho systému přípojnic se dvěma zdroji a spotřebiči rozdělenými na oba přípojnicové systémy je uvedeno na **Obrázek 2.4 b**).



**Obrázek 2.4:** Dvojitý systém přípojnic - a) s jedním zdrojem, b) se dvěma zdroji

Stejně jako jednoduchý systém, lze i dvojitý přípojnicový systém podélně dělit na sekce. Podélné dělení může být zabezpečeno odpojovači v přípojnicových systémech mezi sekcemi nebo podélným spínačem vybaveným jedním vypínačem **Obrázek 2.5**. Při vybavení pouze odpojovači je nutné, aby při podélném spojování byla jedna sekce v beznapětovém stavu.

V druhém případě podélný spínač s vypínačem slouží pro manipulaci, při které mohou být obě sekce přípojnicových systémů pod napětím. Odpojovače mezi sekcemi slouží pro trvalé nebo dlouhodobé sepnutí úseků. Podélný spínač může být řešen v kombinaci s příčným spínačem jak je uvedeno na **Obrázek 2.5**. V tomto kombinovaném spínači je příčné spínání využíváno pouze záložně a obě sekce jsou vybaveny základními příčnými spínači, jak je znázorněno na **Obrázek 2.5**.



**Obrázek 2.5:** Spínání přípojnic

#### - trojitý systém přípojnic

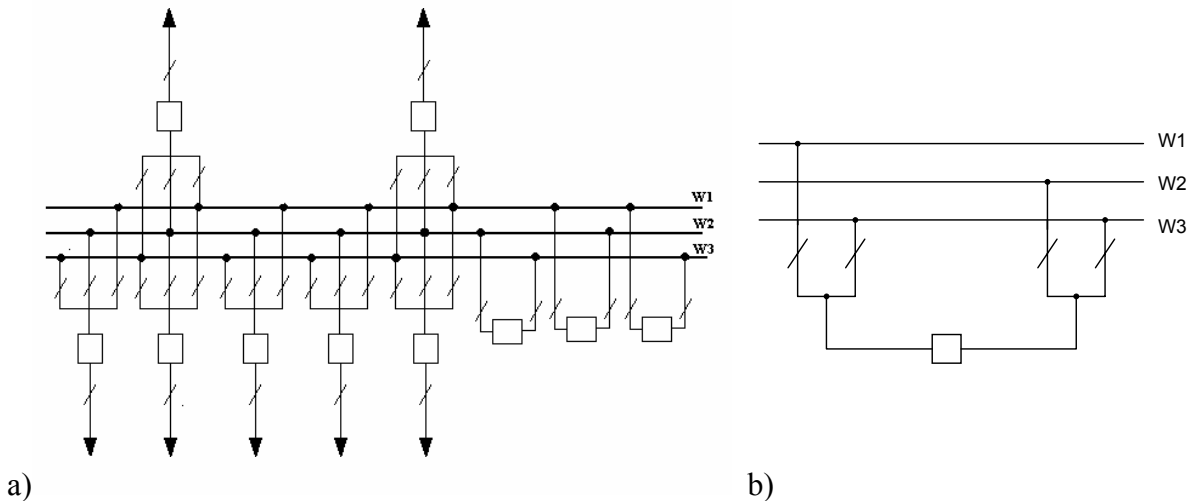
Trojitého systému přípojnic se používá tam,

- kde dvojitý systém přípojnic musí být trvale v odděleném provozu a pro revizi přípojnic není přípustné ani krátkodobé přerušení dodávky
- tam, kde provoz musí být rozdělen do tří skupin v některém z těchto případů
  - o kde je nutno rozdělit zdroje k omezení velkých zkratových nebo provozních proudů
  - o kde je nutné provozovat odděleně sítě stejného napětí s ohledem na důležitost provozu

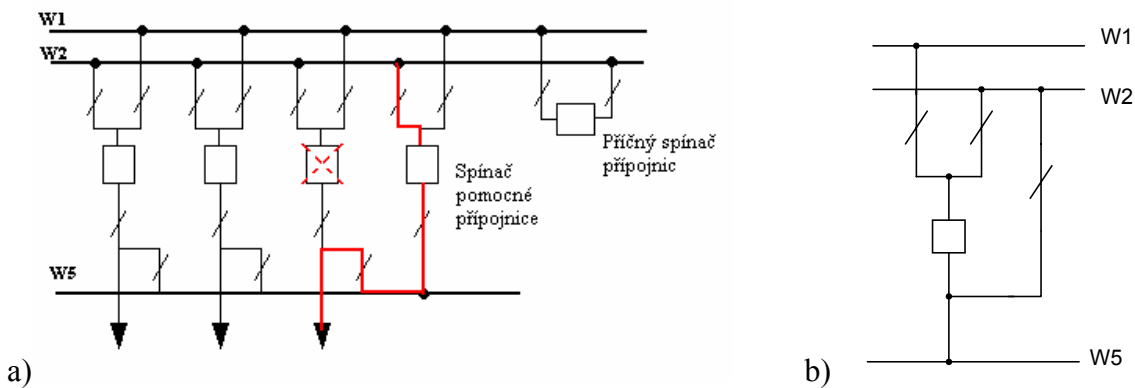
Schéma rozvodny s trojitým systémem přípojnic je uvedeno na **Obrázek 2.6 a**). Příčné spínače přípojnic lze za předpokladu, že nepřichází v úvahu jejich současná manipulace, spojit v jeden kombinovaný příčný spínač s jedním vypínačem. Schéma kombinovaného příčného spínače přípojnic je znázorněno na **Obrázek 2.6 b**). U rozvodných zařízení s velkým počtem odboček se používá podélné dělení přípojnicových systémů na sekce obdobně a to tak, jak bylo uvedeno u dvojitého systému přípojnic. Obvyklé je jednoduché vybavení odpojovači mezi sekcemi.

#### 2.3.2.4 Pomocný systém přípojnic

V případě, kdy nelze připustit odstavení odbočky po celou dobu údržby vypínače nebo zařízení k němu příslušných (elektrické ochrany, měřicí transformátory, ovládací signalizační a měřicí obvody) v beznapětovém stavu, volí se zapojení s pomocným systémem přípojnic. To pak slouží pro záložní převedení výkonu této odbočky. Náhradní výzbroj zajišťuje vypínání, chránění, signalizaci a měření v odbočce spínače pomocné přípojnice. Přípojnicové odpojovače v odbočce spínače zajišťují možnost volby připojení na hlavní systémy přípojnic podle původního zapojení odbočky. Příklad provozu odbočky 3 přes pomocnou přípojnicu je uveden na **Obrázek 2.7 a**) (vypínač odbočky 3 je v revizi).



**Obrázek 2.6:** a) Trojitý systém přípojnic b) Kombinovaný příčný spínač trojitých přípojnic

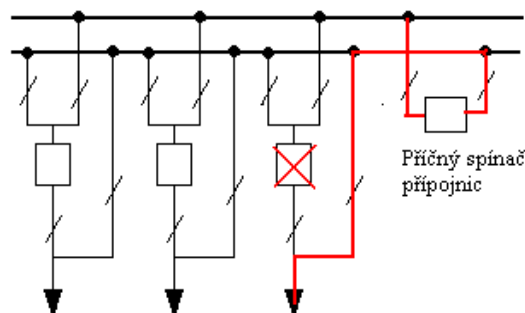


**Obrázek 2.7:** a) Systém s pomocnou přípojnicí b) Kombinace spínače pomocné přípojnice s příčným spínačem

Příčný spínač přípojnic může být kombinován se spínačem pomocných přípojnic dle schématu na **Obrázek 2.7 b)**.

Provoz, kdy odbočka je připojena přes pomocnou přípojnicí, se nazývá náhradní. Vzhledem k tomu, že je nutné tento provoz zabezpečit při normálním i poruchovém stavu, lze na pomocný přípojnicový systém připojit jen jednu odbočku. Pomocný systém přípojnic a výzbroj odbočky se spínačem pomocné přípojnice se dimenzuje stejně jako nejsilnější odbočka. Nepředpokládá-li se současný provoz hlavních systémů přípojnic, připouští se při menším počtu odboček využití jednoho z hlavních systémů přípojnic ve funkci pomocného systému. Vypínač se přemostňuje odpojovačem a ve funkci spínače pomocného systému přípojnic se pak používá příčného spínače přípojnic.

Schéma rozvodny s dvojitým systémem přípojnic a přemostěným vypínačem (by-pass) je uvedeno na **Obrázek 2.8**. Ve schématu je naznačena napájecí cesta odbočky v revizi. Stejně jako přes pomocnou přípojnicí, tak i přes by-pass se provozuje pouze jedna odbočka. Systém pomocných přípojnic se může používat pro rozvodné zařízení s jedním, dvěma i třemi přípojnicovými systémy.



Obrázek 2.8: By – pass

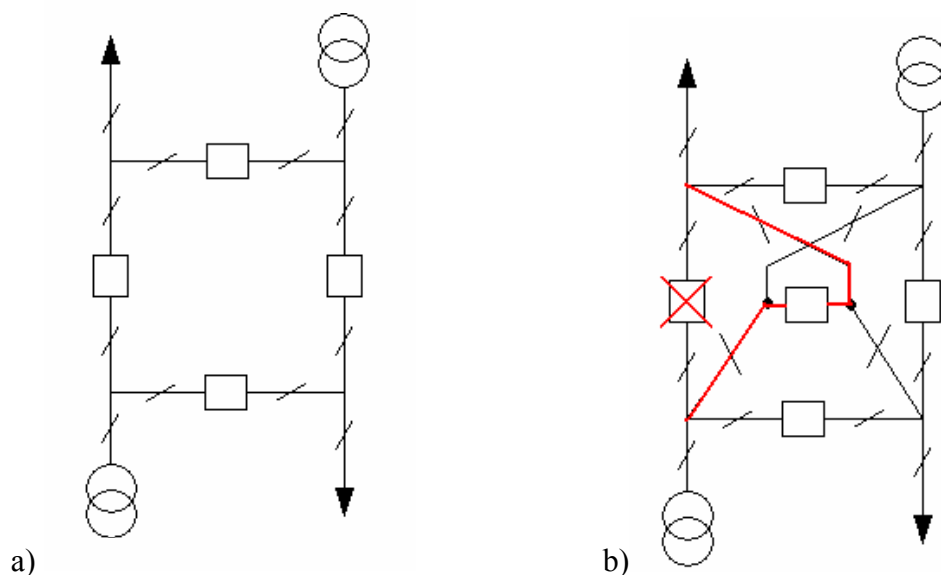
### 2.3.2.5 Rozvodny s okružními přípojnicemi

V těchto rozvodnách jsou úseky přípojnic zapojeny do polygonu (např. do troj, čtyř až osmiúhelníků). Tato schémata se volí tam, kde se požaduje omezení následků zkratů v rozvodně na minimální počet odboček.

Polygonové zapojení se provozuje:

- bez záložního vypínače - schéma rozvodu s úseky přípojnic zapojenými do polygonu bez záložního vypínače je uvedeno na **Obrázek 2.9 a)**.
- se záložním vypínačem, který je společný pro všechny odbočky a je funkční obdobou pomocné přípojnice.

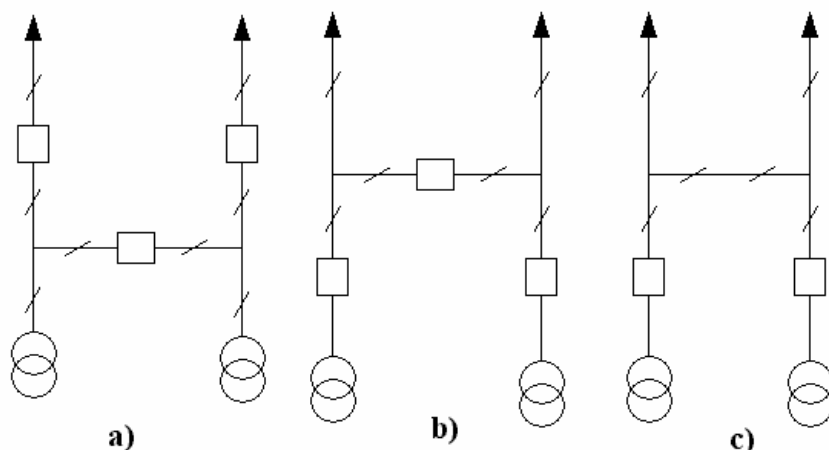
Schéma rozvodny s úseky přípojnic zapojenými do polygonu se společným záložním vypínačem je na **Obrázek 2.9 b)**. Ve schématu je naznačen příklad spojení přes záložní vypínač při poruše nebo revizi jednoho z provozních vypínačů.



Obrázek 2.9: a) Okružní přípojnice a b) Okružní přípojnice se záložním vypínačem

### 2.3.2.6 Rozvodny bez přípojnic

Jsou to rozvodná zařízení vvn s malým počtem (nejvýše šest) odboček. Schéma je zvláštním případem zapojení s okružními přípojnicemi, kdy jeden, případně dva úseky přípojnic jsou provedeny jako příčné spojky mezi odbočkami. Charakteristickým schématem používaným často u stanic vvn/vn je spojení do H znázorněným na **Obrázek 2.10**



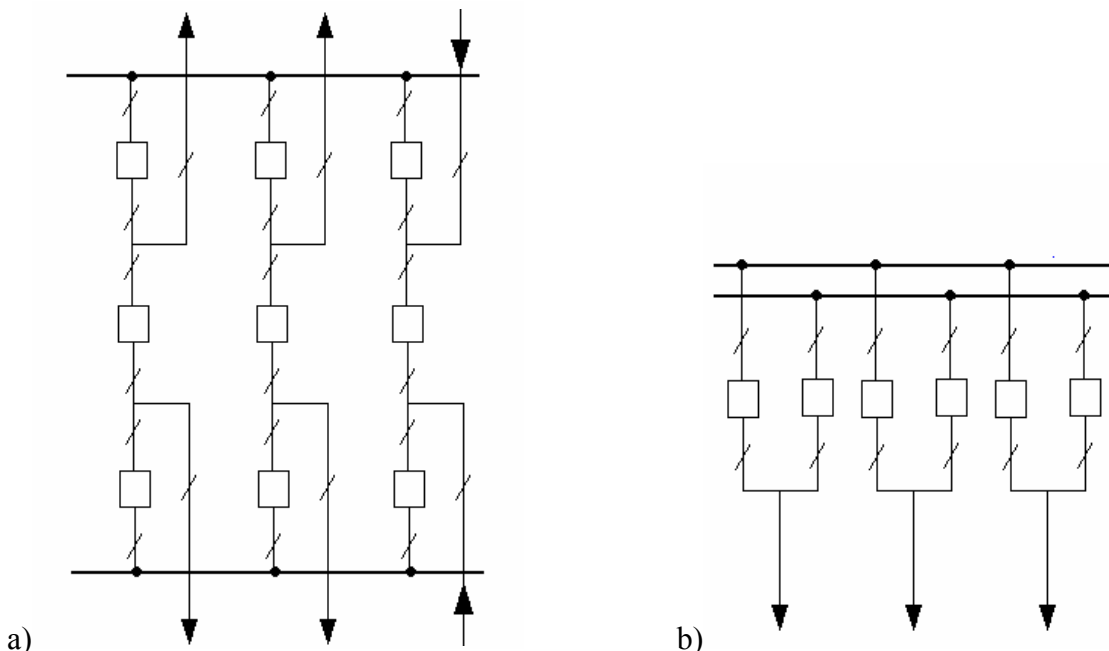
Obrázek 2.10: H – schéma rozvodny

Schéma a) se užívá pro koncové elektrické stanice v distribuční síti, schéma b) v případech s průběžným vedením a schéma c) je zjednodušená forma pro elektrickou distribuční stanicí připojenou na průběžné vedení.

### 2.3.2.7 Rozvodny s větším počtem vypínačů na jednu odbočku

Schéma s větším počtem vypínačů na jednu odbočku se volí v rozvodnách s větším počtem odboček tam, kde se požaduje provoz odboček při poruše vypínače.

- Rozvodny s  $n + 1$  vypínači na  $n$  odboček; schéma s třemi vypínači na dvě odbočky je uvedeno na Obrázek 2.11 a). Střední vypínač s odpojovači tvoří zálohu pro dvě vedlejší odbočky.
- Rozvodny s dvěma vypínači na odbočku; vyznačují se značnou provozní spolehlivostí, ale též značnou nákladností a proto jsou opodstatněny pouze v případě mimořádného stupně důležitosti. Schéma je uvedeno na Obrázek 2.11 b).



Obrázek 2.11: a) Rozvodna se třemi vypínači na dvě odbočky a b) Rozvodna dvěma vypínači na odbočku



### 2.3.3 Odbočky

#### Odbočky v rozvodných zařízeních

Odbočky lze podle účelu členit takto:

- a) Odbočky hlavní
  - alternátorové (generátorové),
  - transformátorové - k hlavním transformátorům
  - k transformátorům vlastní spotřeby
  - vývodové - venkovním vedením (s reaktorem nebo bez něho)
  - kabelovým vedením (s reaktorem nebo bez něho)
  - motorové
  - kondenzátorové
  - tlumivkové
  - jiné
- b) Odbočky pomocné
  - spínače hlavních přípojníc
    - podélné
    - příčné
    - kombinované
  - spínače pomocných přípojníc
  - odbočky pro měření napětí
  - odbočky pro bleskojistky
  - odbočky uzemňovací

Hlavní odbočky mohou být podle toku energie **přívodní** (napájecí dodávají energii na přípojnice dané stanice) nebo **vývodové** (odběrové, odvádějí energii ke spotřebičům) nebo kombinované (dodávka i odběr). Podle výzbroje jsou odbočky pracovní, které jsou plně vyzbrojeny nebo rezervní s plnou nebo částečnou výzbrojí.

Schéma odbočky může mít buď plnou výzbroj, tj. obsahuje vypínač oddělený z obou stran odpojovači, nebo výzbroj zjednodušenou, kdy vypínač je nahrazen jednoduššími spínacími prvky a kdy chybí některé odpojovače. Příklady schémat odboček s podrobným popisem jsou v [ 1].

### 2.3.4 Provozní manipulace v rozvodně

Provozní manipulace slouží k řízení rozvodu elektrické energie a k umožnění oprav a revizí zařízení a rozvodů. Musí být prováděny tak, aby nedošlo k ohrožení osob ani zařízení a aby dodávka energie (pokud to není cílem) nebyla pokud možno přerušena ani krátkodobě.

Za základní provozní manipulace s přístroji v odbočkách lze považovat tyto manipulace:

- a) zapínání nebo vypínání jednotlivých přístrojů v odbočce. Je to nejnižší, základní úroveň operací. Z těchto operací jsou sestaveny dále uváděné manipulace
- b) zapínání odboček na zvolený přípojnicový systém
- c) vypínání jednotlivých odboček.
- d) převedení dané odbočky z jednoho přípojnicového systému na jiný
- e) převedení všech odboček na zvolený přípojnicový systém
- f) převedení odbočky na náhradní provoz
- g) vypnutí náhradního provozu
- h) zrušení náhradního provozu
- i) sepnutí podélných úseků
- j) rozepnutí podélných úseků

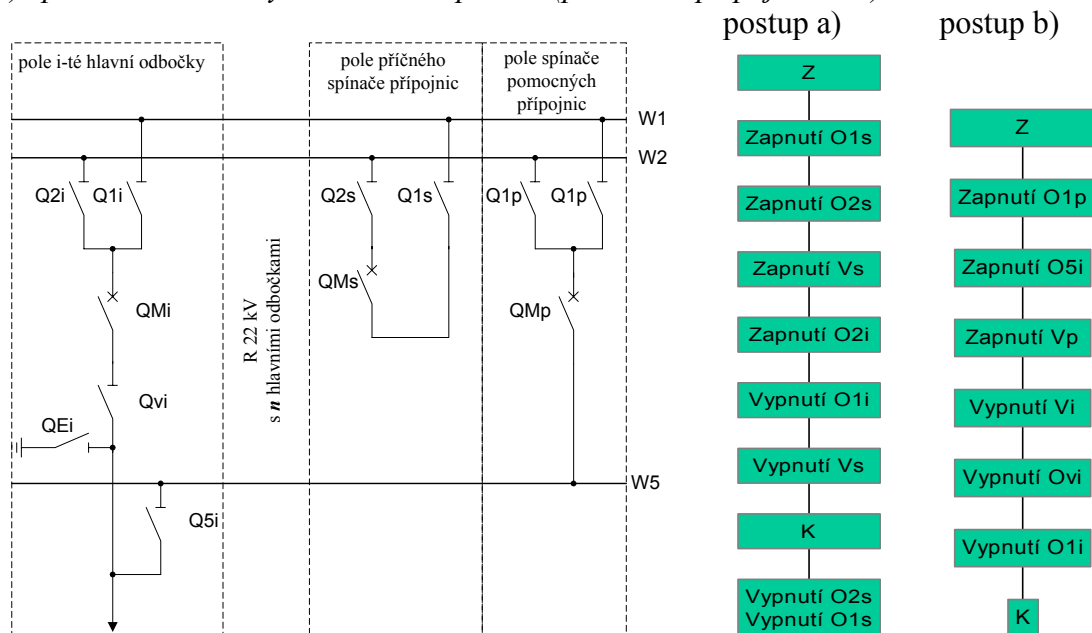
Vyjmenované operace se týkají spíše rozvodu s přímými přípojnícemi. U schémat s okružními přípojnícemi nebo schémat bez přípojníc lze však najít obdobné úkony. Například

provoz přes záložní vypínač okružních přípojnic je obdoba náhradního provozu přes pomocnou přípojnicí.

Při všech manipulacích je třeba dodržet určitý postup v ovládání přístrojů. V opačném případě by mohlo dojít k přerušení dodávky elektrické energie nebo i k rozsáhlým poruchám.

**Příklad 2.1:** Jako příklad uvedeme postup spínání pro tři složitější provozní manipulace v rozvodně, jejíž schéma je na **Obrázek 2.12**. Jednotlivé postupy jsou vyjádřeny vývojovými diagramy:

- pro přepnutí odbočky z přípojnic W1 na přípojnice W2,
- převedení odbočky na náhradní provoz (přes W5 z přípojnice W1)



**Obrázek 2.12:** Schéma rozvodny 22 kV s dvojitým systémem přípojnic a pomocnou přípojnicí

Posloupnost obou manipulací začíná v provozním stavu, ve kterém je i-tá odbočka napájena z přípojnic W1, tzn. je sepnut vypínač QMi a odpojovače Q1i a Qvi.

#### 2.3.4.1 Blokování přístrojů

Důležitá otázka, zejména při návrhu stanice, je zajištění bezchybných manipulací, tj. manipulací, které nevedou k ohrožení činnosti zařízení, k přímému poškození zařízení nebo k ohrožení bezpečnosti osob. Nesmí proto dojít k přetížení některých částí schématu, nesmí dojít k překročení vypínací a zapínací schopnosti spínačů, nemá být trvale zhoršena selektivita jištění obvodů, atd. Je proto nutná vzájemná vazba přístrojů, která musí zajistit správnou manipulaci jak v normálních provozních stavech, tak při poruchách. Tuto vzájemnou vazbu zajišťuje blokování.

Blokovací podmínky vycházejí z těchto základních požadavků:

- nedovolit manipulaci s odpojovači, pokud na jejich otevřených kontaktech je nebo by se mohlo objevit napětí
- odpojovače nesmí trvale sami spojovat příčně dělené přípojnice
- na pomocné přípojnice lze připojit pouze 1 odbočku
- vypínač nesmí jít zapnout, jestliže odpojovače odbočky jsou v mezipoloze

Pro další objasnění zvolme opět rozvodnu, jejíž schéma je na **Obrázek 2.12**. Výše uvedené požadavky vedou například k této formulaci blokovacích podmínek:

- Odpojovače Q1i a Q2i se mohou ovládat jen při vypnutém vypínači odbočky výjimku tvoří případ c).

- b) Přípojnicové odpojovače Q1i a Q2i se blokují navzájem tak, aby bylo možné zapnout vždy jen jeden. Výjimku tvoří případ c).
- c) Oba odpojovače Q1i i Q2i je možné zapnout pouze při zapnutém příčném spínači přípojnic (je tvořen odpojovači Q1s a Q2s a vypínačem QMs) .
- d) Vypínač QMi nesmí jít zapnout, je-li některý z odpojovačů odbočky v mezipoloze.
- e) Vypínač příčného spínače QMs nelze vypnout, jsou-li v některé odbočce sepnuty přípojnice přípojnicovými odpojovači Q1i nebo Q2i
- f) Odpojovače nelze zapnout, jsou-li zapnuty jejich zemní nože.
- g) Odpojovač pomocných přípojnic Q5i nelze zapnout, jsou-li zapnuty zemní nože vývodového odpojovače Qvi nebo vypínač QMp .
- h) Současně může být zapnut jen jeden odpojovač pomocných přípojnic.
- i) Uzemňovač QEi lze zapnout jen tehdy, jsou-li vypnuty odpojovače Qvi a Q5i

Podobné podmínky lze sestavit i pro rozvodny s jiným počtem přípojnic. Další podmínky uvádějí zřizovací předpisy - např. u rozváděče s výsuvnými částmi se požaduje, aby přístroj šel vysunout jen je-li vypnut je to však jen jiná formulace podmínky a).

Slovní vyjádření blokovacích podmínek lze zapsat pomocí logických proměnných stavu. Pro tyto účely označujeme stavy jednotlivých spínačích prvků takto:

$$\bar{Q} = 1 \quad \text{zapnuto}, \quad \underline{Q} = 1 \quad \text{vypnuto}, \quad \bar{Q} = \underline{Q} = 0 \quad \text{mezipoloza}$$

Logickými operacemi s těmito proměnnými zapisujeme blokovací podmínky jako výraz, jehož výsledná hodnota rozhoduje o možnosti manipulace: 1 – manipulace povolena, 0 – manipulace zakázána (blokována). Pro uvedené schéma na **Obrázek 2.12** a na základě formulace blokovacích podmínek lze uvést algoritmus blokování v **Tabulka 2.4**

**Tabulka 2.4:** Blokovací podmínky pro provozní manipulace v rozvodně podle **Obrázek 2.12**

prvek	operace	Blokující podmínky
Q1i	zapnutí	$\underline{QMi} \cap \underline{Q2i} \cup \underline{Q1s} \cap \underline{Q2s} \cap \underline{QMs} \cap \underline{Q2i}$
	vypnutí	$\underline{QMi} \cap \underline{Q2i} \cup \underline{Q1s} \cap \underline{Q2s} \cap \underline{QMs} \cap \underline{Q2i}$
Q1s	zapnutí	$\underline{QMs}$
	vypnutí	$\underline{QMs}$
Qvi	zapnutí	$\underline{QMi} \cap \underline{Q5i} \cup \underline{QEi}$
	vypnutí	$\underline{QMi}$
Q5i	zapnutí	$\underline{QMp} \cap \underline{QEi} \bigcap_i \underline{Q5i}$
	vypnutí	$\underline{QMp}$
QEi	zapnutí	$\underline{Qvi} \cap \underline{Q5i}$
	vypnutí	
QMi	zapnutí	$(\underline{Q1i} \cup \underline{Q1i}) \cap (\underline{Q2i} \cup \underline{Q2i}) \cap (\underline{Qvi} \cup \underline{Qvi})$
	vypnutí	
QMs	zapnutí	$(\underline{Q1s} \cup \underline{Q1s}) \cap (\underline{Q2s} \cup \underline{Q2s})$
	vypnutí	$\bigcap_{i=1}^n (\underline{Q1i} \cup \underline{Q2i})$
QMp	zapnutí	$(\underline{Q1p} \cup \underline{Q1p}) \cap (\underline{Q2p} \cup \underline{Q2p}) \bigcap_{i=1}^n (\underline{Q5i} \cup \underline{Q5i})$
	vypnutí	

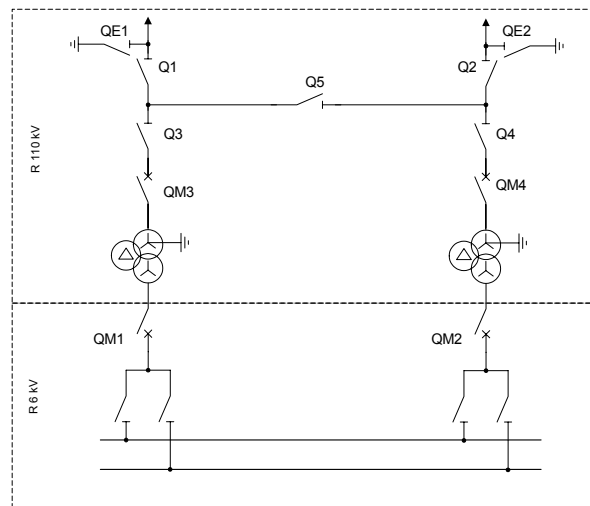
Takto napsané blokovací podmínky jsou výchozími podmínkami pro konstrukci nejen vlastního blokování, ale i pro sestavení různých procesorů a programů ovládání odboček.

Z technického hlediska může být blokování provedeno mechanicky, elektricky, pneumaticky, elektromagneticky. V současné době je blokování přístrojů záležitostí programového vybavení řídicího systému, případně číslicových terminálů sloužících k chránění, měření i ovládání v daném místě rozvodny.

V minulosti byl u nás velmi často používán ovládací systém BLOKOR, který má dovolené manipulace podle stavu jednotlivých přístrojů v rozvodně blokovány elektricky, zatímco současné manipulace s přístroji určité skupiny jsou blokovány pneumaticky.

Blokování musí jít v případě potřeby vysadit. Strojní pohony musí být blokovány i při výpadku zdroje ovládací energie a při ztrátě napětí v řídicích obvodech. Ruční pohony odpojovačů se neblokují. Blokování lze nahradit provozním předpisem tam, kde by realizace blokovacích podmínek byla neúměrně složitá vzhledem k funkci rozvodny nebo vzhledem k malé četnosti manipulací.

**Příklad 2.2:** Sestavte tabulku blokovacích podmínek pro schéma rozvodny na Obrázek 2.13



**Obrázek 2.13:** Rozvodna 110 kV v H zapojení

**Tabulka 2.5:** Blokovací podmínky pro provozní manipulace v rozvodně podle Obrázek 2.13

prvek	operace	Blokující podmínky	prvek	operace	Blokující podmínky
Q1	zapnutí	$\underline{Q3} \cap \underline{Q5} \cap \underline{QE1}$	QE2	zapnutí	$\underline{Q2}$
	vypnutí	$\underline{Q3} \cap \underline{Q5}$		vypnutí	
QE1	zapnutí	$\underline{Q1}$	Q4	zapnutí	$\underline{QM4}$
	vypnutí			vypnutí	$\underline{QM4}$
Q3	zapnutí	$\underline{QM3}$	QM4	zapnutí	$(\underline{Q4} \cup \overline{Q4})$
	vypnutí	$\underline{QM3}$		vypnutí	
QM3	zapnutí	$(\underline{Q3} \cup \overline{Q3})$	Q5	zapnutí	$(\underline{Q1} \cap \underline{Q3}) \cup (\underline{Q2} \cap \underline{Q4})$
	vypnutí			vypnutí	$(\underline{Q1} \cap \underline{Q3}) \cup (\underline{Q2} \cap \underline{Q4})$
Q2	zapnutí	$\underline{Q4} \cap \underline{Q5} \cap \underline{QE2}$			
	vypnutí	$\underline{Q4} \cap \underline{Q5}$			

## 2.4 Konstrukce a provedení rozvodných zařízení nn

Konstrukční provedení rozvodných zařízení je ovlivňováno následujícími požadavky:

- zabezpečení pracovních i poruchových režimů z hlediska izolačních vlastností, oteplení při trvalém i přechodném zatížení, zkratové odolnosti dynamické i tepelné, spínacích schopností použitých spínacích přístrojů, odolnosti proti vlivům prostředí a spolehlivost funkčních jednotek a celého souboru
- zabezpečení funkčních vlastností jednotlivých součástí, při jejich minimálním ovlivňování (primární silové obvody a sekundární měřicí, řídicí a blokovací obvody)
- snadná obsluha, zajištění ochrany proti nebezpečnému dotyku nejen při normálním provozu, ale i při poruchách a haváriích.
- omezení nepříznivých vlivů okolí (prachotěsnost, vodotěsnost, požární a seismická odolnost)
- omezení šíření poruchy z místa vzniku na další části zařízení

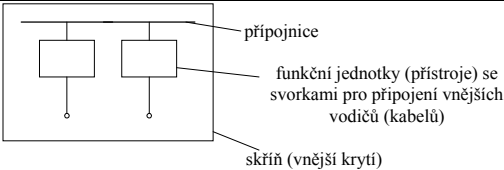
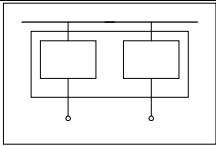
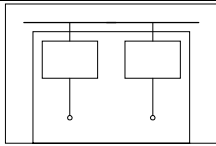
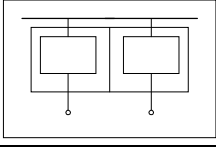
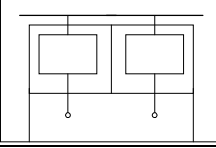
Velmi často se jedná o požadavky protichůdné a je proto nutné zajistit tyto požadavky technickým kompromisem. Základní podmínky stavby rozvodných zařízení jsou zakotveny v předpisech a normách.

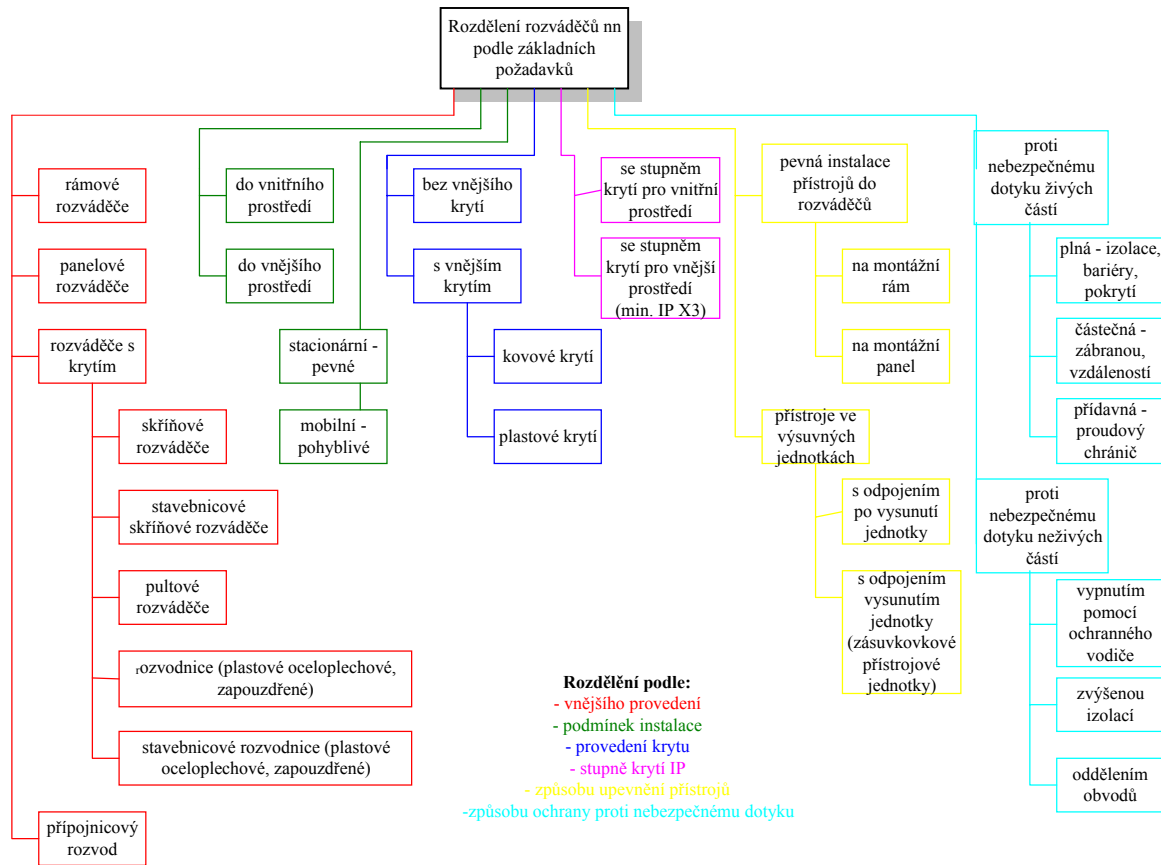
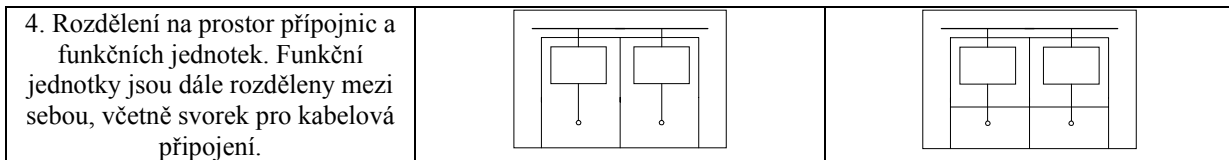
### 2.4.1 Provedení rozvodných zařízení nn

Rozvodná zařízení pro nízké napětí jsou v drtivé většině případů budována jako rozvodny s rozváděči. Rozváděč je konstrukční jednotka elektrického zařízení kompletovaná obvykle z většího počtu vestavěných přístrojů – funkčních jednotek (přípojnice, spínací přístroje, ochrany, měřicí přístroje, jistící a ovládací přístroje) ve výrobním závodě a dopravovaná na místo připojení často včetně dokončených vnitřních spojů. Obvykle jsou rozváděče expedovány v montážních celcích, které se na místě montáže potom propojují vnějšími spoji. Rozváděče se v oblasti nízkého napětí používají převážně pro distribuci elektrické energie, popřípadě pro kompenzaci jalového výkonu. V elektrických stanicích jsou určeny pro napájení vlastní spotřeby a jako rozváděče ovládací. V průmyslových sítích slouží převážně k napájení skupin nn spotřebičů, ve veřejných sítích potom k distribuci elektrické energie do osad a sídlišť, k napájení veřejného osvětlení atd. Rozdělení rozváděčů podle základních požadavků montáže uvádí [ 18] a je uvedeno na **Obrázek 2.14**.

Vnitřní provedení rozváděčů nn se liší především dělením prostoru v jednotlivých skříních a to je názorně uvedeno v Tabulka 2.6.

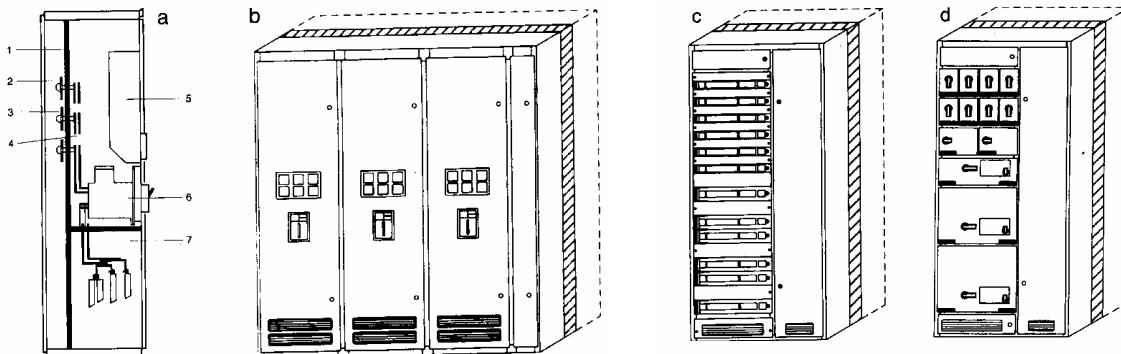
**Tabulka 2.6:** Dělení vnitřních prostor rozváděčů nn

	Prostor přípojnic je společný s prostorem pro kabelové připojení	Prostor přípojnic e oddělen od prostoru pro kabelové připojení
1. Bez rozdělení vnitřního prostoru		
2. Rozdělení na prostor přípojnic a funkčních jednotek		
3. Rozdělení na prostor přípojnic a funkčních jednotek. Funkční jednotky jsou dále rozděleny mezi sebou. Kabelová připojení mají společně.		



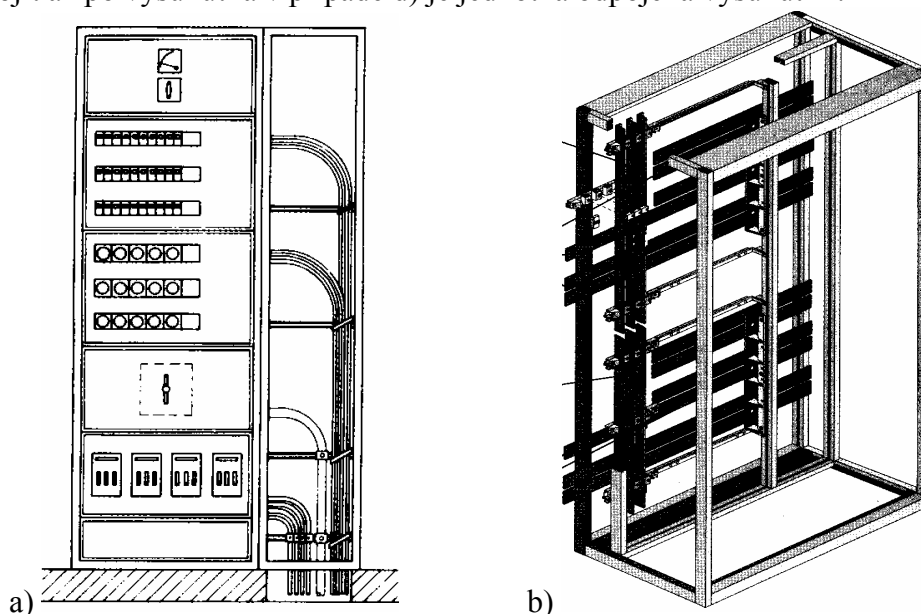
Obrázek 2.14: Přehledné rozdělení rozváděčů nn podle základních požadavků

Na **Obrázek 2.15** jsou vidět příklady stavebnicového skříňového rozváděče, kde v pohledech b), c), d) je vyznačen šrafovaním prostor přípojnic, který může být společný s další skříní (naznačena čárkovaně). V řezu polem a) s přívodním vypínačem je patrné vnitřní dělení prostoru rozváděče. Prostor přípojnic (2) je oddělen od prostoru vypínače i kabelového připojení přepážkou (1) zabraňující šíření elektrického oblouku z prostoru přípojnic na ostatní části rozváděče. Hlavní přípojnice (3) jsou tak odděleny od přípojnic odbočky (4), které vedou k vypínači (6) a dále do prostoru kabelového připojení (7). Zcela zvlášť je pak umístěna skříň měření a ochrany (5).



Obrázek 2.15: Různá provedení skříňových rozváděčů nn

V případech c) d) se jedná o skříně s odbočkami pro části rozvodu nn nebo pro jednotlivé spotřebiče. Kabelový prostor je v boční části skříně a jeho vnitřní uspořádání je patrné z **Obrázek 2.16**. Výzbroj skříní c) a d) je montována na výsuvných jednotkách, které v případě c) lze odpojit až po vysunutí a v případě d) je jednotka odpojena vysunutím.

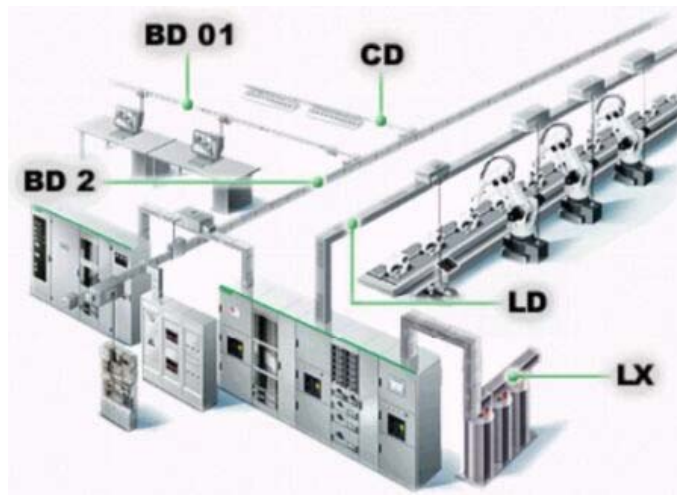


**Obrázek 2.16:** Vnitřní uspořádání skříniového rozváděče nn

Z **Obrázek 2.16 b)** je patrné uspořádání přípojníc v zadní části skříně, v tomto případě se jedná o dvojitý systém přípojníc, které jsou spojeny v levé části skříně s přípojnícemi odboček zajišťujícími přívod energie do jednotlivých přístrojů ve skříní rozváděče. V pravé části je pak umístěna sběrna pro připojení kabelových vývodů způsob jejich uspořádání je na **Obrázek 2.16 a)**. Stavebnicové skříniové rozváděče s výsuvnými jednotkami jsou v současné době nejčastěji používanými průmyslovými rozváděči nn.

**Zapouzdřené rozvodnice** – buď samostatné nebo tvořené stavebnicovou sestavou zapouzdřených skříněk obsahující přípojnice, spínací přístroje, pojistky nebo celé skupiny přístrojů. Jednotlivé skřínky jsou upevněny na společném rámu a navzájem jsou sešroubovány bočními stěnami k sobě. V bočních stěnách skříněk jsou zaslepené otvory, po jejichž odkrytí se jimi provede vzájemné elektrické propojení. Vzhledem k tomu, že minimální stupeň krytí je u těchto zapouzdřených rozváděčů IP 43 a jejich konstrukce je robustnější, než u jiných typů rozváděčů (skřínky mohou být litinové nebo plastové), jsou tyto rozváděče určeny pro montáž do nejtěžších prostředí (vlhké, agresivní, s možností mechanického poškození apod.).

**Přípojnicový rozvod** - je velmi výhodný v průmyslových provozech s velkým množstvím spotřebičů a častými změnami v technologii výroby, při nichž je zapotřebí měnit konfiguraci rozvodu elektrické energie. Přípojnicový rozvod je velmi variabilní a montáž vývodu je velmi jednoduchá a relativně rychlá. Celý systém je vyráběn pro různé druhy prostředí. Sestává ze skříniového rozváděče, na který jsou připojeny přípojnicové díly (přímé, úhlové nebo odbočné). Z těchto přípojnicových dílů jsou napájeny jednotlivé odbočky ke strojům, provedené obvykle kabelem nebo šňůrou. Přípojnicové díly mají různou zatížitelnost případně provedení, což je na **Obrázek 2.17** rozlišeno typovým označením jednotlivých dílů



**Obrázek 2.17:** Připojnicový rozvod

CD – koncové rozvody, BD01 – variabilní rozvody pro spotřebiče, BD02 – hlavní rozvody od rozváděče, LD – flexibilní rozvod pro velké příkony, LX – bezpečný rozvod energie od transformátoru k hlavnímu rozváděči.

### 2.4.2 Provedení rozvodných zařízení vn

Rozvodná zařízení pro vysoké napětí se budují jako:

- kobková (jedno nebo vícepodlažní), v nichž jsou jednotlivé odbočky od prostoru přípojníc a odbočky mezi sebou odděleny mezi stěnami
- skříňová, využívající skříňových rozváděčů

Jak kobky, tak i skříňové rozváděče lze v elektrické stanici rozmístit buď do jedné nebo do dvou řad tak, aby byly kobky i rozváděče přístupné z přední i zadní stany, nebo je možné kobky i rozváděče sestavit u stěny - viz obr. 124.

**Kobkové rozvodny** - dodnes velmi rozšířené pro svoji přehlednost a jednoduchou údržbu. Z hlediska šíření elektrického oblouku jsou chráněny dostatečně mezistěnami, které také chrání pracovníky při práci v sousední kobce před dotykem živých částí. Nevýhodami kobkových zařízení jsou větší obestavená plocha a menší ochrana před nebezpečným dotykovým napětím (požadavky na kvalifikovanější obsluhu). Vzhledem k otevřenému provedení kobek není možné umístit kobkovou rozvodnu přímo v místě spotřeby energie (prašnost, vlhkost). Kobková rozvodná zařízení jsou ideálním systémem v energetických stanicích kde jsou přenášeny velké výkony. Pro svoji relativně vysokou zkratovou odolnost jsou vhodné pro uzlové stanice. V současné době se kobkové rozvodny projektují jen výjimečně. Rozvodná zařízení vn jsou většinou továrně vyráběnými skříňovými rozváděči.

Kobkové rozvodny je možné rozdělit podle výškového rozčlenění na:

- jednopodlažní
- dvoupodlažní
- vícepodlažní

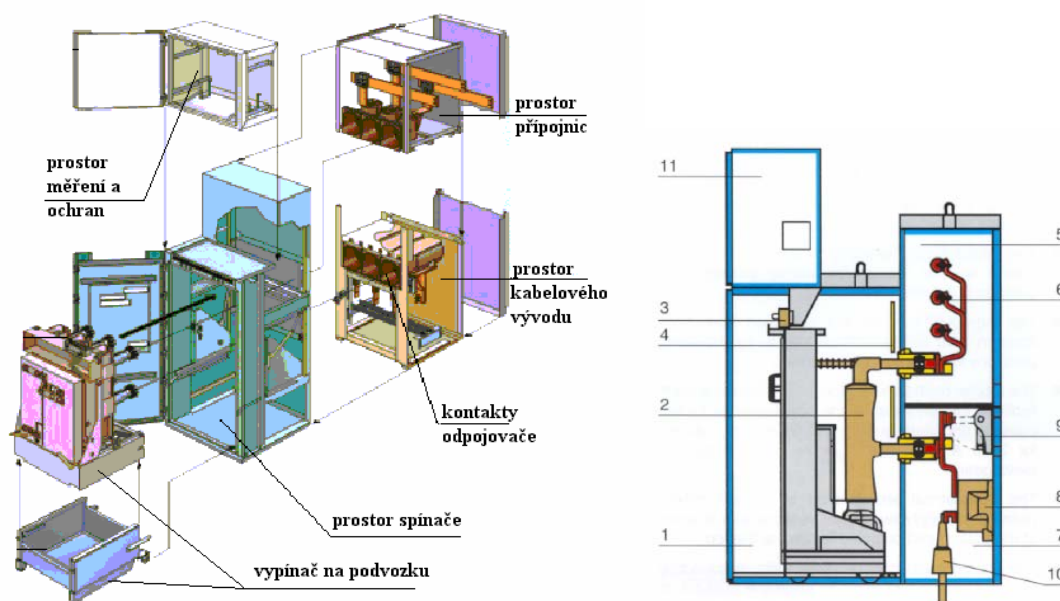
**Skříňové rozváděče vn** - byly vyvinuty z kobkových rozvodných zařízení vn na základě požadavku zmenšit rozměry rozvodného zařízení a současně chránit obsluhu kovově uzemněným krytem před nebezpečným dotykem. Díky tomu je možné umístit tato rozvodná zařízení přímo v centru spotřeby elektrické energie. Jsou tedy velmi vhodné do průmyslových rozveden, jednak z důvodu minimálních nákladů na stavební úpravy, z důvodů možnosti instalace do prostor relativně nečistých s obsluhou bez vyšší elektrotechnické kvalifikace a v neposlední řadě z důvodů možné kompletace už ve výrobním závodě do montážních celků. Původně byly vyráběny skříňové rozváděče vn v provedení, v němž byl



izolací živých částí pouze vzduch. Tyto rozváděče obsahovaly jeden nebo dva systémy přípojnic, odpojovače a zabudované vypínače, popřípadě provedení bez odpojovačů s výsuvnými vypínači. V tomto provedení byly skříňové rozváděče velmi rozměrné a postupně se od jejich výroby upustilo.

V současně vyráběných skříňových rozváděčích se používají izolované přípojnice a téměř výhradně provedení bez odpojovačů s výsuvnými spínacími prvky. Celý rozváděč je rozdělen na prostory, které jsou od sebe odděleny kovovými uzemněnými přepážkami:

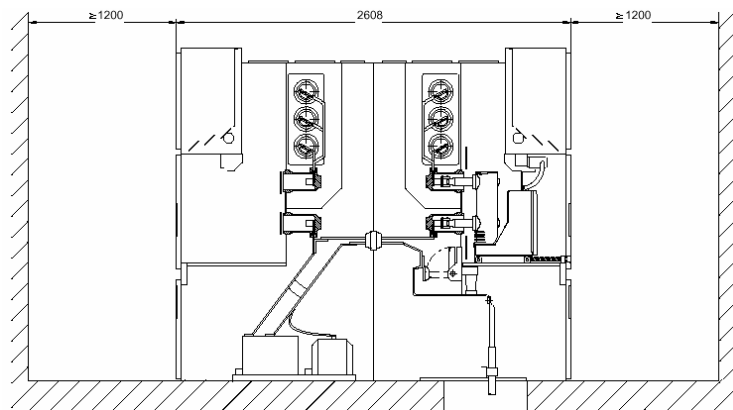
- prostor přípojnic - s přípojnicemi na izolačních držácích
- prostor spínače - s výsuvným vypínačem, odpínačem s pojistkami apod.
- prostor kabelového vývodu - kabelová koncovka, přístrojový transformátor proudu eventuálně i napětí
- prostor sekundární výzbroje - svorkovnice ovládacích a měřicích obvodů, měřicí přístroje, ochrany



**Obrázek 2.18:** Rozdělení prostoru skříňového rozváděče vn

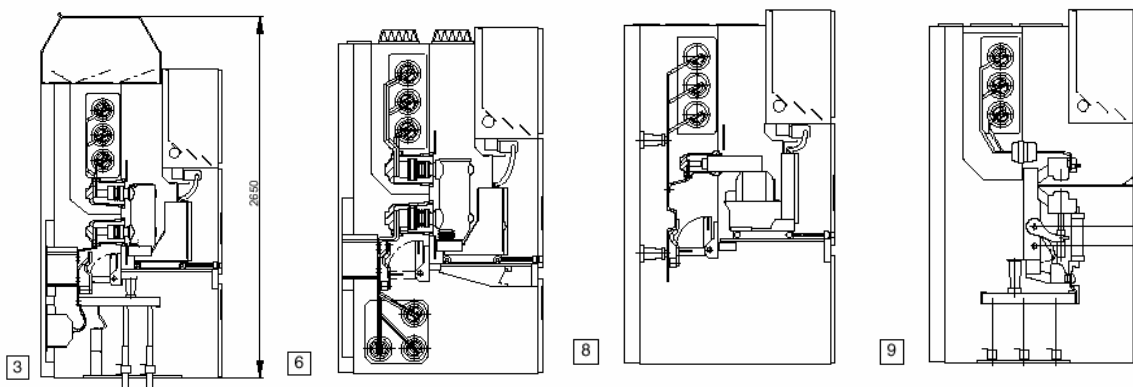
1- vypínací modul, 2- výsuvný podvozek s vypínačem, 3 – konektor pomocných obvodů, 4 – posuvné clony, 5 – přípojnicový modul, 6 – přípojnice, 7 – modul kabelového připojení, 8 – měnič proudu, 9 – zemní zkratovač, 10 – kabelová koncovka, 11 – skříňka nn

Pomocí skříňových rozváděčů je možné také realizovat schéma stanice se dvěma systémy přípojnic, jak je naznačeno na **Obrázek 2.19**. Vybavení odbočky je zcela duplicitní, jsou tedy použity dva výkonové vypínače na jednu odbočku. Odpojení od systému přípojnic se provádí vysunutím vypínače do revizní polohy. V duplexním zapojení lze realizovat i odbočky pomocné, například spínač přípojnic. Některé skříňové rozváděče jsou vybaveny přetlakovými klapkami nebo žaluziemi, které v případě vzniku elektrického oblouku v prostoru vypínače umožní vyrovnání přetlaku s okolím a zabrání poškození rozváděče. Skříňové rozváděče v duplexním spojení je možné k sobě postavit buď podle **Obrázek 2.19**, nebo čelem s tím, že mezi skříněmi vznikne manipulační chodba. Propojení skříní se pak provádí kanálem pod skříněmi. Stejně tak pod skříněmi je možné provést připojení většího počtu paralelních kabelů na odbočku z důvodů proudového dimenzování vývodu. Připojení přímo ve skříně je z důvodů omezeného prostoru velmi komplikované.



**Obrázek 2.19:** Duplexní uspořádání rozváděče – rozváděč se dvěma systémy přípojnic – uspořádání se dvěma vypínači

Na výsuvný podvozek skříňového rozváděče je možné kromě spínacích prvků, jako jsou výkonové vypínače či odpínače s pojistkami, montovat také samostatné pojistky, přístrojové transformátory napětí apod. Výrobci uvádějí v katalogích typová schémata jednotlivých výzbrojí odboček, z nichž projektant sestavuje rozvodny (ukázky na **Obrázek 2.20**).



**Obrázek 2.20:** Různá provedení odboček skříňových rozváděčů

3 - Vývod 12 kV, 1250 A, 40 kA s pevně připojenými měniči napětí, svodiči přepětí a kanálem pro odlehčení tlaku

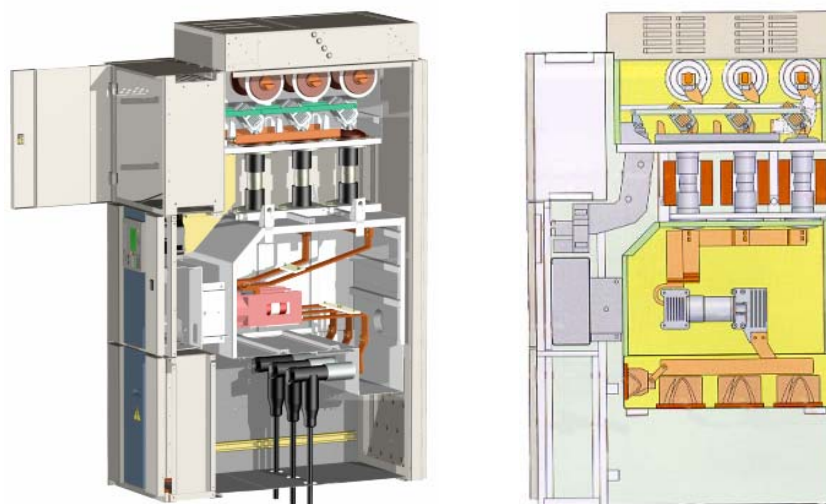
6 - Podélná spojka přípojnic 12 kV, 2500 A, 40 kA s uzemňovačem

8 - Měření na přípojnicích 12 kV, 40 kA s výsuvnou jednotkou měření a přípojnicovým uzemňovačem

9 - Vývod 12 kV, 630 A, s odpínačem a pojistkami

Ve skříňových rozváděčích se často používají zkratovače (uzemňovače) např. **Obrázek 2.20 6**. Jejich úkolem je bezpečně převést nedokonalý zkrat při případné poruše kterékoliv části rozváděče na zkrat kovový, na který již bezpečně reagují nadproudové nebo zkratové ochrany. Zkratovače musí mít zaručenou zapínací schopnost. Skříňové rozváděče jsou též v prostoru přípojnic a v prostoru vypínače osazovány čidly zábleskových ochrany, které při vzniku oblouku vybavují k vypnutí vypínač v přívodním poli. Stavebnicové uspořádání rozváděčů umožňuje dokonalou izolaci kontaktů spínacích prvků, které znemožňuje kontakt obsluhy se živými částmi.

Pro vyšší napětí a proudová zatížení jsou určeny plynem izolované rozváděče vn, kde jsou obvykle prostory přípojnic a spínačů těsně uzavřeny v kovových skříních vyplněných izolačním plynem SF<sub>6</sub>. Tyto rozváděče jsou náročnější na montáž, ale jejich provoz je velmi spolehlivý.



**Obrázek 2.21:** Plynem izolovaný rozváděč vn (Siemens)  
Žlutě vybarvené plochy v řezu polem rozváděče označují prostor s SF6

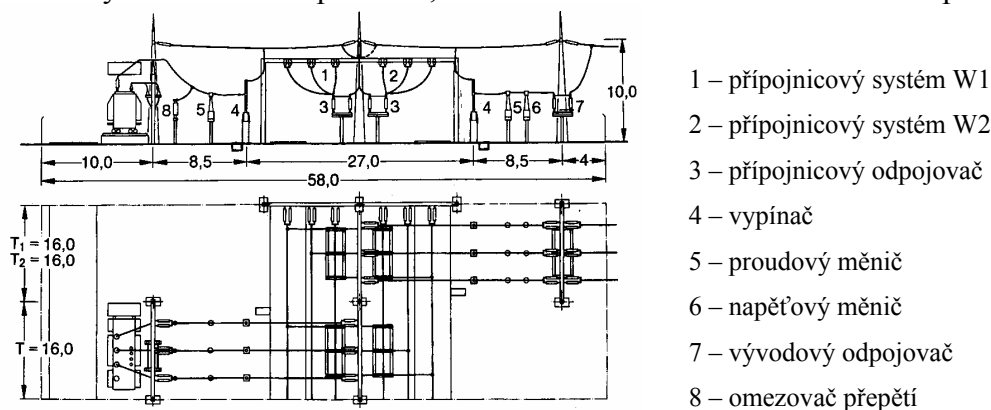
## 2.4.3 Provedení rozvodných zařízení vvn

### 2.4.3.1 Venkovní rozvodny vvn s přímými přípojnici

Zásadní řešení venkovních rozvodů s n systémy přípojníc je dáno uspořádáním přípojnicových odpojovačů. Z tohoto hlediska se rozlišují rozvodny:

#### - klasické

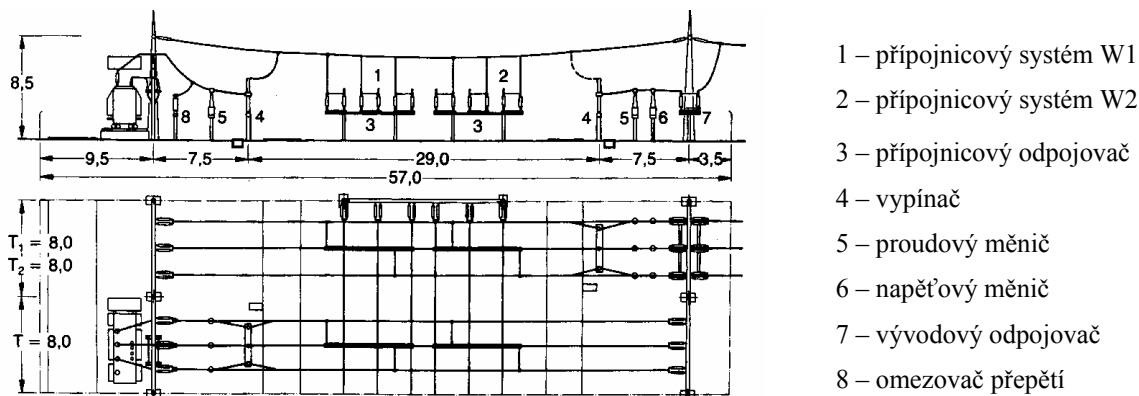
póly přípojnicových odpojovačů jsou vzájemně rovnoběžné a stojí kolmo na směr přípojníc. Přípojnice jsou ukotveny a přípojnicové portály. Klasické rozvodny vyžadují dále dva protilehlé portály, které probíhají podél celé rozvodny ve směru přípojníc. Tyto portály jsou značně vysoké, protože probíhají nad přípojnici a jsou na nich ukotveny propojovací vodiče v jednotlivých odbočkách. Na **Obrázek 2.22** je uveden příklad vvn rozvodny v klasickém uspořádání, kde má každá odbočka vlastní kotevní portál.



**Obrázek 2.22:** Venkovní rozvodna 220 kV v klasickém uspořádání

#### - tandemové

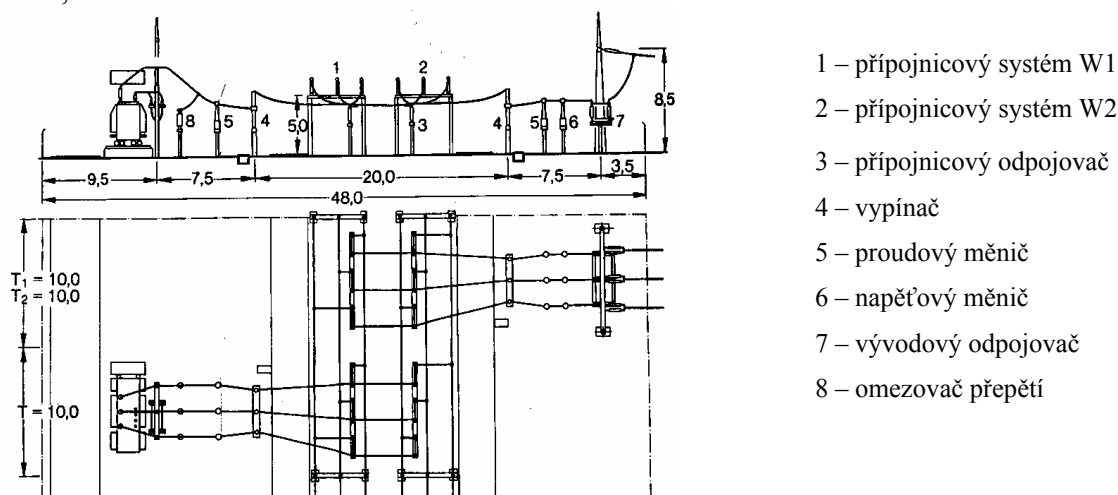
póly přípojnicových odpojovačů jsou v jedné řadě, řazené za sebou ve směru odbočky, kolmo na směr přípojníc **Obrázek 2.23**. Přípojnice z lan nebo trubek jsou umístěny přímo na pólech odpojovačů, takže nepotřebují přípojnicové portály. Toto řešení je tedy nižší než klasické, ale narůstá délka pole (srovnej s **Obrázek 2.22**, kde uvedená délka pole odbočky je srovnatelná s délkou klasického uspořádání pro dvojnásobné napětí)



Obrázek 2.23: Venkovní rozvodna 110 kV v tandemovém uspořádání

## - kýlové

póly přípojnicových odpojovačů jsou v jedné řadě, řazené za sebou ve směru přípojníc. Toto uspořádání umožňuje jednoduché spojení těchto odpojovačů s vypínači, šířka pole je větší, ale délka o něco menší.

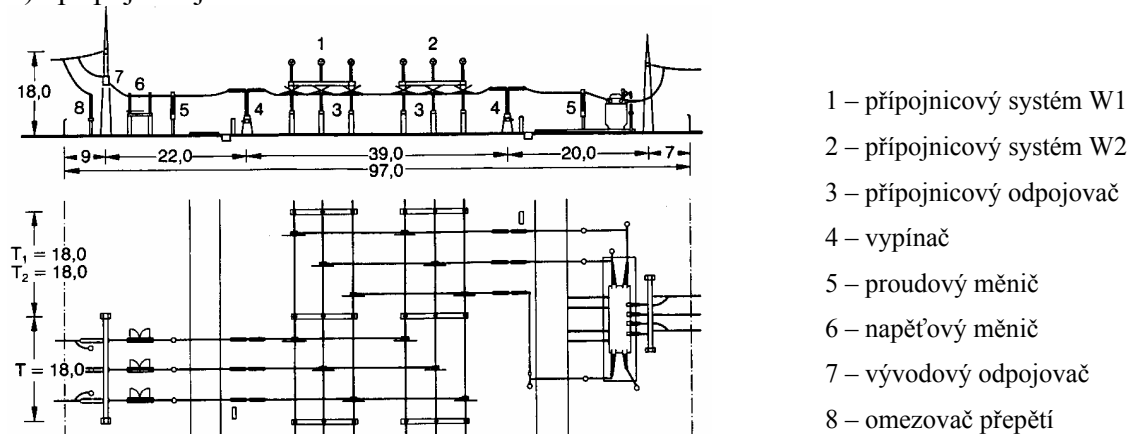


Obrázek 2.24: Venkovní rozvodna 110 kV v kýlovém uspořádání

## - diagonální

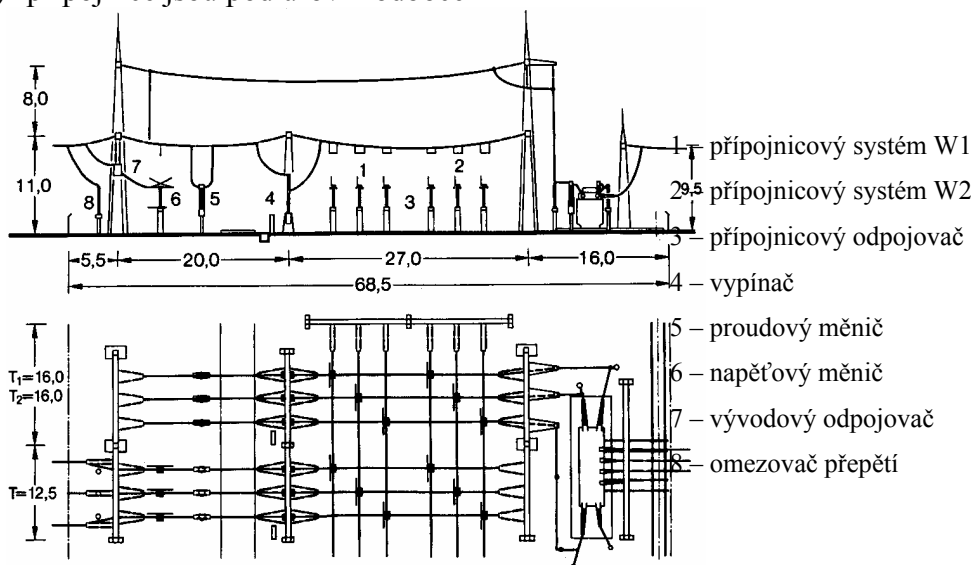
přípojnicové odpojovače jsou umístěny diagonálně v systému přípojníc. Toto uspořádání se používá pro 220kV a 400kV ve dvou verzích, které se liší umístěním přípojníc:

a) přípojnice jsou nad úrovní odboček



Obrázek 2.25: Venkovní rozvodna 400 kV s diagonálním uspořádáním přípojnicových odpojovačů

b) přípojnice jsou pod úrovní odboček



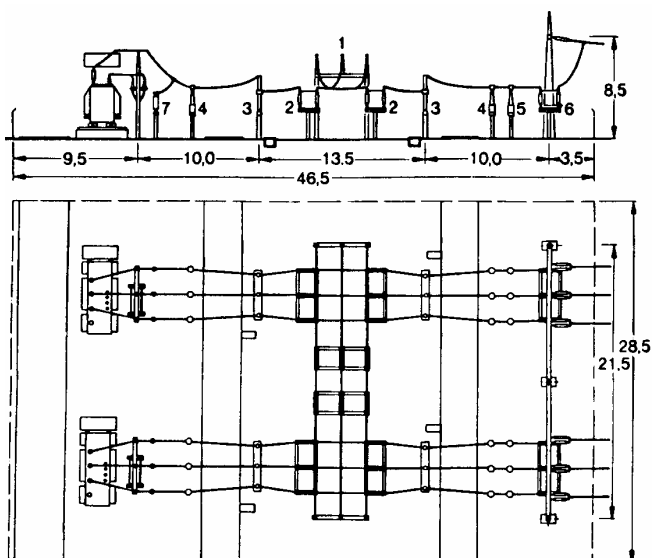
**Obrázek 2.26:** Venkovní rozvodna 220 kV s diagonálním uspořádáním přípojnicových odpojovačů

#### 2.4.3.2 Venkovní rozvodny vvn bez přípojnic

##### - H schéma

Uspořádání pro jednoduché napájecí rozvodny 110kV – dvě přívodní linky napájejí dva transformátory, mezi nimi je jednoduchá přípojnice podélně dělená, která umožňuje provozovat transformátory odděleně nebo společně, což zajišťuje spolehlivost dodávky. Přípojnice jsou děleny dvěma odpojovači v sérii, tak aby bylo provádět údržbu za provozu stanice.

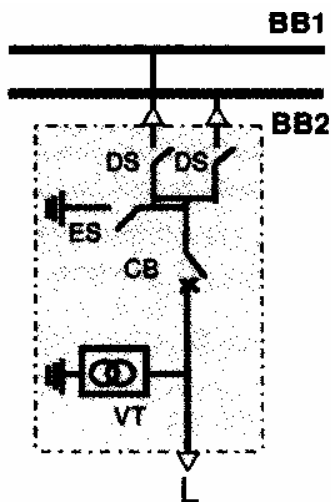
- 1 – přípojnicový systém
- 2 – přípojnicový odpojovač
- 3 – vypínač
- 4 – proudový měnič
- 5 – napěťový měnič
- 6 – vývodový odpojovač
- 7 – omezovač přepětí



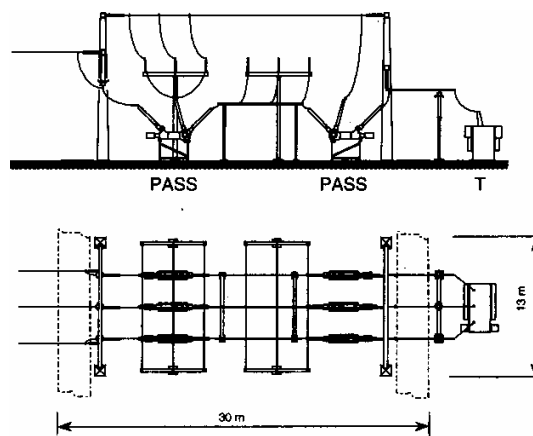
**Obrázek 2.27:** Venkovní rozvodna 110 kV s uspořádáním podle H- schématu

### 2.4.3.3 Hybridní rozvodny vvn

Jedná se o kombinaci zapouzdřených částí rozvodných zařízení izolovaných plynem SF<sub>6</sub> s částmi ve venkovním - vzduchem izolovaném provedení. V rozvodnách vvn jsou obvykle v zapouzdřeném provedení spínací přístroje (vypínače a odpojovače) a měniče, přičemž jsou navíc tato zařízení integrována ve společném pouzdře. Tím dochází jednak k úspoře prostoru a také ke zvýšení spolehlivosti prostřednictvím rychlé a jednoduché manipulace s jednotlivými částmi. Příkladem takové zapouzdřené jednotky je systém PASS vyráběný fy ABB viz. **Obrázek 2.28**. Jedná se jednotku která obsahuje vypínač (CB), dva přípojnicové odpojovače (DS) s uzemňovačem (ES) a kombinovaný měnič (VT). Stav přístrojů, izolačního média i snímačů jsou monitorovány systémem snímačů a přenášeny pomocí optických vodičů do řídicího systému. Na **Obrázek 2.29** je uspořádání dvou polí rozvodny 400 kV s dvojitým systémem přípojníc provedená pomocí spínacích jednotek PASS. Délka polí je 30m a jejich šířka jen 13m (srovnej s venkovním provedením rozvodny stejného napětí viz. **Obrázek 2.25**)



**Obrázek 2.28:** Spínací jednotka PASS pro hybridní provedení rozveden vvn. Ohraničená oblast ve schématu odpovídá zapouzdření



**Obrázek 2.29:** Hybridní provedení rozvodny s dvojitým systémem přípojníc pro napětí 400 kV

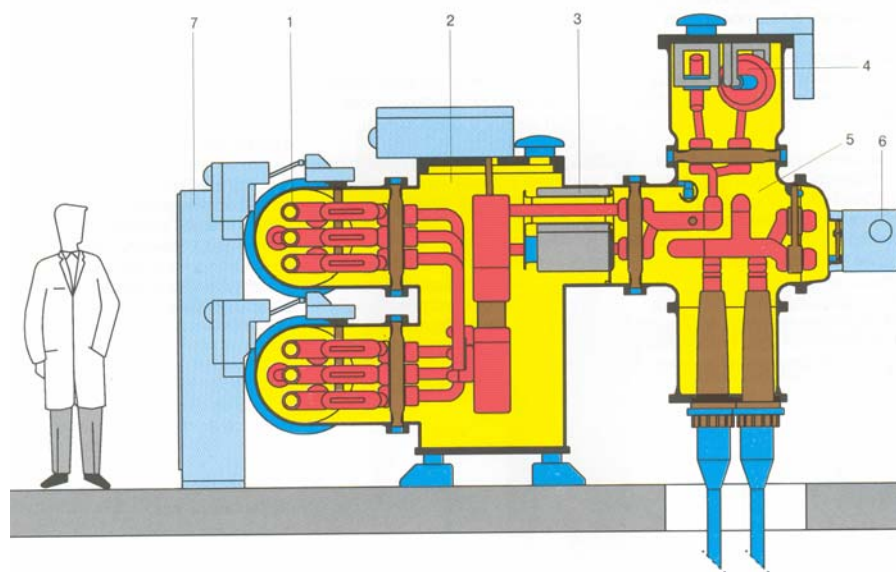
#### 2.4.3.4 Zapouzdřené rozvodny

Konstrukční provedení zapouzdřené rozvodny je charakterizováno tím, že jednotlivé části – přípojnice, odpojovače, uzemňovače i měniče jsou uzavřeny do samostatných pouzder, vytvářejících navzájem od sebe oddělené prostory, naplněné SF<sub>6</sub>. Zapouzdření je z tlustostěnných válcových rour. Materiálem je buď ocel nebo slitiny hliníku. Pozdra se plní plynem o tlaku 0,25 až 0,45 Mpa. Existují čtyři koncepce konstrukčního řešení zapouzdřených rozveden:

- úplné jednofázové zapouzdření
- smíšené provedení – jednofázově zapouzdřené přístroje a trojfázově zapouzdřené přípojnice
- úplné trojfázové zapouzdření

Rozvodna je řešena stavebnicově, z typizovaných prvků. To umožňuje sestavit různé dispoziční řešení všech typů odboček.

Technické vlastnosti zapouzdřených rozveden jsou po všech stránkách lepší než u klasických venkovních rozveden. To je však vykoupeno podstatně vyššími investičními náklady na tato zařízení. V náročných podmínkách silného průmyslového znečištění, nebo v omezeném prostoru jsou však často jediným řešením.



**Obrázek 2.30:** Řez vývodovým polem zapouzdřené rozvodny s dvojitým systémem přípojníc

1- přípojnice s kombinovaným odpojovačem a uzemňovačem, 2- výkonový vypínač, 3- měnič proudu, 4- měnič napětí, 5- kabelový vývod s kombinovaným odpojovačem a uzemňovačem, 6- rychluzemňovač, 7- řídicí skříň

### 2.4.3.5 Kompaktní multifunkční rozvodné jednotky pro venkovní prostředí

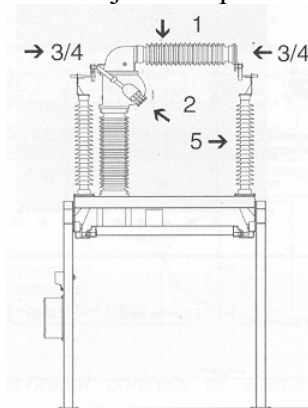
Inovace v zařízeních rozvodů vvn jsou zaměřeny na zlepšení monitorování a spolehlivosti a především k úspoře zastavěného prostoru. Používají se zde nekonvenční měniče proudu a napětí, jejichž signály jsou snímány optickými vodiči. Pro zmenšení prostoru dochází k integraci jednotlivých přístrojů do kompaktních jednotek, které lze jednoduchou manipulací demontovat a v krátkém čase vyměnit. Tyto jednotky vznikly integrací základních přístrojů s jednou funkcí (odpojovač, vypínač, uzemňovač atd.) v jeden celek. Tím došlo k podstatnému zmenšení vzdáleností vznikla i možnost provést rozvodny vvn menšího rozsahu jako vnitřní (bez toho, že by se jednalo o zapouzdřenou rozvodnu). Většina těchto jednotek je vybavena nekonvenčními měniči proudu a napětí, tzv. senzory, nebo senzory pro detekci stavu spínacích mechanismů nebo kvality izolačního média. Tím je vytvořen kvalitní monitorovací systém, jehož signály jsou obvykle přenášeny optickými vodiči a vyhodnocovány průběžně řídicím systémem rozvodny.

Kompaktní jednotky mají obvykle velmi podobné řešení a liší se jen výbavou a tím i použitelností z hlediska úrovně napětí nebo zatížení. Na **Obrázek 2.31** je uveden systém „Compass“ pro 110 kV, který obsahuje výkonový vypínač, měniče, svodič přepětí a odpojovače (přípojnicový i vývodový). Pohyblivou část jednotky tvoří vypínač (1) a proudový měnič (2) umístěné na kovovém rámu, který je vybaven pojezdem tak, aby mohla být vysunuta z pracovní polohy mimo pevné kontakty odpojovačů (na **Obrázek 2.32** je jednotka postupně ve všech třech pracovních polohách – tzn. provozní, odpojené a servisní).

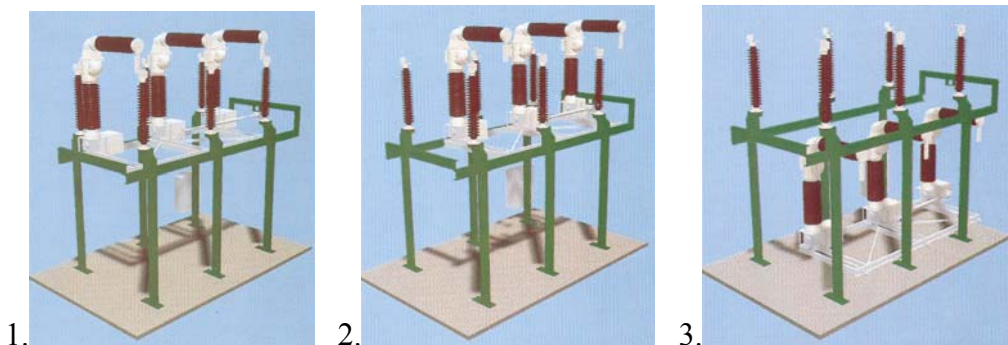
Podobný systém (LTB Compact) je na **Obrázek 2.33**. Ten se liší od uvedeného Compassu jen prostorovým řešením pojezdu pohyblivé části a poněkud jednodušší výbavou. Je také určen pro 110 kV. Pro napětí 400 kV a vyšší je určen systém HLP Compact **Obrázek 2.34**.

Pro ilustraci byla uvedena zařízení fy ABB, ale většina současných výrobců rozvodných zařízení sleduje v podstatě stejné trendy a jejich zařízení mají velmi podobné provedení.

- 1 – vypínač
- 2 – proudový měnič
- 3 – odpojovač
- 4 – uzemňovač (je-li požadován)
- 5 – svodič napětí



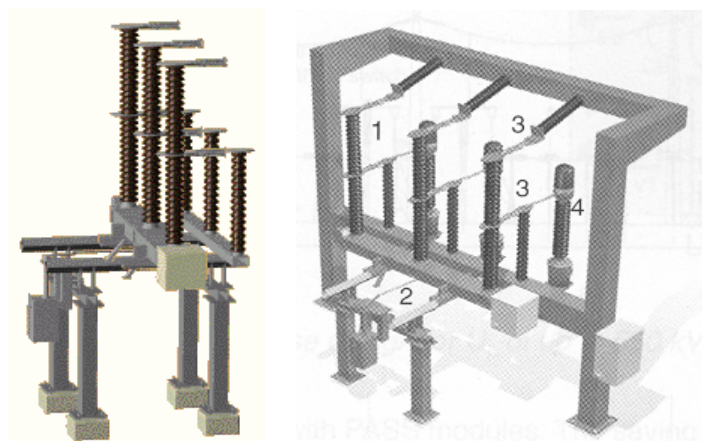
**Obrázek 2.31:** Systém „Compass“ (ABB) pro venkovní rozvodny 110 kV



**Obrázek 2.32:** Pracovní polohy spínací jednotky „Compass“

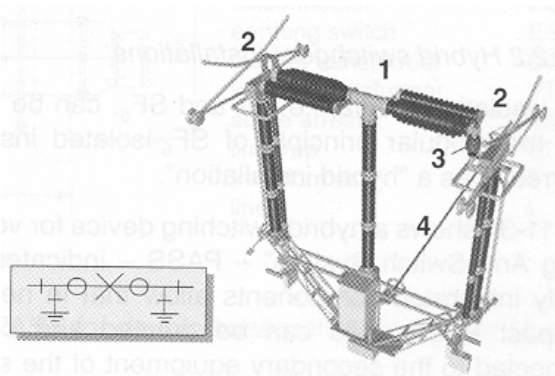
- 1. zapnuto – vypnuto, 2. odpojeno, 3. výměna modulu





- 1 – vypínač
- 2 – posuvná kolej vypínače
- 3 – kontakty odpojovače
- 4 – měnič proudu

Obrázek 2.33: Výsuvný kompaktní vypínač (LTB Compact – ABB) pro 110 kV



- 1 – vypínač
- 2 – pantografové odpojovače
- 3 – měnič proudu
- 4 – izolátor pro optický vodič

Obrázek 2.34: Kompaktní vypínací modul pro 400 kV (HPL Compact – ABB)

### 3 Výpočtové zatížení

Výpočtové zatížení a z něho určený výpočtový proud jsou základními veličinami potřebnými pro dimenzování (6) prvků rozvodného zařízení v normálních provozních stavech. Pro jeho stanovení je nezbytné znát instalovaný výkon spotřebičů  $P_i$  a způsob jejich provozu (tj. odběrový diagram  $P = P(t)$ ) nebo alespoň tzv. součinitel náročnosti  $\beta$ .

#### 3.1 Součinitel náročnosti

součinitel náročnosti  $\beta$  je definován vztahem

$$\beta = \frac{P_{\max}}{P_i} \leq 1 \quad (3.1)$$

kde  $P_i$  je instalovaný výkon všech spotřebičů objektu [W]

$P_{\max}$  je hodinové maximum odběru elektrické energie v období celého roku [W]

Pro stanovení součinitele náročnosti existuje řada metod, jejichž použití závisí na podkladech, které jsou k dispozici. Metody lze shrnout takto:

a) Stanovení  $\beta$  u stávajících objektů

Součinitel náročnosti se stanoví z výsledků měření ročního odběrového diagramu (ROD) a podle definice (3.1).

b) Stanovení  $\beta$  u nových objektů, u nichž je znám seznam hlavních spotřebičů a způsob jejich provozu.

Součinitel náročnosti lze stanovit

- sestrojením odběrového diagramu alespoň pro jednu směnu a pak podle definice ( 3.1 ) nebo
- ze vztahu:

$$\beta = \frac{k_s \cdot k_z}{\eta_m \cdot \eta_s} \quad (3.2)$$

kde  $k_s$  je součinitel současnosti, tj. poměr instalovaných výkonů spotřebičů, které jsou současně v chodu k instalovanému výkonu všech spotřebičů [-]  
 $k_z$  je součinitel využití, tj. poměr skutečného výkonu spotřebičů, které jsou současně v chodu k jejich instalovanému výkonu [-]  
 $\eta_m$  je účinnost spotřebičů při daném využití [-]  
 $\eta_s$  je účinnost napájecí soustavy od uvažovaného místa až ke spotřebičům [-]

Tedy:

$$k_s = \frac{P_{ip}}{P_i} \leq 1 \quad ; \quad k_z = \frac{P_{vp}}{P_{ip}} \leq 1 \quad (3.3)$$

kde  $P_{ip}$  instalovaný výkon spotřebičů, které jsou současně v chodu [W]  
 $P_{vp}$  skutečný výkon spotřebičů, které jsou současně v chodu [W]

- c) Stanovení  $\beta$  v případě, že nejsou známy spotřebiče nebo jejich provoz. Součinitel náročnosti lze v tomto případě stanovit
- odhadem na základě porovnání s existujícími podobnými objekty daného odvětví
  - využitím informativních hodnot z [ 17].

### 3.2 Výpočtové zatížení pro výrobní provoz, objekt nebo závod jako celek

Tohoto výpočtového zatížení se užije pro dimenzování napájecího zdroje, přívodu, rozvodny, počtu a velikosti napájecích transformátorů, případně rozváděčů a jejich napájecích vedení. Je dán výrazem:

$$P_p = P_i \cdot \beta \quad [W] \quad (3.4)$$

kde  $\beta$  je součinitel náročnosti objektu jako celku [-]  
 $P_i$  je celkový instalovaný výkon spotřebičů objektu [W]

### 3.3 Výpočtové zatížení pro jednu skupinu spotřebičů

Použije se pro dimenzování rozváděče, z něhož je daná skupina napájena a přívodu k rozvaděči. Vypočte se buď podle vztahu (1.4), v němž  $P_i$  a  $\beta$  se zde týkají dané skupiny nebo ze vztahu (dvojlenný vzorec):

$$P_p = a \cdot P_x + b \cdot P_i \quad [W] \quad (3.5)$$

kde  $P_x$  je součet  $x$  největších spotřebičů charakterizujících danou skupinu [W]  
 $P_i$  je instalovaný výkon všech spotřebičů [W]  
 $a, b$  jsou součinitelé náročnosti pro skupinu [-]

Hodnoty  $a, b, x$  jsou uvedeny pro některé skupiny spotřebičů v [ 17].

### 3.4 Výpočtové zatížení několika skupin spotřebičů

Jestliže z jednoho rozváděče je napájeno několik samostatných skupin spotřebičů (Obrázek 3.2), pak pro dimenzování tohoto rozváděče a přívodu k němu lze použít výpočtového výkonu stanoveného takto:

Jestliže pro jednotlivé skupiny platí

$$P_{pj} = (a.P_x)_j + (b.P_i)_j \quad j = 1, 2, \dots, k \quad [\text{W}] \quad (3.6)$$

kde  $P_{jp}$  je výpočtové zatížení  $j$ -té skupiny spotřebičů [W]

$k$  je počet skupin [-]

potom celkový výpočtový výkon je dán vztahem

$$P_p = \max_{j=1, \dots, k} (a.P_x)_j + \sum_{j=1}^k (b.P_i)_j \quad [\text{W}] \quad (3.7)$$

### 3.5 Výpočtové zatížení pro jeden spotřebič

Tohoto výpočtového zatížení se použije pro dimenzování přívodu ke spotřebiči. Jeho stanovení je různé podle toho, je-li spotřebič určen pro trvalý provoz nebo provoz s cykly.

Je-li spotřebič určen pro trvalý provoz, je

$$P_p = \frac{P_n}{\eta} = P \quad [\text{W}] \quad (3.8)$$

kde  $P_n$  je jmenovitý instalovaný výkon spotřebiče [W]

$\eta$  je účinnost spotřebiče [-]

Výpočtovým výkonem je zde tedy jmenovitý příkon  $P$ .

Je-li spotřebič určen pro přerušovaný nebo krátkodobý chod nebo zatížení postupuje se při určování výpočtového výkonu individuálně, případ od případu. Jsou možné tyto způsoby:

$$P_p = P(t) \quad \text{nebo} \quad I_p = I(t)$$

tj. udá se časový průběh příkonu  $P(t)$  (nebo lépe proudu  $I(t)$ ), nejčastěji pomocí zatěžovatelů a poměrů příkonů (proudů) v jednotlivých časových intervalech k maximálnímu příkonu (proudu). Nebo:

$$P_p = P_{stálé} \leq P_n \quad \text{nebo} \quad I_p = I_{stálé} \quad (3.9)$$

kde  $P_{stálé}$  ( $I_{stálé}$ ) je stálý příkon (proud) stanovený početně nebo graficky, který způsobí stejné maximální oteplení vodiče přívodu jako skutečný průběh příkonu (proudu) [W] ([A]).

Kromě časového průběhu vyžaduje tento způsob uvažovat i časové oteplovací konstanty vodičů. Někdy je možné uvažovat:

$$P_p = P'_{stálé} \leq P_n \quad \text{nebo} \quad I_p = I'_{stálé} \quad (3.10)$$

kde  $P'_{stálé}$  ( $I'_{stálé}$ ) je stálý příkon (proud), kterým se vyvine v zařízení (vodiči přívodu) stejné množství tepla jako skutečným průběhem [W] ([A]). Tj.:

$$I'_{stálé} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt} \quad \text{nebo} \quad \text{při} \quad \cos \varphi = \text{konst.} \quad P'_{stálé} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2(t) dt}$$

Je třeba zdůraznit, že výpočtové zatížení stanovené podle ( 3.9 ) a ( 3.10 ) lze užít jen pro dimenzování z hlediska dovolené provozní teploty, nikoliv například pro úbytek napětí.

### 3.6 Výpočtový proud

Stanoví se z výpočtového zatížení  $P_p$  určeného podle předchozích kapitol. Pro trojfázový spotřebič je:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi} \quad [\text{A}] \quad (3.11)$$

kde  $\cos \varphi$  je účinnost v okamžiku maxima odběru, a to v místě, kde teče počítaný proud (vodiče a kabely rozvodu, přípojnice aj.) [-].

$U_s$  je jmenovité sdružené napětí spotřebiče [V]

Je určen jednou ze dvou skutečností - požadavkem na kompenzaci účinníku nebo vlastnostmi samotných spotřebičů - to podle místa kompenzace. V prvním případě je to hodnota volená, v druhém případě je třeba ji obecně stanovit z výpočtového činného příkonu  $P_p$  a jalového příkonu  $Q_p$ . Předpokládá-li se, že průběh  $Q(t)$  se příliš neliší od průběhu  $P(t)$  tj. že maximum  $Q$  nastane při maximu  $P$ , lze pro stanovení  $Q_p$  objektu jako celku nebo skupin spotřebičů použít obdobných vztahů jako v předchozích kapitolách se stejnými součiniteli náročnosti. Pro odhad účinníku lze též použít středních hodnot  $\cos \varphi$  uvedených pro jednotlivá odvětví a skupiny spotřebičů v [ 17].

### 3.7 Instalovaný výkon transformátorů závodní transformovny

Instalovaný výkon závodní trafostanice, tj. instalovaný výkon transformátorů se stanoví ze vztahu:

$$S_T = \frac{P_p}{\gamma \cdot \cos \varphi} \quad [\text{VA}] \quad (3.12)$$

kde  $P_p$  je výpočtový výkon odebíraný ze stanice [W]

$\cos \varphi$  je střední účinnost výkonu jdoucího transformátory [-]. O jeho určení platí 3.6.

$\gamma$  je koeficient využití transformátoru - volí se s ohledem na budoucí rozšiřování a možné výpadky 0,5 – 0,8 [-].

Na základě stanoveného výkonu stanice  $S_T$  se stanoví jednotková velikost  $S_{ni}$  a počet transformátorů  $n$  tak, aby bylo vyhověno nerovnosti:

$$\sum_{i=1}^n S_{ni} \geq S_T \quad (3.13)$$

nebo v případě volby stejných jednotek, což je nejčastější způsob, nerovnosti:

$$n \cdot S_n \geq S_T \quad (3.14)$$

kde  $S_n$  je jmenovitý výkon jednoho transformátoru [VA]

$n$  je počet transformátorů

Volí se raději menší počet větších transformátorů, minimální počet je však dán maximálním použitelným (vyráběným) jednotkovým výkonem, požadovaným stupněm zabezpečení dodávky a též vlastnostmi technologického zařízení. Spotřebiče s různými vlastnostmi je vždy snaha od sebe co nejvíce elektricky vzdálit v zájmu zamezení vzájemného ovlivňování - napájí se proto přes samostatné transformátory. Dodávky 1. a 2. stupně vyžadují vytvoření zálohy - při výpadku jednoho transformátoru musí ostatní převzít jeho zatížení.

Zapojení transformátorů je možné v zásadě provést dvěma způsoby - **Obrázek 3.3**. V prvním případě, kdy není předem určen rezervní stroj, pracuje v normálních provozních stavech  $n$  strojů, při poruše  $(n-1)$  strojů. Vzniká zde požadavek paralelní práce. V druhém případě je předem vyčleněn rezervní stroj, ve všech stavech pracuje  $(n-1)$  strojů, paralelní práce není nutná.

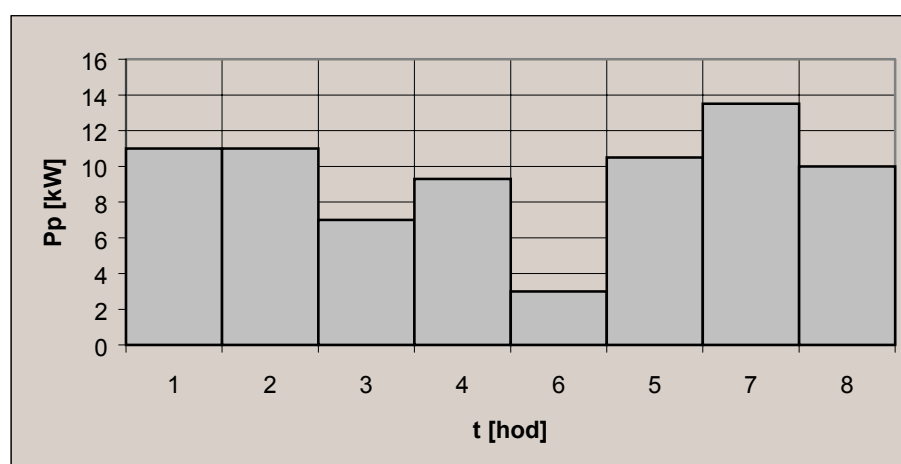
Skutečné využití navržených transformátorů lze zjistit ze vztahu:

$$\gamma_s = \frac{P_p}{n_p \cdot S_n \cdot \cos \varphi} \quad (3.15)$$

kde  $n_p$  je počet pracujících transformátorů.

Toto využití by v normálních i poruchových provozních stavech nemělo být větší, než je dovolená přetížitelnost jednotek. Návrh počtu a velikosti jednotek i způsobu jejich zapojení by měl být proveden ve více variantách.

**Příklad 3.1:** V objektu závodu je instalováno 5 spotřebičů o  $P_{i1} = 2 \text{ kW}$ ,  $P_{i2} = 2 \text{ kW}$ ,  $P_{i3} = 4 \text{ kW}$ ,  $P_{i4} = 5 \text{ kW}$ ,  $P_{i5} = 8 \text{ kW}$ . Tyto spotřebiče mají v jednotlivých hodinách směny příkon podle Obrázek 3.1. Předpokládá se, že průběh všech směn je během celého roku stejný. Stanovte součinitel náročnosti  $\beta$  tohoto objektu.



Obrázek 3.1: Průběh zatížení ( $P_p$ ) během jedné pracovní směny

Řešení provedeme pomocí **Tabulka 3.1**

**Tabulka 3.1:** Průběh příkonu jednotlivých spotřebičů a ukazatelé provozu ( $k_s$  a  $k_z$ )

j	1	2	3	4	5	$\Sigma P_i$	$P_{ip}$	$P_p$	$k_s$	$k_z/\eta_m \cdot \eta_s$
$P_i$ [kW]	2	2	4	5	8	kW	kW	kW		
$P_{j1}$ [kW]	0	0	4	1	6	21	17	11	0,80952	0,647059
$P_{j2}$ [kW]	0	1	4	0	6	21	14	11	0,66667	0,785714
$P_{j3}$ [kW]	2	1	0	0	4	21	12	7	0,57143	0,583333
$P_{j4}$ [kW]	1,8	0	0	4,5	3	21	15	9,3	0,71429	0,62
$P_{j5}$ [kW]	1	0	0	0	2	21	10	3	0,47619	0,3
$P_{j6}$ [kW]	0	1,5	2	0	7	21	14	10,5	0,66667	0,75
$P_{j7}$ [kW]	0,5	1,5	0	4,5	7	21	17	13,5	0,80952	0,794118
$P_{j8}$ [kW]	0,5	0	3,5	0	6	21	14	10	0,66667	0,714286

Příklad výpočtu v prvním řádku tabulky:

$$\sum P_i = 2 + 2 + 4 + 5 + 8 = 21 \text{ kW}$$

$$P_{ip} = \sum_j (P_i)_{j1} = 4 + 5 + 8 = 17 \text{ kW}$$

$$P_p = \sum_j P_j = 0 + 0 + 4 + 1 + 6 = 11 \text{ kW}$$

$$k_s = \frac{P_{ip}}{P_i} = \frac{17}{21} = 0,80952$$

$$k_z = \frac{P_p \cdot \eta_s \cdot \eta_m}{P_{ip}} \Rightarrow \frac{k_z}{\eta_s \cdot \eta_m} = \frac{P_p}{P_{ip}} = \frac{11}{17} = 0,647059$$

$$\beta = \frac{k_s \cdot k_z}{\eta_s \cdot \eta_m} = 0,80952 \cdot 0,794118 = 0,6423$$

$$\beta = \frac{P_{p \max}}{P_i} = \frac{13,5}{21} = 0,6428$$

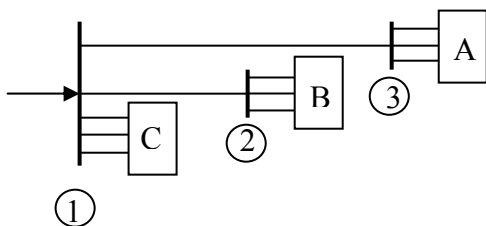
**Příklad 3.2:** Závod automobilového průmyslu má celkový instalovaný výkon 7,5 MW. Je napájen ze sítě 22 kV. Stanovte výpočtové zatížení na vn straně vstupní trafostanice.

Hodnotu  $\beta$  určíme z tabulky 14 v [ 17]:  $\beta = 0,15 - 0,72$ , střední hodnota  $0,24 \cos \varphi = 0,64$ . Předpokládá se kompenzace v podružných stanicích na  $\cos \varphi_k = 0,96$ .

$$P_p = \beta \cdot P_i = 0,24 \cdot 7,5 = 1,8 \text{ MW}$$

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi_k} = \frac{1,8}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 0,95} = 49,72 \text{ A} \quad \text{- podle ( 3.4 ) a ( 3.11 )}$$

**Příklad 3.3:** Pro uzly rozvodné soustavy 1, 2, 3 (podle obrázku) z nichž jsou napájeny skupiny spotřebičů A, B, C stanovte výpočtové zatížení.



Charakteristika skupin:

**A** – pohony 12 strojů pro opracování kovu za tepla ( $n=12$ )

**B** – 2 jeřáby ve válcovně, každý s  $P_i = 12$  kW ( $n=2$ )

**C** – 3 automatické ohřívací pece, každá s  $P_i = 20$  kW ( $n=3$ )

**Obrázek 3.2:** Uspořádání rozvodné soustavy

Výpočtové zatížení skupiny spotřebičů:

$$P_p = a \cdot P_x + b \cdot P_n \quad \text{podle ( 3.5 )}$$

Hodnoty  $a, b, x$  jsou odečteny z [ 17 ] a jsou pro zadané skupiny uvedeny v tabulce:

skupina	$a$	$b$	$x$	$n$	$P_i$ /stroj [kW]	$P_i$ [kW]	$P_x$ [kW]	$a \cdot P_x$ [kW]	$b P_i$ [kW]	$P_p$ [kW]
A	0,5	0,26	5	12	5	60	25	12,5	15,6	28,1
B	0,3	0,18	3	2	12	24	24	7,2	4,32	11,52
C	0,3	0,5	2	3	20	60	40	12,0	30	42,0

$$P_{p1} = (P_p)_A = (a \cdot P_x)_A + (b \cdot P_n)_A = 0,5 \cdot 5 \cdot 5 + 0,26 \cdot 12 \cdot 5 = 28,1 \text{ kW}$$

$$P_{p2} = (P_p)_B = (a \cdot P_x)_B + (b \cdot P_n)_B = 0,3 \cdot 2 \cdot 2 + 0,18 \cdot 2 \cdot 12 = 11,52 \text{ kW} \quad \text{- podle ( 3.6 )}$$

Celkové výpočtové zatížení  $n$  charakteristických skupin spotřebičů – podle ( 3.7 )

$$P_{p3} = \sum_n P_p = \max(a \cdot P_x)_n + \sum_n (b \cdot P_i)_n = \max(12,5; 7,2; 12) + 15,6 + 4,32 + 30 = 62,42 \text{ kW}$$

Pro stanovení účinníku v bodě 3 je nutné stanovit  $Q_{p3}$ . Stejným postupem jako pro výpočet  $P_{p3}$ , avšak místo výkonů činných se dosazují výkony jalové, který se určí na základě střední hodnoty účinníku dané skupiny.

**Příklad 3.4:** Stanovte instalovaný výkon a počet transformátorů průmyslové transformovny 22/0,4 kV pro závod automobilového průmyslu podle příkladu 2. Předpokládáme kompenzaci účinníku na  $\cos \varphi = 0,95$  v podružných stanicích, tj. na nn straně. Závod je zařazen do 2. stupně zabezpečení dodávky.

Celkový instalovaný výkon:

$$S_T = \frac{P_p}{\gamma \cdot \cos \varphi} = \frac{1,8}{0,75 \cdot 0,95} = 2,53 \text{ MW} \text{ podle ( 3.12 )}$$

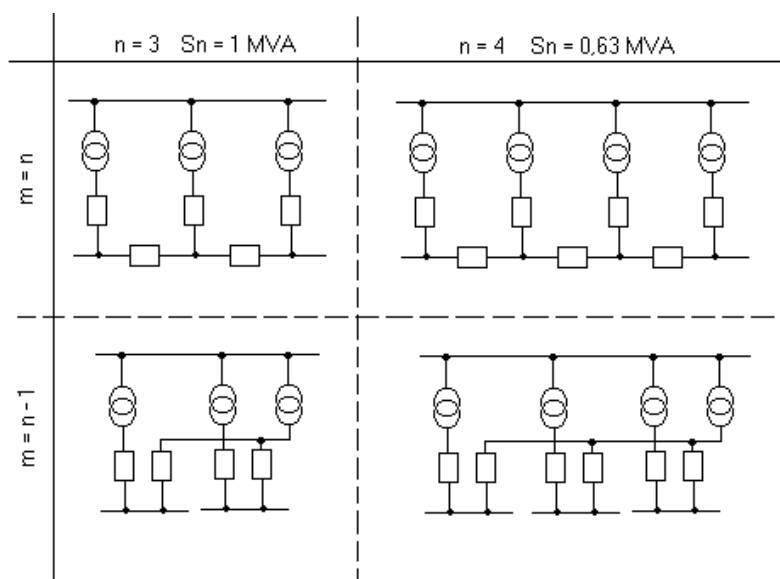
**Tabulka 3.2:** Štítkové hodnoty transformátorů v navrhovaných variantách

<b>n</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
$S_n$ [MVA]	1,6	1	0,63
$\Delta P_k$ [kW]	22,3	15,6	11,1
$\Delta P_o$ [kW]	2,55	1,85	1,36
$i_o$ [%]	0,75	0,95	1,2
$u_k$ [%]	6	6	6
typ	aTO412/22	aTO392/22	aTO372/22
$\gamma_s$	0,592	0,631	0,752
$\gamma_p$	1,184	0,947	1,00

Využití transformátorů:

- jsou-li všechny v provozu -  $\gamma_s = \frac{P_p}{n \cdot S_n \cdot \cos \varphi} = \frac{1,8}{2 \cdot 1,6 \cdot 0,95} = 0,592$
- je-li jeden v poruše -  $\gamma_p = \frac{P_p}{(n-1) \cdot S_n \cdot \cos \varphi} = \frac{1,8}{1 \cdot 1,6 \cdot 0,95} = 1,184$

Varianta s  $n = 2$  má  $\gamma_p > 1$ , tzn. při poruše jednoho trafo je druhý stroj přetížen. Není zajištěna vzájemná záloha a nelze ji tedy použít jako zdroj se stupněm zabezpečení 2. Pro další posouzení lze tedy uvažovat pouze zbývající dvě varianty. Kritériem pro výběr vhodné varianty jsou provozní a investiční náklady a zkratové poměry na straně nn. Určení těchto hodnot je však nad rámec tohoto předmětu a proto není uvedeno.



**Obrázek 3.3:** Varianty počtu transformátorů a jejich zapojení v závodní trafostanici

## 4 Silové kabely

### 4.1 Materiál a konstrukce jader silových kabelů

#### 4.1.1 Měď

Základní vlastnosti mědi pro elektrotechnické účely, tzv. elektrovodné mědi, je elektrická vodivost, která je závislá na její chemické čistotě. Všechny nečistoty i přísady snižují její vodivost, největší vliv mají přísady železa, fosforu a křemíku (již obvyklý obsah 0,004% Fe snižuje měrnou vodivost o  $1,32 \cdot 10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$  ( $1,32 \text{ S}\cdot\text{m}/\text{mm}^2$ )).

K jednotnému posuzování elektrovodné mědi v obchodě zavedla Mezinárodní elektrotechnická komise IEC již v r. 1913 pojem "standardní vyžíhaná měď" (též vzorná vyžíhaná měď), jehož používání u nás je zavedeno normou **ČSN IEC 28 (32 0210) Mezinárodní norma odporu mědi**.

Normálními hodnotami pro standardní vyžíhanou měď jsou:

- Objemová rezistivita při 20°C je  $\rho_{20} = 1/58 = 0,017\,241\,10 \text{ }\Omega\cdot\text{m}^2/\mu\text{m}$ .
- Hustota při 20°C je  $\gamma_{20} = 9 \cdot 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$
- Teplotní součinitel odporu při 20°C je  $\alpha_{20} = 0,00393 = 1/254,45^\circ\text{C}^{-1}$

U nás platí pro vlastnosti elektrovodné mědi **ČSN 42 3001 Měď elektrovodná Cu 99,9 E** (platná od 1. 6. 1991). Ta podle mechanických vlastností, které závisí na způsobu zpracování, rozeznává tři stavy, jejichž vlastnosti se liší, jak je zřejmé z tabulky.

**Tabulka 4.1:** Vlastnosti elektrovodné mědi

Stav		měkká	polotvrdá	tvrdá
Minim. konduktivita	$10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$	57	56,5	56
Maxim. rezistivita	$10^{-6} \Omega\cdot\text{m}$	0,01754	0,01769	0,01786
Minim. pevnost v tahu	MPa	240 - 190	300 - 250	400 - 300

#### 4.1.2 Hliník

Hliník je vedle mědi nejdůležitějším elektrovodným materiálem. Vyrábí se téměř výhradně z bauxitu, což je hornina kolísavého složení, jejíž podstatnou složkou je kysličník hlinitý  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Podobně jako měď, i hliník tvářením za studena tvrdne a žíháním nabývá původní vlastnosti.

U nás jsou vlastnosti elektrovodného hliníku stanoveny **ČSN 42 4004 Hliník tvářený 42 4004 pro elektrotechniku Al 99,5** (od 1. 5. 1979) v závislosti na zpracování, jak je uvedeno v následující tabulce.

**Tabulka 4.2:** Vlastnosti hliníku

Stav		měkký	polotvrký	tvrdý
Minim. konduktivita	$10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$	34 - 35	33 - 34	32 - 33
Maxim. rezistivita	$10^{-6} \Omega\cdot\text{m}$	0,02899	0,02985	0,03077
Minim. pevnost v tahu	MPa	240 - 190	300 - 250	400 - 300

Teplotní součinitel odporu je o něco vyšší než u mědi, ČSN 38 1754 uvádí hodnotu  $0,00438 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . I zde se hodnoty v různých pramenech poněkud liší. Rovněž u hliníku příměsi zhoršují vodivost, proto se vyžaduje čistota nejméně 99,5%.



Z porovnání technických vlastností vodičů z Cu a Al o stejné vodivosti vyplývají tyto závěry:

- a) Z poměru vodivosti Cu : Al = 56/34 = 1,64 vyplývá průřez vodiče Al o 64% větší než Cu.
- b) Hmotnost vodiče Al je jen 1,64 · 2,70/8,89, tj. asi 50% hmotnosti vodiče Cu. Proto je možné zvýšení přenosové schopnosti vedení výměnou Cu vodičů za Al, aniž se zvýší namáhání stožárů.
- c) Pevnost v tahu je u Al vodičů průměrně 70% pevnosti Cu vodičů ve stejném stavu (měkký, tvrdý).

Hliníkové vodiče mají některé nepříznivé vlastnosti, na které je třeba při jejich používání brát ohled:

- a) Povrchová vrstva kysličníku zvyšuje přechodový odpor v místě spojů. Proto je třeba vodiče před připojením na svorky řádně očistit nebo použít svorky, které svými bříty kysličník rozruší. Při spojování pájením je třeba používat zvláštní tavidla a pájku s obsahem zinku. Zbytky tavidla se musí dokonale odstranit, aby nepůsobily korozi spoje.
- b) Ve spojích vodičů Cu s Al tam, kde jsou vystaveny vlhku, dochází k elektrolytickému rozkladu. Vzniká galvanický článek, ve kterém Al tvoří zápornou elektrodu, která se rozkládá. Tomu se zabraňuje použitím ocelových pozinkovaných svorek, kde rozklad nenastává, nebo vložením podložek z plátovaného plechu Cu - Al mezi oba kovy.
- c) Pevnost hliníku je menší, lehce se deformuje, vytahuje a láme. Při rozvinování vodičů je třeba zabránit vícenásobným ohybům a tvoření smyček. Vodiče se při odizolování nesmějí naříznout, jinak hrozí jejich ulomení.
- d) Teplotní roztažnost Al je větší, než Cu a Fe. Při větších proudech se následkem střídavého ohřívání uvolňuje tlak ve svorkách. Tomu přispívá i tzv. tečení za studena, při kterém se vodič deformuje působením kontaktního tlaku. Proto je třeba šroubové spoje opakovaně dotahovat a používat pérové podložky.

#### 4.1.3 Konstrukce jader

Jádra vodičů mohou být zhotovena dvojím způsobem:

1. Jádra **plná** jsou tvořena jediným vodičem.
2. Jádra **složená** jsou tvořena lanem, tedy větším počtem slaněných drátů.

Hlavním rozdílem ve vlastnostech plných jader a lan je ohebnost. Zatímco na vnitřní straně ohybu dochází k namáhání tlakem a zkracování jádra, na vnější straně se jádro namáhá tahem a prodlužuje se. U plného vodiče musí dojít k deformaci materiálu silou úměrnou jeho pevnosti. U lana, kde dráty mění svou polohu a může docházet k jejich vzájemnému posunu, je ohýbání značně ulehčeno.

Při lanování se kolem středu lana, který je obvykle tvořen jedním drátem, stáčí do šroubovice další dráty tak, aby se dosáhlo potřebného průřezu. jednotlivé dráty vytvářejí soustředné vrstvy, které se nazývají polohy. Smysl stáčení poloh se střídá, aby při působení podélného tahu lano nemělo sklon k rozplétání. Dráty v polohách vzdálenějších od středu mají větší vliv na ohebnost lana, proto se délka zkrutu - stoupání šroubovice - postupně zkracuje. Směr zkrutu se považuje za pravý, jestliže viditelná část šroubovice spolu s příčnými řezy, které ji ohraničují, tvoří tvar písmene „Z“ a za levý, jestliže tvoří tvar písmene „S“.

Rozhodující vliv na ohebnost lana má síla drátů, z nichž je lano složeno. Použije-li se většího počtu tenších drátů, je takové lano sice dražší, ale ohebnější. Na rozdíl od normálního lana se taková lana označují jako jemná nebo velmi jemná.

Podle profilu lze rozlišovat dvojí provedení jader, přičemž toto dělení platí jak pro jádra plná, tak pro složená.

1. Jádra **kruhová** - tyto vodiče mají kruhový profil. Je to běžné provedení u holých vodičů pro venkovní vedení, u jednožilových izolovaných vodičů a kabelů všech průřezů a u vícežilových kabelů menších průřezů.
2. Jádra **sektorová** - profil sektorových jader má tvar kruhové výseče se zaoblenými hranami. Tento profil je méně častý, používá se výhradně u tří- a čtyřžilových kabelů větších průřezů. V závislosti na počtu žil je vrcholový úhel výseče 90 nebo 120°. Tímto způsobem se lépe využívá prostoru, takže kabel se sektorovými jádry má menší průměr než s kruhovými jádry stejného průřezu. Tím se sníží nejen spotřeba materiálu na plášť, ale i na výplň dutin mezi žilami.
3. Ve zvláštních případech se můžeme setkat i s **jinými profily jader**, např. oválná jádra kabelů vvn nebo dutá antivibrační lana venkovních vedení, ale tyto případy jsou výjimečné.

Důležitým parametrem jader je jejich průřez. Ten se volí z normalizované řady v rozsahu v rozsahu 0,35 až 800 mm<sup>2</sup>.

## 4.2 Základní typy silových kabelů nn a vn

### 4.2.1 Klasické kabely - s papírovou izolací.

Původní konstrukce kabelů používá papírovou izolaci, která je tvořena ovinutím jádra papírovými pásky. Tyto vytvářejí vrstvu o potřebné elektrické pevnosti, která je impregnována kabelovou hmotou, jejímž základem jsou minerální oleje. V případech, kdy kabel bude mít po uložení konce v různé výšce, používá se nemigrující (nestékavá) izolace, jejíž impregnant není při provozní teplotě tekutý. Žíly jsou stočeny a opatřeny společným olověným pláštěm. V 60. letech se používaly také kabely s hliníkovým pláštěm, aby se ušetřilo olovo, ale toto provedení se neosvědčilo. Na plášti obvykle bývá protikorozní ochrana, která je tvořena např. ovinutím páskou nebo souvislou vrstvou PVC. Nejčastěji používaný typ má jako další vrstvu pancíř vytvořený ovinutím dvěma ocelovými pásky, který má chránit kabel před mechanickým poškozením. Na něm je vlákninový obal natřený asfaltem.

Ve zvláštních případech se používají kabely poněkud upravené konstrukce, např. kabely namáhané tahem se místo pancíře z pásek používá pancíř z ocelových drátů, protože se nerozplétá. Pro uložení v tvárnících nebo trubkách se používají kabely s holým pláštěm bez pancíře.

Tyto kabely se u nás pokládaly do 70. let. Dnes se již nevyrábějí, ale vzhledem k tomu, že kabely mají životnost desítky let, budeme se s nimi setkávat v provozu ještě dlouhou dobu.

Klasické kabely s papírovou izolací byly nahrazeny novými druhy kabelů, které je možno rozdělit podle druhu výtlačně lisované izolace. Ve srovnání s kabely s napouštěnou papírovou izolací nevzniká při montáži nebo poškození nebezpečí úniku oleje do okolí. Pokládku kabelů s výtlačně lisovanou izolací je možné provádět i v šikmých a svislých trasách. Z hlediska pokládky, montáží souborů a provozu přináší kabely s touto izolací další významné výhody:

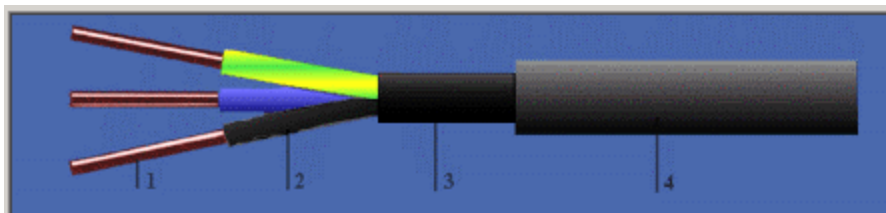
- nižší hmotnost kabelu a z toho vyplývající snazší manipulace a přepravu
- pokládka větších délek
- potřeba menšího počtu spojů při pokládce větších délek
- ve srovnání s kabely s napouštěnou papírovou izolací jednodušší montáž kabelových souborů
- během provozu nevyžaduje trasa žádnou údržbu

## 4.2.2 Celoplastové kabely - s izolací z PVC

Celoplastové kabely jsou v současné době nejrozšířenější na napěťových hladinách 1 a 6 kV. Ačkoliv je PVC materiál dražší než zesítený polyetylen (XPE) jeho nespornou výhodou zůstává to, že je to plamen nešířící materiál, zatímco XPE je hořlavý. Nevýhodou PVC je, že při jeho tepelném stárnutí nebo hoření se uvolňuje chlorovodík, který působí značně korozivně a navíc má negativní účinky na lidský organismus.

### 4.2.2.1 Příklady konstrukce a provedení celoplastových kabelů

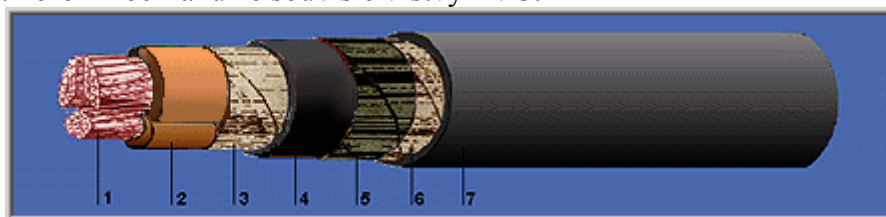
**CYKY** – celoplastový instalační kabel do 1kV všeobecně používaný pro prostředí bez mechanického namáhání.



**Obrázek 4.1:** CYKY

1- měděné jádro, 2- PVC izolace, 3- výplňový obal, 4- PVC plášť

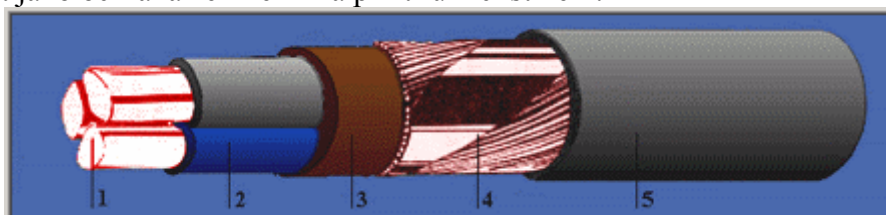
**CYKCY** – celoplastový třížilový kabel pro napětí 6 kV. Na stočených žilách má vnitřní plášť z PVC. Další vrstvu tvoří stínění ze svinuté měděné folie, resp. z tenkých Cu drátků, které pokrývá další plášť z PVC. Málo používané je provedení 6–AYKCYDY, které má navíc pancíř a protikorozní ochranu ze souvislé vrstvy PVC.



**Obrázek 4.2:** CYKCY

1- měděné jádro, 2- PVC izolace, 3- výplňový obal, 4- PVC plášť vnitřní, 5- Cu koncentrický vodič min. 6 mm<sup>2</sup>, 5- páska PP (PET), 6- PVC plášť vnitřní

**NYCWY** – kabel s koncentrickým vodičem pro napětí do 1 kV. Pro uložení do země i na vzduchu. Koncentrický vodič smí být použit jako ochranný nebo střední vodič. Zároveň může sloužit jako ochrana zemněním a plnit funkci stínění.



**Obrázek 4.3:** NYCWY

1- měděné jádro, 2- PVC izolace, 3- výplňový obal, 4- Cu koncentrický vodič s protispíralou, 5- PVC plášť vnitřní

## 4.2.3 Kabely s izolací ze zesíteného polyetylenu

**Zesítený polyetylen** vykazuje díky příčným vazbám mezi řetězci makromolekul polyetylenu dobrou tvarovou stálost a ve srovnání s lineárním polyetylenem i zlepšené mechanické vlastnosti. Díky vytvořené prostorové síti chemických vazeb se působením tepla netaví a při

vysoké čistotě izolačního polyetylénu jsou zaručeny vynikající elektrické, tepelné a mechanické vlastnosti. vysoká pevnost v tahu

Výhody izolace ze zesítěného polyety

- vysoká tažnost
- vyšší elektrická pevnost, tzn. vyšší izolační odpor
- termooxidační odolnost a z toho vyplývající vyšší proudová zatížitelnost a vysoká zkratová zatížitelnost
- vyšší zkratová zatížitelnost
- nízká kapacita a malé dielektrické ztráty
- velmi nízká úroveň částečných výbojů
- malá permitivita izolace ze zesítěného polyetylénu a z toho vyplývající malý nabíjecí proud

#### 4.2.3.1 Příklady konstrukce a provedení kabelů ze zesítěného polyetylénu

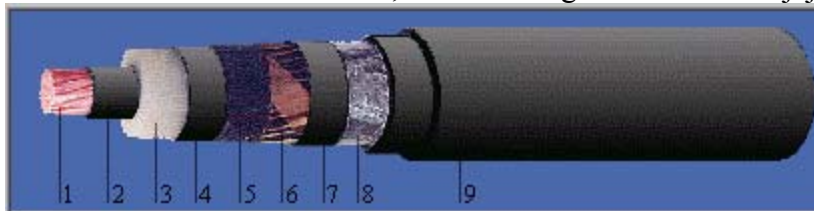
**CXKCE** – základní provedení. Běžná konstrukce má na lanovém jádře polovodivou vrstvu, která vyhlazuje el. pole na jeho povrchu a je spojena do jednoho celku s izolací ze zesítěného polyetylénu. Tloušťka izolace je asi 3,4 mm pro 10 kV, 5,5 mm pro 22 kV a 9 mm pro 35 kV.



**Obrázek 4.4:** CXKCE

1- měděné jádro, 2- vnitřní polovodivá vrstva, 3- izolace ze zesítěného polyetylénu, 4- vnější polovodivá vrstva, 5- páska - spodní polovodivá, vrchní nevodivá, 6- stínění měděnými dráty s protispirálou z měděné pásky, 7- vrchní plášť - PVC nebo polyetylen

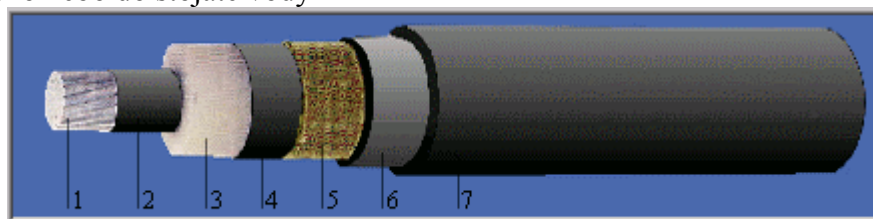
**CVXEKVCE** – kabel se zvýšenou odolností proti příčnému i podélnému šíření vlhkosti. Pro prostředí mokré i pro vodu skapávající, šikmo dopadající, stříkající všemi směry, i pro přechodné zaplavování. S povrchem izolace je pevně spojena vnější polovodivá vrstva. Následuje vodoblokující páska, která zabraňuje šíření vody pod pláštěm a jejímu pronikání do izolace. Na ní je stínění zhotovené z měděných drátů s protispirálou z Cu pásky a další vrstva vodublokující páska. Povrch kabelu je tvořen pláštěm z polyetylénu, resp. PVC. Aby se prokázala vodotěsnost pláště, provádí se po položení kabelu tzv. plášťová zkouška přiložením napětí mezi stínění a zem a měřením prosakujícího proudu. Tento typ kabelu se vyrábí v několika variantách, které se liší pláštěm a počtem a umístěním ochrany proti šíření vody. Mají označení např. AXEVCY, AXEVCE, AXEVCEY, AVXEKVCE, kde V značí vodublokující vrstvu. Původní provedení těchto kabelů (AXEKCY) nemělo ochranu proti šíření vody, takže v případě proniknutí vody pod plášť docházelo jejím dlouhodobým působením ke vzniku tzv. vodních stromečků, kcelkové degradaci izolace a jejímu průrazu.



**Obrázek 4.5:** CVXEKVCE

1- měděné jádro, 2- vnitřní polovodivá vrstva, 3- izolace ze zesítěného polyetylénu, 4- vnější polovodivá vrstva, 5- polovodivá vodoblokující páska, 6- stínění měděnými dráty s protispirálou z měděné pásky, 7- polovodivá vodoblokující páska, 8- svařovaná hliníková fólie, 9- vnější plášť PE nebo kombinovaný PE+PVC

**AVXEKVOY** – Vodotěsný kabel s olověným pláštěm se používá do agresivního prostředí, trvale mokrého nebo do stojaté vody



**Obrázek 4.6:** AVXEKVOY

1- hliníkové jádro, 2- vnitřní polovodivá vrstva, 3- izolace ze zesíťtého polyetylénu, 4- vnější polovodivá vrstva, 5- polovodivá vodoblokující páska, 6- olověný plášť, 7- PVC obal

#### 4.2.4 Kabely s izolací z kaučukového vulkanizátu

Guma (pryž) je pružná makromolekulární látka, která se vyrábí vulkanizací z přírodního nebo ze syntetického kaučuku. Její vlastnosti závisí na druhu kaučuku, vulkanizačních činidlech a jiných přísadách a způsobu zpracování. Pro výrobu izolace je důležitý rozsah teplot, při nichž je použitelná, odolnost proti stárnutí a působení slunečního záření, ozónu, rozpouštědel a tuků. Přírodnímu kaučuku, kterého je nedostatek, se vlastnostmi a použitím nejvíce podobá izoprenový kaučuk. Dále se používá butylkaučuk, chlorprénový, etylénpropylénový (EPR) a silikonový kaučuk.

Guma se používá především ve výrobě ohebných vodičů – šňůr, ale i zde je již delší dobu nahrazována termoplasty zvláště tam, kde nevádí jejich menší odolnost proti nízkým a vysokým teplotám.

##### 4.2.4.1 Příklady konstrukce a provedení pryžových kabelů

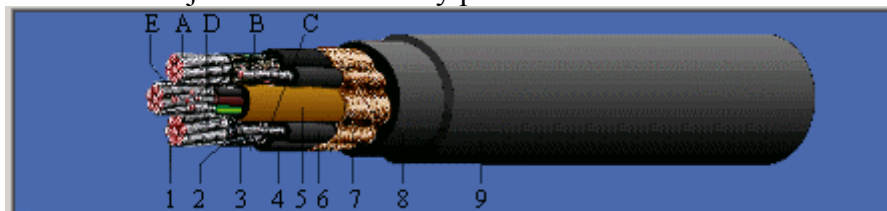
**CGSU** – Střední šňůra s pryžovou izolací. Pro šňůrová vedení, pohyblivé přívody spotřebičů a zařízení pro těžší práce v prostředí obyčejném, studeném i horkém, vlhkém nebo mokřem. Vodiče CGSU odolávají ztíženým klimatickým podmínkám i olejům. Do 1 kV



**Obrázek 4.7:** CGSU

1- měděné jádro, jemné pocínované, 2- pryžová izolace, 3- chloroprenový plášť

**CBEH** – důlní vodič pro pohyblivé přívody k motorům přemístitelných strojů v hlubinných plynujících dolech. Vodič je dostatečně odolný proti úderům a oděru.



**Obrázek 4.8:** CBEH

1- měděné jádro, jemné, pocínované, tř. 5, 2- separační fólie, 3- pryžová izolace, 4- polovodivá vrstva sloupatelná, 5- pryžový plášť, 6- vložka polovodivá, 7- textilní páska, 8- vnitřní plášť polovodivý, 9- vnější pryž. plášť typ U, A- pracovní žíly, B- ochranný vodič, C- ovládací vodiče, D- hlídací vodič

#### 4.2.5 Kabely vvn

Zvyšování spotřeby elektrické energie ve velkých městech i v průmyslu klade nárok na přenos el. energie až do centra spotřeby při co největším napětí. V současné době už není postačující rozvod vn (22 kV) a je nutno přecházet na napětí vvn. Rozvodnou síť nelze řešit v městských a průmyslových aglomeracích venkovními vedeními a je proto nutné použití kabelů. Rozšíření izolace ze zesíťného polyetylénu, která vykazuje velmi dobré dielektrické vlastnosti umožnilo rozvoj kabelů pro vvn.



Obrázek 4.9: Různá provedení kabelů vvn

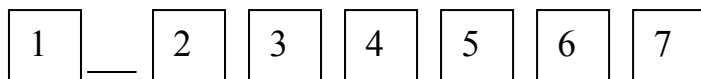
Jádro (1) vvn kabelu bývá většinou z mědi a její průřez může dosáhnout až  $1300 \text{ mm}^2$ . Jakmile průřez přesáhne  $630 \text{ mm}^2$ , skládá se duše ze segmentů lehce navzájem odizolovaných. Vytvoření duše ze segmentů lehce navzájem odizolovaných má za cíl prakticky vyloučit ztráty vznikající vlivem efektu přiblížení. Na **Obrázek 4.9** jsou ukázky vvn kabelů pro různá zatížení a tedy s různou konstrukcí lanovaného jádra. Na jádru je vylišováno Polovodivé pouzdro (2), jež má jednak vyloučit vliv pramenů, jednak zabránit ionizaci vzduchu na povrchu duše. Polovodivé pouzdro je vylišováno také na izolačním obalu z polyetylénu (3). Aby se zabránilo i té nejmenší přítomnosti vzduchu mezi izolačním obalem a vnějším polovodivým pouzdem je nutné zabezpečit dokonalou přilnavost mezi těmito dvěma materiály. Proto je vnější vodivé pouzdro vytvořeno ze dvou vrstev – extrudované zesíťné polovodivé vrstvy (4.1) pevně spojené s izolačním obalem a polovodivé pásky (4.2). Stínění kabelu je provedeno měděnou páskou (5) a měděnými vodiči ve vodoblokující bobtnavé pásce (6), nad nimi je opět polovodivá vrstva (7). Vnější ochranu kabelu zabezpečuje pouzdro černého polyetylénu s vysokou hustotou (8.2), který vzdoruje stárnutí. Skutečnost, že polyetylén je dokonale nepropustný, umožňuje také odstranění nepropustného ocelového pláště a jeho nahrazení prostým hliníkovým pláštěm (8.1). Toto řešení je mnohem snazší a vyplývá z něj i zjednodušení problémů při kladení kabelů.



Obrázek 4.10: Kabel 110 kV 2XS(FL)2Y

### 4.3 Značení silových kabelů a vodičů

K jednoznačnému určení typu izolovaných vodičů a kabelů z hlediska konstrukce se užívají písmenové značky někdy kombinované s číslicemi, doplněné počtem a průřezem žil a údajem jmenovitého napětí. Systémy značení se však v různých zemích liší, proto se u výrobků dovezených nebo určených pro export můžeme setkat se značením u nás neobvyklým. Dnešní označování se užívá od poloviny 70. let. Jeho formu pro kabely znázorňuje následující schéma:

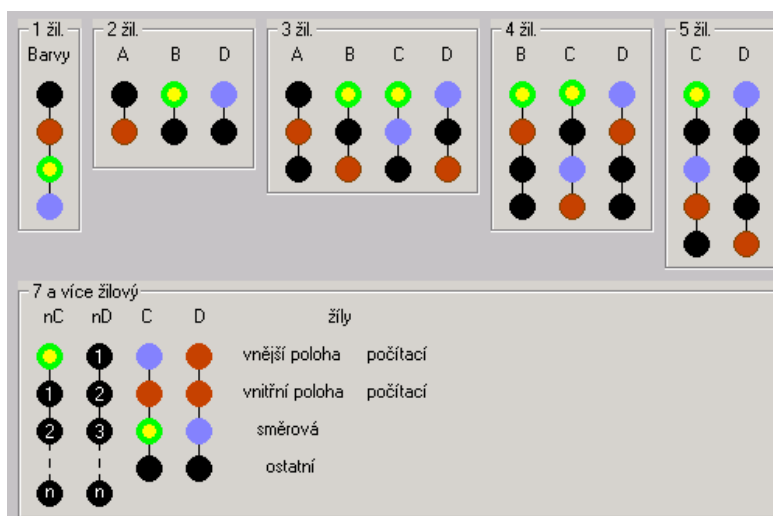


- |   |   |    |
|---|---|----|
| 1. Jmenovité napětí – bez označení.....                                 | 750 kV  |    |
|   | 1, 3, 6, 10, 22, 35 – odpovídá vždy hodnotě napětí v kV           |    |
| 2. Materiál jádra – Cu.....   | C   |    |
|   | Al.....   | A  |
|   | Cu vodotěsné.....   | CV |
|   | Al vodotěsné.....   | AV |
| 3. Materiál izolace – kaučuk vulkanizát (zvýšená tepelná odolnost)..... |   | B  |
|   | kaučuk vulkanizát běžný typ.....                                  | G  |
|   | kaučuk vulkanizát na bázi EPR.....                                | H  |
|   | vulkanizát z chloroprenového kaučuku.....                         | U  |
|   | PVC - běžný typ.....  | Y  |
|   | zesíťovaný PE.....  | X  |
|   | lineární PE.....  | E  |
| 4. Charakteristické označení – kulatý jednožilový.....                  |   | A  |
|   | důlní.....  | D  |
|   | vlečný.....   | V  |
|   | svařovací.....  | Z  |
|   | lehká šňůra.....  | L  |
|   | střední šňůra.....  | S  |
|   | těžká šňůra.....  | T  |
|   | stíněný.....  | F  |
|   | silový kabel.....   | K  |
| 5. Materiál pláště – kaučuk vulkanizát (zvýšená tepelná odolnost).....  |   | B  |
|   | kaučuk vulkanizát běžný typ.....                                  | G  |
|   | kaučuk vulkanizát na bázi EPR.....                                | H  |
|   | vulkanizát z chloroprenového kaučuku.....                         | U  |
|   | PVC - běžný typ.....  | Y  |
|   | kovové pletení nebo vinutí.....                                   | F  |
|   | olověný plášť.....  | 0  |
|   | zdravotně nezávadný plášť.....                                    | Z  |
|   | kovové stínění Cu, koncentrický vodič Cu.....                     | C  |
|   | měděné stínění s ochranou proti podélnému šíření vody pod pláštěm | VC |
|   | PE + PVC.....   | YE |
|   | olověný plášť + PVC.....  | OY |
|   | PE plášť s bariérou proti příčnému proniknutí vlhkosti..          | VE |
| 6. Obaly nad pláštěm – pancíř z ocelových pásků.....                    |   | P  |
|   | pancíř z ocelových drátů.....                                     | D  |
|   | pancíř z ocelových drátů nemagnetický.....                        | Z  |
|   | PVC - běžný typ.....  | Y  |

lineární PE.....	E
7. Zvláštní označení – mrazuvzdorný.....	m
Speciální kabel.....	spec
Samonosný.....	s
Závěsný.....	z
Oválný.....	o
Lištový.....	l

Druhá část značky uvádí počet žil kabelu a jejich průřez, případně barevné značení žil. Provedení vícežilových vodičů z hlediska označení žil obsažených ve vodiči se ve značce konstrukce vodiče označuje kódovým písmenem podle **Tabulka 4.3** za číslicí, která udává počet žil. Mnohožilové vodiče se vyrábějí v provedení C nebo D.

**Tabulka 4.3:** Značení kabelů podle žil obsažených v plášti



V současné době u nás platí ČSN 34 7409 Systém značení kabelů a vodičů z ledna 1996, která zavádí označování podle harmonizačního dokumentu CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique). Tento systém se zatím příliš nerozšířil, ale v budoucnu se bude užívat stále častěji. Oproti dosavadním systémům vyjadřuje přesněji konstrukci vodiče, ale díky tomu je složitější.

Značení se skládá ze tří základních částí:

- první
  - o 1a) Vztah k normám
- H – kabely a vodiče odpovídající harmonizovaným normám
- A – uznaný národní typ kabelu nebo vodiče uvedený v doplňku těchto norem
- CC–N – národní typ kabelu nebo vodiče, kde N znamená kódové označení země původu
  - o 1b) Jmenovité napětí – jmenovité napětí se udává číslem, které odpovídá sdruženému napětí v kV. Napětí pod 1 kV se označuje nulou s připojeným číslem, které znamená stovky voltů
- druhá
  - o 2a) Konstrukce, zpravidla v radiálním pořadí a začínající materiálem izolace a pomlčkou

Symbole pro konstrukci vodičů jsou obsaženy v pěti tabulkách:

izolační a nekovové plášťové materiály,  
kovové krytí,  
pancíře,



- speciální konstrukční prvky kabelu (např. nosné prvky samonosných kabelů), zvláštní provedení vodiče (např. můstková šňůra, ploché provedení, spirálový přívod).
- 2b) Materiál a typ jádra - materiál jádra se vždy za pomlčkou označuje písmenem A, jde-li o Al, a písmenem Z, jde-li o jádro ze speciálního materiálu nebo tvaru. Měděné jádro se zvlášť neoznačuje
  - Třetí:
    - Počet jader a jejich průřez - údaj typu jádra se kóduje podle tabulky. Rozlišuje se jím provedení plné – lanované, kulaté – sektorové, ohebné, leonské a podobně.

## 5 Venkovní vedení

### 5.1 Vodiče pro venkovní vedení

Vodiče a zemní lana jsou funkčně nejdůležitější částí venkovního vedení a také představují ekonomicky rozhodující prvek venkovního vedení. Volba vodičů a lan určuje nejen výši nákladů, ale také konstrukci stožárů a především bezpečnost provozu celého vedení. Protože jsou vodiče vystavené různým klimatickým podmínkám – větru, dešti, námraze, změnám teploty, chemickým vlivům – jsou požadavky na ně kladené také různé a často protichůdné:

- malá měrná hmotnost vodičů kvůli dopravě a montáži, ale velká, aby nebyly příliš vychylovány větrem
- malý průměr vodičů omezující účinky větru, ale velký pro snížení ztrát korónou
- velká mechanická pevnost
- odolnost proti chemickým vlivům a změnám teploty
- odolnost proti chvění
- nízká cena

#### 5.1.1 Materiál a konstrukce vodičů

##### 5.1.1.1 Měděná lana a dráty

Tyto vodiče mají výborné elektrické i mechanické vlastnosti, stejně jako odolnost proti okolním vlivům. Nevýhodou je jejich vysoká cena a proto se používají pouze vyjíměčně. Vlastnosti měděných vodičů stejně jako jejich konstrukce jsou uvedeny v kapitole.

##### 5.1.1.2 Bronzové vodiče

Vodiče s horší vodivostí ( $50,5 \text{ Sm/mm}^2$ ), ale podstatně větší mechanickou pevností. Používají se tam, kde je vyžadována vysoká pevnost – křižovatky vedení, přechody přes řeky apod.

##### 5.1.1.3 Hliníkové vodiče

Hliník je cenově dostupný materiál s dobrou vodivostí, ale malou pevností (vlastnosti v kapitole). Pro účely venkovních vedení, kde je mechanická pevnost vodiče rozhodující lze hliníkových vodičů použít jen v kombinaci s nosným prvkem (kombinovaná lana).

##### 5.1.1.4 Železné vodiče

Konduktivita železa je nízká, jen  $7 \text{ až } 10 \cdot 10^6 \text{ S.m}^{-1}$ , ale díky tomu, že je laciné a má dobré mechanické vlastnosti, se s ním jako s vodivým materiálem setkáváme. Jeho použití je však vhodné jen na vedení, která jsou jen občas nebo nepatrně zatížena - např. zemní lana a svody hromosvodů, nebo tam, kde plní i funkci nosného prvku vodiče – kombinovaná lana.

### 5.1.1.5 Slitinové vodiče

Aby se potlačily horší mechanické vlastnosti Al, byly vyvinuty slitiny hliníku s větší pevností.

- **Aldrey** (též Almelec) má obsah přibližně 0,5% Mg, 0,5% Si, 0,3% Fe. Kombinovaným tepelným zpracováním a tvářením se dosahuje pevnosti až 360 MPa a konduktivity až  $32 \cdot 10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ .
- **Cond – Al** je americká slitina s obsahem 0,3 – 0,4% Mg a 0,4 – 0,5 Fe. Také tato slitina se tepelně zpracovává, proto jejich mechanické vlastnosti nejsou při vyšších teplotách stabilní.
- U nás byla vyvinuta slitina **VUK 33 – E**, která obsahuje 0,9% Mg, 0,35% Si, 0,35% Fe. Tepelně se nezpracovává, takže vyšší teploty mají menší vliv na její mechanické vlastnosti.

Také vodiče z těchto materiálů se většinou používají v kombinaci s nosným prvkem jako kombinovaná lana. Je možno je však najít i jako profilové vodiče v rozvodnách (přípojnice venkovních rozveden vvn).

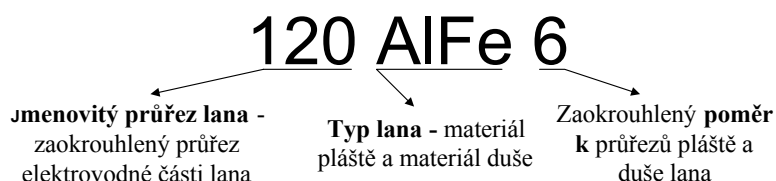
### 5.1.2 Kombinovaná lana

Jsou to lana ze dvou materiálů, z nichž jeden má velkou pevnost a tvoří nosnou část lana – tzv. duši, druhý má velkou vodivost a tvoří elektrovednou část lana – plášť. Lze použít různých kombinací kovů: Al + Fe, slitiny Al (aldrey, aludur, almelec) + Fe, Cu + Fe, Cu + bronz. Nejčastěji se používají kombinovaná lana AlFe (ocelová duše a hliníkový plášť) nebo AlCuFe (ocelová duše a plášť ze slitiny 98,7%Al, 0,5%Mg, 0,5%Si, 0,3%Fe). Tato lana nejlépe odpovídají požadavkům na venkovní vodiče: spojují dobrou vodivost hliníku s velkou pevností oceli (AlFe lano je pevnější než Cu lano stejné vodivosti), vodivá část lana má velký průměr což omezuje korónu a tvar mezikruží což odpovídá rozložení proudové hustoty v průřezu, kdy ocelovou duši prochází zanedbatelný díl proudového zatížení. Nevýhodou je pouze náchylnost k vibracím, proti kterým je nutno tato lana chránit.



**Obrázek 5.1:** Konstrukce kombinovaného lana  
1 - ocelová duše, 2 - hliníkový plášť

#### 5.1.2.1 Označování kombinovaných lan:



#### 5.1.2.2 Parametry kombinovaných lan AlFe

Protože plášť a duše těchto lan mají z hlediska mechanických vlastností rozdílné parametry je třeba stanovit hodnoty těchto parametrů pro lano jako celek, které jsou potřebné při mechanickém výpočtu zavěšeného vodiče. Lze je stanovit buď výpočtem nebo měřením. Při výpočtu je třeba vycházet z těchto předpokladů:

1. Síla namáhající lano se rozdělí v určitém poměru na plášť a duši. Pro zjednodušený výpočet se uvažuje tzv. fiktivní namáhání:

$$\sigma_f = \frac{F}{S_{Al} + S_{Fe}} = \frac{F}{S} = \sigma \quad (5.1)$$

- kde  $F$  je síla zatěžující vodič [N]  
 $S_{Al}$  je matematický průřez vodivého pláště [mm<sup>2</sup>]  
 $S_{Fe}$  je matematický průřez ocelové duše [mm<sup>2</sup>]  
 $S = S_{Fe} + S_{Al}$  je matematický průřez lana [mm<sup>2</sup>]  
 $\sigma_f = \sigma$  je mechanické napětí lana [MPa]

2. Vzájemná poloha hliníkového pláště a ocelové duše se nemění.  
 3. Kombinované lano nemá při výrobní teplotě žádné vnitřní pnutí.

- a) měrná tíha

$$\gamma' = \frac{g'_1}{S} = \frac{g'_{1Fe} + g'_{1Al}}{S_{Al} + S_{Fe}} = \frac{\gamma'_{Fe} S_{Fe} + \gamma'_{Al} S_{Al}}{S_{Al} + S_{Fe}} = \frac{\gamma'_{Fe} + k \cdot \gamma'_{Al}}{1 + k} \quad (5.2)$$

$$k = \frac{S_{Al}}{S_{Fe}}$$

- kde  $\gamma'_{Fe}$  je měrná tíha ocelové duše [N.m<sup>-1</sup>.mm<sup>-2</sup>]  
 $\gamma'_{Al}$  je měrná tíha hliníkového pláště [N.m<sup>-1</sup>.mm<sup>-2</sup>]

- b) pevnost v tahu

$$\sigma_P = \frac{F_P}{S} = \frac{\sigma_{PFe} \cdot S_{Fe} + \sigma_{PAl} \cdot S_{Al}}{S_{Fe} + S_{Al}} = \frac{\sigma_{PFe} + k \cdot \sigma_{PAl}}{1 + k} \quad (5.3)$$

- kde  $\sigma_{PFe}$  je pevnost v tahu ocelové duše [MPa]  
 $\sigma_{PAl}$  je pevnost v tahu hliníkového pláště [MPa]

- c) modul pružnosti

$$E = \frac{E_{Fe} \cdot S_{Fe} + E_{Al} \cdot S_{Al}}{S_{Fe} + S_{Al}} = \frac{E_{Fe} + k \cdot E_{Al}}{1 + k} \quad (5.4)$$

- kde  $E_{Fe}$  je modul pružnosti v tahu ocelové duše [MPa]  
 $E_{Al}$  je modul pružnosti v tahu hliníkového pláště [MPa]

- d) teplotní součinitel délkové roztažnosti

$$\alpha = \frac{\alpha_{Fe} \cdot E_{Fe} + k \cdot \alpha_{Al} \cdot E_{Al}}{E_{Fe} + k \cdot E_{Al}} \quad (5.5)$$

- kde  $\alpha_{Fe}$  je teplotní součinitel délkové roztažnosti ocelové duše [°C<sup>-1</sup>]  
 $\alpha_{Al}$  je teplotní součinitel délkové roztažnosti hliníkového pláště [°C<sup>-1</sup>]

**Tabulka 5.1:** Informativní hodnoty parametrů lan AlFe

Typ lana	Koeficient tepelné roztažnosti $\alpha$ [°C <sup>-1</sup> ]	Měrná tíha $\gamma'$ [N.m <sup>-3</sup> ]	Modul pružnosti E [MPa]	Max. dovolené mechanické napětí $\sigma_{dov}$ [MPa]	Pevnost v tahu $\sigma_P$ [MPa]
AlFe 8	20,5.10 <sup>-6</sup>	0,0338.10 <sup>6</sup>	86.10 <sup>3</sup>	95	260
AlFe 6	19,75.10 <sup>-6</sup>	0,0347.10 <sup>6</sup>	88,3.10 <sup>3</sup>	110	290
AlFe 4	18,5.10 <sup>-6</sup>	0,038.10 <sup>6</sup>	97,6.10 <sup>3</sup>	130	350
AlFe 3	17,6.10 <sup>-6</sup>	0,041.10 <sup>6</sup>	104.10 <sup>3</sup>	150	400

**Tabulka 5.2:** Konstrukce o vlastnosti AlFe lan

Jm. průřez	Ocelová duše			Hliníkový obal			Lano							
	počet drátů	jm. průměr drátů [mm]	$S_{Fe}$ [mm <sup>2</sup> ]	počet drátů	jm. průměr drátů [mm]	$S_{Al}$ [mm <sup>2</sup> ]	průměr lana d [mm]	S [mm <sup>2</sup> ]	Poměr Al:Fe	$g_1'$ [N/m]	$F_p$ [kN]	$S_p$ [MPa]	$S_{dov}$ [MPa]	$S_H$ [MPa]
16	1	1,8	2,5447	6	1,8	15,268	5,4	17,81	6	0,612	5,382	302,14	114,81	97
25	1	2,24	3,9408	6	2,24	23,645	6,72	27,59	6	0,911	8,121	294,39	111,87	95
35	1	2,8	6,1575	6	2,8	36,945	8,4	43,1	6	1,373	12,36	286,76	108,97	92
50	1	3,15	7,7931	6	3,15	46,759	9,45	54,55	6	1,709	15,64	286,7	108,95	92
70	1	3,75	11,045	6	3,75	66,268	11,25	77,31	6	2,367	21,57	279	106,02	90
70	7	1,4	10,776	26	1,8	66,162	11,4	76,94	6,1399	2,351	23,04	299,46	113,8	96
95	1	4,5	15,904	6	4,5	95,426	13,5	111,3	6	3,337	30,2	271,27	103,08	87
95	7	1,7	15,889	26	2,12	91,777	13,58	107,7	5,7763	3,225	32,2	299,07	113,65	96
120	7	2	21,991	26	2,5	127,63	16	149,6	5,8036	4,408	44,66	298,49	113,43	96
150	7	2,12	24,709	26	2,65	143,4	16,96	168,1	5,8036	4,926	48,89	290,82	110,51	93
185	7	2,36	30,62	26	3	183,78	19,08	214,4	6,002	6,218	61,46	286,66	108,93	92
210	7	2,5	34,361	26	3,15	202,62	20,1	237	5,8968	6,844	71,16	300,28	114,1	96
240	7	2,65	38,608	26	3,35	229,17	21,35	267,8	5,9357	7,698	75,06	280,31	106,52	90
300	7	3	49,48	26	3,75	287,16	24	336,6	5,8036	9,597	95,32	283,15	107,6	91
350	12	2,5	58,905	28	4	351,86	26,5	410,8	5,9733	11,63	114,8	279,48	106,2	90
450	12	2,8	73,89	28	4,5	445,32	29,76	519,2	6,0268	14,61	140,6	270,8	102,9	87

### 5.1.3 Izolované vodiče pro venkovní vedení

Izolované vodiče byly vyvinuty pro omezení poruch na venkovním vedení, které jsou obvykle způsobeny nepříznivými vlivy počasí (vibrace za silného větru, spadlé stromy a větve, zásahy blesku). V současné době jsou klasická holá kombinovaná lana stále častěji nahrazována právě těmito vodiči.

Výhody izolovaných vodičů:

- menší vzdálenosti mezi fázovými vodiči a mezi fázovými vodiči a zemí → nižší nároky na výšku a pevnost stožárů
- menší ochranná pásma → lepší začlenění do krajiny
- těsnější uspořádání vodičů → lepší elektrické parametry

Vodiče jsou vyrobeny z pevné hliníkové slitiny, jsou slánované a komprimované, aby se snížil jejich průměr a povrch vodiče byl co nejvíce homogenní. Používají se pro vn a pro 110 kV. Izolace je vyrobena z vodovzdorné izolace ze zesíťovaného polyetylénu (XLPE). Izolované vodiče s označením LMF (Low Magnetic Field) mají navíc polovodivé stínění.

Pro vn se používá také třífázové izolované venkovní vedení, které se skládá ze tří izolovaných jednofázových kabelů, které jsou sláněny kolem ocelového nosného lana.

V současné době dochází k velkému rozšíření těchto vodičů a rekonstrukce venkovních vedení především na vn se obvykle řeší pomocí izolovaných vodičů, zvláště v případech, kde je třeba na stávající stožáry instalovat posilovací vedení.

## 5.2 Klimatické podmínky a jejich vliv na výpočet zavěšeného vodiče

Mechanické namáhání vodičů, stožárů, základů i ostatních částí vedení závisí na klimatických poměrech, které mají hlavní vliv na cenu vedení a jeho provozní bezpečnost. Současné působení různých vlivů počasí má náhodný charakter. Proto se na základě dlouhodobého pozorování stanoví typické stavy počasí. Pro tyto případy se potom provádí kontrola vedení.

**Norma ČSN 33 3300 [ 7] předepisuje kontrolu vodičů vedení v těchto stavech počasí:**

- 1) -5 °C, bezvětří, normální námraza. Pro tento stav počasí se počítá namáhání a průhyb, jedná se o základní stav počasí.

- 2) -5 °C, vítr, bez námrazy. *Pro tento stav počasí se počítá namáhání, průhyb a vychýlení vodičů větrem, jedná se o základní stav počasí.*
- 3) +40 °C, bez větru. *Pokud je trvalé proudové zatížení větší než 80 % proudové zatížitelnosti  $I_{dov}$  podle ČSN 341020, uvažuje se též oteplení vodiče proudem – uvažuje se teplota 60 °C. Pro tento stav počasí se počítá maximální průhyb.*
- 4) -30 °C, bez větru, bez námrazy. *Pro tento stav počasí se počítá namáhání a síly působící na izolátory při největším zkrácení vodiče.*
- 5) -5 °C, vítr, normální námraza. *Pro tento stav počasí se počítá namáhání a vzdálenosti vodičů.*
- 6) -5 °C, bez větru, zvětšená námraza. *Pro tento stav počasí se počítá maximální namáhání vodičů při rozpětí větším než 50 m.*

Pro stavy počasí 1) až 4) nesmí namáhání  $\sigma$  fázových vodičů i vodičů zemních lan překročit dovolené hodnoty  $\sigma_{dov}$  stanovené pro jednotlivé materiály vodičů v [ 7].

Namáhání vodičů ve stavu počasí 6) musí splňovat relace:

$$\text{pro vodiče Cu, Fe:} \quad \sigma \leq 0,9\sigma_p$$

$$\text{pro vodiče AlFe:} \quad \sigma \leq 0,85\sigma_p$$

$$\text{pro vodiče Al a jeho slitin:} \quad \sigma \leq 0,8\sigma_p$$

kde  $\sigma_p$  je pevnost v tahu daného vodiče [MPa]

Namáhání  $\sigma$  je mechanické napětí v dolu průhybové křivky  $\sigma_H$  – tedy jen vodorovná složka celkového namáhání vodiče. Jen tehdy, je-li namáhání vodiče v závěsném bodě  $\sigma_A > 1,04$ .

$\sigma_H$ , uvažuje se při kontrole namáhání  $\sigma = \sigma_A$ .

Pro stavy počasí 1) až 4) nesmí být také zmenšeny dovolené vzdálenosti vodičů od terénu, od konstrukce i navzájem od sebe. Minimální vzdálenosti jsou opět předepsány v [ 7].

Z výše uvedeného vyplývá že základními faktory, které mají vliv na mechanické vlastnosti vedení jsou teplota, vítr a námraza.

### 5.2.1 Teplota

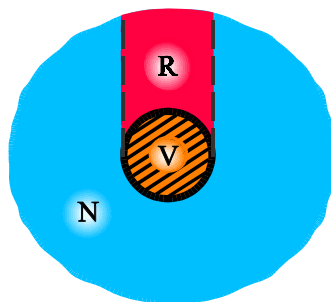
Se změnou teploty se mění délka vodiče a tím i jeho namáhání a průhyb a také silové působení vodiče na konstrukci (na stožáry). S růstem teploty se zvětšuje průhyb zmenšuje namáhání. Je zřejmé, že rozhodující je teplota vodiče. Tato teplota se však klade rovna teplotě okolí, pouze v případě stanovení maximální teploty vodiče zatíženého více než 80 % dovoleného proudu se uvažuje oteplení vodiče proudem. V našich podmínkách se uvažuje teplota okolí v rozmezí -30 až +40 °C. Maximální teplota je důležitá z hlediska výpočtu maximálního průhybu a kontroly předepsané vzdálenosti od terénu. Minimální teplota, při které nastane maximální zkrácení vodičů, je důležitá zejména z hlediska sil, které působí na izolátory. U šikmých rozpětí vedení může v tomto případě dojít k nadzvedávání izolátorů, protože důl průhybové křivky se dostane mimo rozpětí.

### 5.2.2 Námraza

K tvorbě námrazy dochází při tzv. tepelném zvratu – inverzi, kdy je vyšší teplota ve větších výškách než u země. Důležitou roli též hraje obsah vodních par (vlhkost vzduchu), obsah nasycených vodních par pro danou teplotu, podchlazení vody a ohřívání vzduchu nad zemí.

Při relativní vlhkosti 100 % je skutečný obsah vodních par roven obsahu nasycených vodních par. Sníží-li se teplota, sníží se také obsah nasycených vodních par a přebytečná pára se začne srážet. Podchlazení vody je úkaz, při kterém čistá voda existuje v kapalné fázi při teplotách nižších než je 0 °C. Potom stačí i nejmenší impuls, aby voda okamžitě zmrzla. Podobný úkaz

existuje i v ovzduší, kde je podchlazená voda ve formě sražené vodní páry – mlhy. Narazí-li takováto mlha na nějaký předmět (vodič), velmi rychle se přemění na led a vytvoří námrazek.



**Obrázek 5.2:** Námraza na vodiči

Námraza (označena na obrázku písmenem N) představuje velké zatížení vodičů venkovních vedení. Zvyšuje namáhání ve vodičích a může tak způsobit přetržení vodičů, ohnutí nebo zlomení stožárů apod. Oprava poškozeného vedení je z důvodu složitých povětrnostních podmínek složitá, a proto je vhodné námrazu (zejména převyšující hodnoty, pro které bylo vedení dimenzováno) z vedení v co nejkratší době odstranit. To lze uměle provést dvěma způsoby:

- sklepáváním izolačními tyčemi
- vyhříváním vodičů proudem

První způsob nachází své uplatnění především ve venkovních rozvodnách; druhý způsob spočívá v průchodu takového proudu vodičem (označen V), aby ztráty na činném odporu rozpustily část námrazku (oblast R). Po rozpuštění této části pak zbylá část námrazku spadne. Po opadnutí námrazky dojde k náhlému odlehčení vodičů a vodič se může „vyšvihnout“. Je s tím proto třeba počítat. Při vyhřívání je také nutné kontrolovat teplotu vodiče, aby nedošlo, díky nadměrnému oteplení, ke zmenšení mechanické pevnosti.

V [ 7 ] je rozděleno území republiky do 4 námrazových oblastí: L – lehká, S – střední, T – těžká a K – kritická. Velikost námrazku se pro jednotlivé oblasti stanoví podle **Tabulka 5.3**.

**Tabulka 5.3:** Velikost námrazku pro výpočet mechanického napětí vodičů ([ 7])

Námrazová oblast	Hmotnost normálního námrazku		Tloušťka normálního námrazku $t$ [mm]
	měřicí tyče o průměru $d = 30$ mm	vodiče s průměrem $d$ [mm]	
	$g_1$ [kg.m <sup>-1</sup> ]	$g_2$ [kg.m <sup>-1</sup> ]	
L	1,0	$0,361 + 0,0213 \cdot d$	17,0
S	2,0	$0,959 + 0,0347 \cdot d$	27,6
T	3,0	$1,638 + 0,0454 \cdot d$	36,1
K	> 3,0	$1.257 \cdot t \cdot (d + t) \cdot 10^{-3}$	$(225 + 795,8 \cdot g_t)^{0,5} - 15$

$d$  je průměr vodiče [mm]

$g_t$  je hmotnost námrazku na měřicí tyči [kg.m<sup>-1</sup>]

Velikost námrazku se statisticky sleduje na měřicí tyči o průměru 30 mm. Podle její hodnoty  $g_t$  se rozlišují námrazové oblasti. Tloušťka námrazku se stanoví za předpokladu měrné hmotnosti námrazku  $\gamma_2 = 400$  kg.m<sup>-3</sup>.

Vztahy v **Tabulka 5.3** vycházejí z těchto úvah: předpokládá se, že námrazek má přibližně tvar soustředného válce na vodiči a že jeho tloušťka  $t$  je nezávislá na rozměrech vodiče.

$$g_2 = \gamma_2 \cdot S \quad [\text{kg.m}^{-1}] \quad (5.6)$$

kde  $S$  je průřez mezikruží:

$$S = \pi \cdot \frac{D^2}{4} - \pi \cdot \frac{d^2}{4} = \pi \cdot \frac{1}{4} [(d + 2t)^2 - d^2] = \pi \cdot \frac{1}{4} (d^2 + 4t \cdot d + 4t^2 - d^2) \quad (5.7)$$

$$S = \pi t^2 + \pi t \cdot d \quad [\text{m}^2]$$

$$g_2 = \pi \cdot \gamma_2 \cdot t^2 + \pi \cdot \gamma_2 \cdot t \cdot d \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (5.8)$$

Je-li známo  $g_2$ , lze tloušťku námrazku stanovit ze vztahu:

$$t = \frac{-\pi \cdot \gamma_2 \cdot d + \sqrt{(\pi \cdot \gamma_2 \cdot d)^2 + 4 \cdot \pi \cdot \gamma_2 \cdot g_2}}{2 \cdot \pi \cdot \gamma_2} = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot d^2 + \frac{1}{\pi \cdot \gamma_2} \cdot g_2} - \frac{d}{2} \quad [\text{mm}] \quad (5.9)$$

Takto se stanoví tloušťka námrazku z hmotnosti námrazku na měřicí tyči. Hmotnost námrazku na vodiči o průměru  $d$  je potom dána obecným vztahem:

$$g_2 = c_1 + c_2 \cdot d \quad (5.10)$$

kde  $c_1 = 1,257 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}, \text{mm}^2]$

$$c_2 = 1,257 \cdot 10^{-3} \cdot t \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}, \text{mm}]$$

$$t = \sqrt{225 + 795,8 \cdot g_t} - 15 \quad [\text{mm}, \text{kg} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (5.11)$$

kde  $g_t$  - viz. **Tabulka 5.3**

Kromě normální námrazy se při kontrole vodičů ještě uvažuje námraza zvětšená. Hmotnost námrazku se stanoví podle **Tabulka 5.4**.

**Tabulka 5.4:** Hmotnost zvětšeného námrazku ([ 7])

$g_2$ [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ ]	do 3	3 – 8	8 – 12	12 – 18	nad 18
$g_{2z}$ [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ ]	3. $g_2$	8 + 0,35. $g_2$	6,4 + 0,55. $g_2$	3 + 0,833. $g_2$	$g_2$

Přetížení vodiče námrazou je veličina definovaná vztahem:

$$z = \frac{g_1 + g_2}{g_1} = 1 + \frac{g_2}{g_1} = \frac{g'_1 + g'_2}{g'_1} \quad (5.12)$$

kde  $g_1$  ( $g'_1$ ) je hmotnost (tíha) 1 m samotného vodiče [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ ] ( $[\text{N} \cdot \text{m}^{-1}]$ )

$g_2$  ( $g'_2$ ) je hmotnost (tíha) přídatného zatížení námrazkem na 1 m samotného vodiče [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1}$ ] ( $[\text{N} \cdot \text{m}^{-1}]$ )

Obdobně se stanoví přetížení zvětšenou námrazou.

### 5.2.3 Vítr

Vítr je dalším důležitým faktorem působícím na vodiče i ostatní konstrukce vedení. Podobně jako námraza způsobuje i vítr přídatné zatížení vodičů i ostatních částí. Prvky vedení namáhá vítr vodorovnou silou, kterou lze stanovit ze vztahu:

$$F = 9,81 \cdot \alpha \cdot c \cdot \frac{v^2}{16} \cdot S \cdot \sin \beta \quad [\text{N}] \quad (5.13)$$

nebo ze vztahu tvarově poněkud odlišného:

$$F = w_0 \cdot k \cdot \alpha \cdot c \cdot S \cdot \sin \beta = w_0 \cdot \left( \frac{v}{29,6} \right)^2 \cdot \alpha \cdot c \cdot S \cdot \sin \beta \quad [\text{N}] \quad (5.14)$$

Oba vztahy jsou rovnocenné. Symboly v nich znamenají:

$v$  ..... rychlost větru [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ], závisí na výšce

$k$  ..... součinitel výšky:  $k = (v/29,6)^2$

- $w_0$  .....základní tlak větru = 550 N.m<sup>-2</sup>  
 $\alpha$  .....součinitel nerovnoměrnosti tlaku větru na vodič  
 $S$  .....plocha vystavená větru [m<sup>2</sup>] s 2  
 $\beta$  .....úhel mezi směrem větru a plochou  
 $c$  .....aerodynamický součinitel, závisí na tvaru a povrchu  
 – 1,1 pro vodiče s  $d < 16$  mm  
 – 1,0 pro vodiče s  $d \geq 16$  mm  
 – 1,0 pro vodiče omrznuté  
 – 0,8 až 3,0 pro ostatní tělesa; zahrnuje i vliv závětrné části stožáru.

Rychlost větru  $v$ , hodnoty  $k$  a  $\alpha$  jsou pro vodiče při stavu počasí 2) uvedeny v **Tabulka 5.5**. Pro počasí 5) se uvažuje rychlost větru poloviční.

**Tabulka 5.5:** Hodnoty pro výpočet zatížení větrem ([ 7])

Výška závěsného bodu h [m]	Rychlost větru $v_{\max}$ [m.s <sup>-1</sup> ]	Součinitel $\alpha$ pro rozpětí a > 20 m (pro a < 20 m $\alpha = 1$ )	Součinitel výšky k
0 – 20	29,6	0,8	1,00
20 – 40	33,5	0,75	1,27
40 – 100	38,0	0,75	1,64
100 – 150	43,0	0,75	2,18

Plocha  $S$  je u vodičů rovna průmětu vodiče do roviny kolmé na směr rychlosti větru  $v$ . Pro neomrzlý vodič o průměru  $d$  a délce  $l$  je:

$$S = dl \quad [\text{m}^2] \quad (5.15)$$

Pro vodič omrzlý (stav počasí 5) se uvažuje, že námraza má tvar válce, jehož průměr je  $D = 2t + d$ :

$$S = (d + 2t)l \quad [\text{m}^2] \quad (5.16)$$

U vodičů se většinou počítá s tlakem větru na 1 m délky, t.j. s přidavným zatížením větrem  $g_{2v}'$ .

Pro neomrzlý vodič platí:

$$g_{2v}' = \frac{F}{l} = 0,625 \cdot \alpha \cdot c \cdot v^2 \cdot d \quad [\text{N} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (5.17)$$

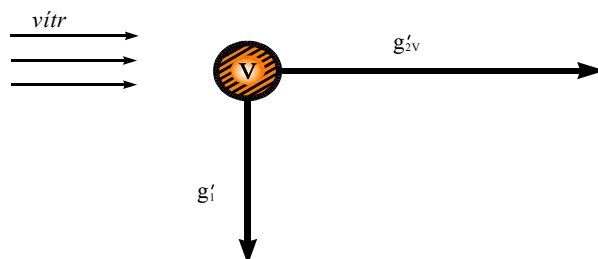
Pro omrzlý vodič je přidavné zatížení dáno výrazem:

$$g_{2v}' = \frac{F}{l} = 0,625 \cdot \alpha \cdot c \cdot v^2 \cdot (d + 2t) \quad [\text{N} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (5.18)$$

Přetížení vodiče větrem

- pro jeden vodič

$$z = \frac{\sqrt{(g_1')^2 + (g_{2v}')^2}}{g_1'} \quad (5.19)$$



**Obrázek 5.3:** Zatížení vodiče větrem



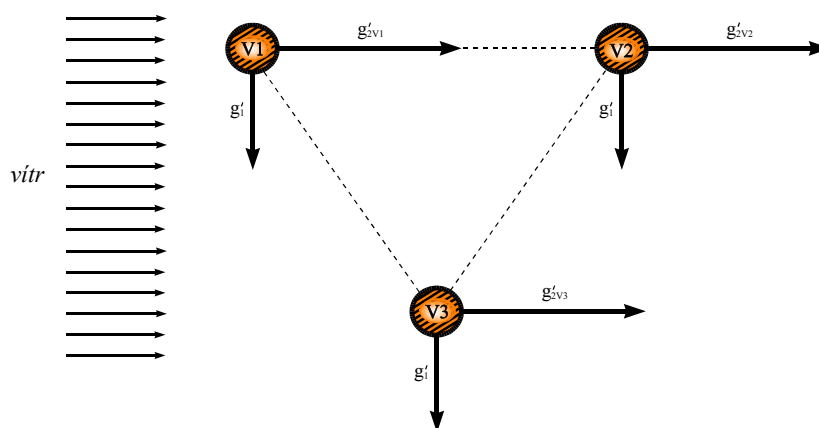
- pro vodič ve svazku:

$$z = \frac{\sqrt{(n \cdot g_1')^2 + \left(\sum_i g_{2vi}'\right)^2}}{n \cdot g_1'} \quad (5.20)$$

kde  $g_1'$  je tíha 1 m samotného vodiče – svislá síla [ $N \cdot m^{-1}$ ]

$g_{2vi}'$  je přidavné zatížení vodiče větrem – vodorovná síla [ $N \cdot m^{-1}$ ]

$n$  je počet vodičů ve svazku



Obrázek 5.4: Zatížení větrem pro vodiče ve svazku

**Příklad 5.1:** Určete přidavné zatížení a přetížení vodiče  $AlFe$  6 120  $mm^2$  pro námrazové oblasti L, S, T normální i zvýšenou námrazou.

Parametry vodiče – z **Tabulka 5.1** a **Tabulka 5.2**

$d = 15,65$  mm

matematický průřez:  $s = 143,48$  mm

měrná tíha:  $\gamma' = 3,384 \cdot 10^{-2} N \cdot m^{-1} \cdot mm^{-2}$

1. Vlastní výpočet (**Tabulka 5.3**)

tíha 1 m:

$$g_1' = \gamma' \cdot s = 143,48 \cdot 3,384 \cdot 10^{-2} = 4,855 N \cdot m^{-1}$$

- normální námraza:

- oblast L:

$$t = \sqrt{225 + 795,8 \cdot g_1'} - 15 = \sqrt{225 + 795,8 \cdot 1} - 15 = 16,95 \text{ mm}$$

$$g_2 = 0,3611 + 0,02131 \cdot d = 0,3611 + 0,02131 \cdot 15,65 = 0,6946 \text{ kg} \cdot m^{-1}$$

$$g_2' = 6,814 N \cdot m^{-1}$$

- oblast S:

$$t = \sqrt{225 + 795,8 \cdot g_1'} - 15 = \sqrt{225 + 795,8 \cdot 2} - 15 = 27,62 \text{ mm}$$

$$g_2 = 0,9589 + 0,03472 \cdot d = 0,9589 + 0,03472 \cdot 15,65 = 1,502 \text{ kg} \cdot m^{-1}$$

$$g_2' = 14,74 N \cdot m^{-1}$$

- oblast T:

$$t = \sqrt{225 + 795,8 \cdot g_1'} - 15 = \sqrt{225 + 795,8 \cdot 3} - 15 = 36,11 \text{ mm}$$

$$g_2 = 1,639 + 0,04539 \cdot d = 1,639 + 0,04539 \cdot 15,65 = 2,349 \text{ kg} \cdot m^{-1}$$

$$g'_2 = 23,05 \text{ N.m}^{-1}$$

zvětšená námraza  $g_2$  podle (**Tabulka 5.4**)  $g_2 \leq 3 \text{ kg.m}^{-1} \rightarrow g_{2z} = 3.g_2$ :

oblast L	$g_{2z} = 2,084 \text{ kg.m}^{-1}$	$g'_{2z} = 20,44 \text{ N.m}^{-1}$
oblast S	$g_{2z} = 4,506 \text{ kg.m}^{-1}$	$g'_{2z} = 44,20 \text{ N.m}^{-1}$
oblast T	$g_{2z} = 7,047 \text{ kg.m}^{-1}$	$g'_{2z} = 69,13 \text{ N.m}^{-1}$

přetížení ( 5.12 ):

oblast L	$z = 2,404$	$z_z = 5,210$
oblast S	$z = 4,036$	$z_z = 10,10$
oblast T	$z = 5,748$	$z_z = 15,24$

**Příklad 5.2:** Vedení s vodiči AlFe 6 120 mm<sup>2</sup> prochází námrazovou oblastí K, ve které byla dlouhodobým měřením určena hmotnost námrazku na měřicí tyči 4,2 kg.m<sup>-1</sup>. Vypočítejte přetížení normální i zvýšenou námrazou.

1. Parametry vodiče – stejné jako v předchozím příkladu

$$d = 15,65 \text{ mm}$$

$$\text{matematický průřez: } s = 143,48 \text{ mm}$$

$$\text{měrná tíha: } \gamma' = 3,384 \cdot 10^{-2} \text{ N.m}^{-1} \cdot \text{mm}^{-2}$$

2. Vlastní výpočet (**Tabulka 5.4**):

tíha 1 m:

$$g'_1 = \gamma' \cdot s = 143,48 \cdot 3,384 \cdot 10^{-2} = 4,855 \text{ N.m}^{-1}$$

$$t = \sqrt{225 + 795,8 \cdot g_t} - 15 = \sqrt{225 + 795,8 \cdot 4,2} - 15 = 44,73 \text{ mm} - (5.11)$$

$$g_2 = 2,515 + 0,05623 \cdot d = 2,515 + 0,05623 \cdot 15,65 = 3,395 \text{ kg.m}$$

$$g'_2 = 33,30 \text{ N.m}^{-1}$$

$$g_{2z} = 8 + 0,35 \cdot g_2 = 8 + 0,35 \cdot 3,395 = 9,188 \text{ kg.m}$$

$$g'_{2z} = 90,14 \text{ N.m}^{-1}$$

přetížení ( 5.12 ):

$$z = 7,859$$

$$z_z = 19,57$$

**Příklad 5.3:** Vodič AlFe 6 120 mm<sup>2</sup> má závěsné body ve výšce 24 m. Stanovte přetížení pro tyto stavy počasí:

Vodič AlFe 6 120 mm<sup>2</sup> má závěsné body ve výšce 24 m. Stanovte přetížení pro tyto stavy počasí:

a) -5 °C a vítr

b) -5 °C, normální námraza v oblasti S a vítr

$$g'_{2v} = w_o \cdot \left( \frac{v}{29,6} \right)^2 \cdot \alpha \cdot c \cdot (d + t) \cdot \sin^2 \beta$$

$$g'_{2v} = 550 \cdot \left( \frac{33,5}{29,6} \right)^2 \cdot 0,75 \cdot 1,1 \cdot 15,65 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 9,096 \text{ N.m}^{-1}$$

$$z_v = z_c = \frac{\sqrt{g_1'^2 + g_2'^2}}{g_1'} = \frac{\sqrt{9,81^2 \cdot 0,5092^2 + 9,096^2}}{9,81 \cdot 0,5092} = 2,077$$

$v = 33,5 \text{ ms}^{-1}$  **Tabulka 5.5** pro výšku 24 m

$\alpha = 0,75$  **Tabulka 5.5** pro výšku 24 m

$c = 1,1$  pro průměr vodiče  $d < 16 \text{ mm}^2$

**b)** Pro tento stav počasí uvažujeme rychlost větru poloviční.

$$g_2' = 14,74 \text{ N.m}^{-1}$$

$$g_{2v}' = w_o \cdot \left( \frac{v}{29,6} \right)^2 \cdot \alpha \cdot c \cdot (d + t) \cdot \sin^2 \beta$$

$$g_{2v}' = 550 \cdot \left( \frac{0,5 \cdot 33,5}{29,6} \right)^2 \cdot 0,75 \cdot 1,1 \cdot (15,65 + 2 \cdot 27,62) \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 9,364 \text{ N.m}^{-1}$$

$$z_c = \frac{\sqrt{(g_1' + g_2')^2 + g_{2v}'^2}}{g_1'} = \frac{\sqrt{(4,855 + 14,74)^2 + 9,364^2}}{4,855} = 4,473$$

### 5.3 Mechanika venkovního vedení

#### 5.3.1 Křivka zavěšeného vodiče

Vodič zavěšený mezi dvěma body se prohne do průhybové křivky. Pro stanovení jejího analytického vyjádření lze učinit některý z těchto předpokladů:

1) Tíha elementu vodiče závisí na protažení vodiče v daném místě. Křivka vodiče vytvoří tzv. pružnou řetězovku. Nejlépe vystihuje skutečnost. Vytvoří ji pružný a dokonale ohebný vodič po zavěšení. Pro praktické výpočty se však tohoto vyjádření průhybové křivky neužívá.

2) Tíha elementu vodiče je stálá a je dána rovnoměrným rozdělením tíhy po vodiči. Křivka vodiče je v tomto případě vyjádřena rovnicí řetězovky. Počítá se s ní u větších rozpětí nebo u velkých sklonů terénu.

3) Tíha elementu vodiče je stálá a je dána rovnoměrným rozdělením tíhy po spojnicí závěsných bodů. Křivka vodiče je při tomto předpokladu vyjádřena parabolou.

#### 5.3.2 Průhybová křivka jako řetězovka

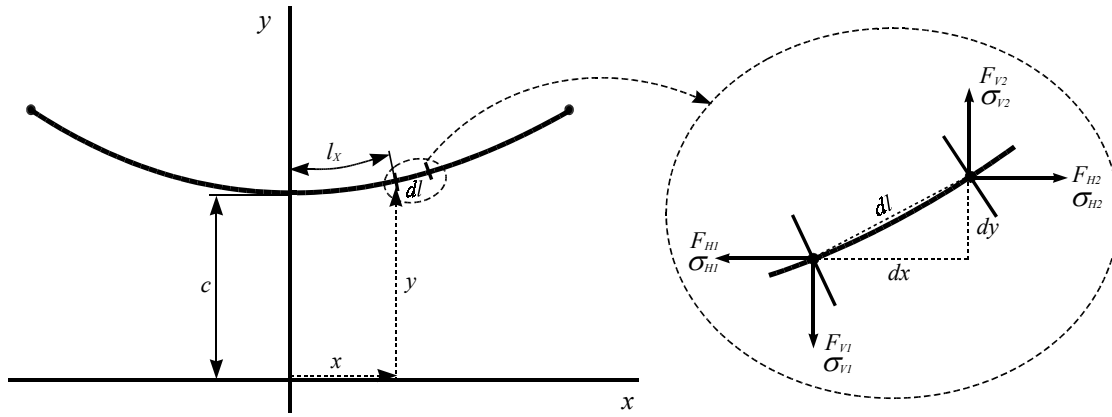
Při odvození analytického vyjádření průhybové křivky se vychází z mechanických podmínek rovnováhy. Těleso – zde vodič – se nachází v klidu, jestliže součet sil na něj působících je nulový a jestliže součet momentů sil k libovolnému bodu je rovněž nulový. Vyjádřeno matematicky:

$$\sum_i F_{xi} = 0 \quad (5.21)$$

$$\sum_i F_{yi} = 0 \quad (5.22)$$

$$\sum_i M_i = 0 \quad (5.23)$$

kde  $F_x, F_y$  je síla ve směru osy  $x$  nebo  $y$  [N]  
 $M$  je moment síly  $F_x$  nebo  $F_y$  k určitému bodu [Nm]



Obrázek 5.5: Průhybová křivka jako řetězovka

Zvolíme element průhybové křivky o délce  $dl$  a budeme zkoumat podmínky jeho rovnováhy. Z podmínky rovnováhy sil v ose  $x$  (5.21) vyplývá, že vodorovná složka síly  $F_H$  i vodorovné namáhání je v každém bodě křivky stejné ( $F_{H1} - F_{H2} = 0$ ). Z podmínky rovnováhy sil v ose  $y$  (5.22) vyplývá, že:

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_{V2} - F_{V1} - g'_1 \cdot dl = 0 \Rightarrow dF_V = g'_1 \cdot dl \quad (5.24)$$

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

$$\frac{dF_V}{dx} = g'_1 \cdot \sqrt{\frac{dx^2 + dy^2}{dx^2}} = g'_1 \cdot \sqrt{1 + \frac{d^2 y}{dx^2}} \quad (5.25)$$

Podmínku rovnováhy momentů (5.23) k počátku souřadné soustavy lze vyjádřit takto:

$$F_V \cdot dx = F_H \cdot dy \rightarrow F_V = \frac{F_H \cdot dy}{dx} \rightarrow \frac{dF_V}{dx} = F_H \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (5.26)$$

dosazením za  $\frac{dF_V}{dx}$  z rovnice (5.26) do (5.25) dostaneme diferenciální rovnici průhybové křivky,

$$g'_1 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{d^2 y}{dx^2}\right)^2} = F_H \frac{d^2 y}{dx^2} \rightarrow g'_1 \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{y'}{dx}\right)^2} = F_H \frac{y'}{dx} \quad (5.27)$$

kteřou po separaci proměnných řešíme integrací:

$$\int \frac{dy'}{\sqrt{1 + (y')^2}} = \int \frac{g'_1}{F_H} dx$$

$$\operatorname{arcsinh}(y') = \frac{g'_1}{F_H} (x + k_1)$$

$$y' = \sinh \left[ \frac{g'_1}{F_H} (x + k_1) \right]$$

$$y = \frac{F_{H1}}{g'_1} \cdot \cosh \left[ \frac{g'_1}{F_H} (x + k_1) \right] + k_2 \quad (5.28)$$

Integrační konstanty  $k_1, k_2$  v rovnici (5.28) lze stanovit z okrajových podmínek. Z Obrázek 5.5 je zřejmé, že pro  $x = 0$  je  $y' = 0, y = c$ :

$$0 = \sinh \left( k_1 \cdot \frac{g'_1}{F_H} \right) \Rightarrow k_1 = 0 \quad (5.29)$$

Dosazením do rovnice (5.28) za  $x = 0, y = c, k_1 = 0$

$$y = c = \frac{F_H}{g_1'} \cdot \cosh\left((0+0) \cdot \frac{g_1'}{F_H}\right) = \frac{F_H}{g_1'} + k_2 \quad (5.30)$$

Veličina  $c$  je parametr křivky:

$$c = \frac{F_H}{g_1'} = \frac{\sigma_H}{\gamma'} \Rightarrow k_2 = 0 \quad (5.31)$$

S uvažováním přetížení námrazou:

$$c = \frac{F_H}{g_1' \cdot z} = \frac{\sigma_H}{\gamma' \cdot z} \quad (5.32)$$

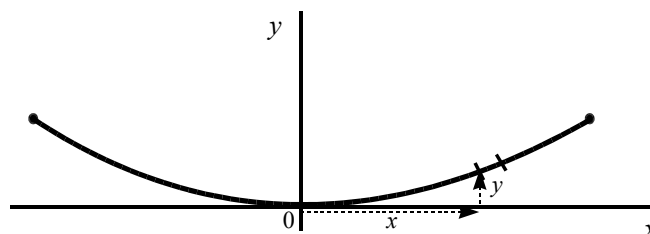
Výsledný tvar rovnice průhybové křivky (řetězovky) je:

$$y = c \cdot \cosh \frac{x}{c} = \frac{\sigma_H}{\gamma' \cdot z} \cdot \cosh \frac{x \cdot \gamma' \cdot z}{\sigma_H} \quad (5.33)$$

kde:	$F_H$	vodorovná složka tahu ve vodiči [N]
	$g_1'$	tíha 1 m vodiče [ $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ]
	$\sigma_H$	vodorovné namáhání ve vodiči [MPa]
	$\gamma'$	měrná tíha vodiče [ $\text{N} \cdot \text{mm}^{-2} \cdot \text{m}^{-1}$ ]
	$z$	přetížení vodiče námrazou (dosadí-li se přetížení větrem, je rovina křivky šikmá, odkloněná do směru výslednice sil)
	$s$	matematický průřez vodiče [ $\text{mm}^2$ ]

### 5.3.3 Průhybová křivka jako parabola

Rovnici křivky lze odvodit stejným způsobem jako u řetězovky, pouze s tím rozdílem, že se uvažuje délka  $x$  místo  $l$  a  $dx$  místo  $dl$ . Odpovídá to předpokladu 3) o tíze elementu vodiče. Rovnici křivky lze získat i zjednodušením rovnice řetězovky – rozvede-li se  $\cosh$  v mocninnou řadu a změní-li se umístění souřadného systému tak, aby křivka ve svém nejnižším bodě procházela počátkem souřadnic.



Obrázek 5.6: Průhybová křivka jako parabola

$$y = c \cdot \left[ 1 + \frac{1}{2!} \left(\frac{x}{c}\right)^2 + \frac{1}{4!} \left(\frac{x}{c}\right)^4 + \dots \right] - c \quad (5.34)$$

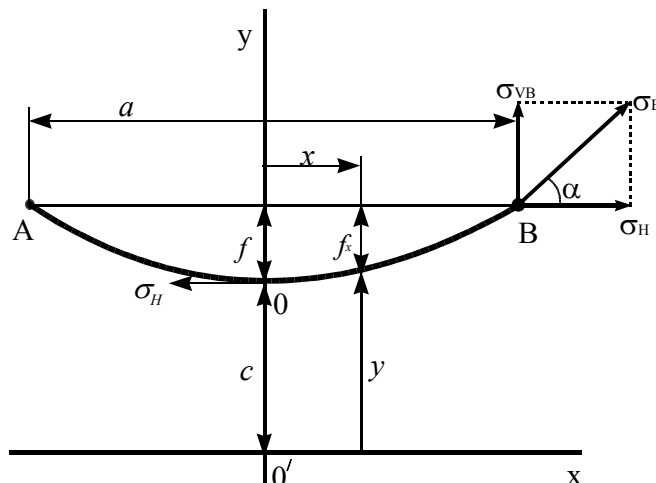
Po zanedbání třetího a dalších členů je konečný tvar rovnice průhybové křivky (paraboly):

$$y = \frac{x^2}{2 \cdot c} = \frac{x^2 \cdot \gamma' \cdot z}{2 \cdot \sigma_H} \quad [\text{m}] \quad (5.35)$$

### 5.3.4 Mechanický výpočet souměrně zavěšeného vodiče

Mechanickým výpočtem vodiče se rozumí stanovení geometrických rozměrů a namáhání vodiče. Obvykle je zapotřebí stanovit maximální průhyb v polovině rozpětí, průhyb v libovolném bodě průhybové křivky, směrnici tečny ke křivce (zejména v závěsném bodě) a délku vodiče. Pokud se týká namáhání, musí se vždy stanovit namáhání v závěsných bodech a jeho složky vodorovné a svislé. Průhyby se počítají pro kontrolu výšky vodiče nad zemí nebo

nad konstrukcemi pod vedením, ostatní geometrické rozměry pro určení namáhání vodiče a závěsných bodů.



Obrázek 5.7: Souměrný závěs

Souměrný závěs je takový, kdy jsou závěsné body A a B ve stejné nadmořské výšce, tzn.

$x_A = x_B = \frac{a}{2}$ ,  $y_A = y_B$ . Vzdálenost mezi nimi se nazývá rozpětí  $a$ .

#### 5.3.4.1 Výpočet maximálního průhybu - $f_m$

a) Řetězovkou

$$f_m = y_B - c = \cos \frac{x_B}{c} - c = c \cdot \cosh \frac{a}{2c} - c = c \cdot \left( \cosh \frac{a}{2c} - 1 \right) \quad (5.36)$$

$$f_m = \frac{\sigma_H}{\gamma' \cdot z} \cdot \left( \cosh \frac{a \cdot \gamma' \cdot z}{2 \cdot \sigma_H} - 1 \right)$$

b) Parabolou

$$f_m = y_B - c = c + \frac{x_B^2}{2c} - c = \frac{a^2}{8c} \quad (5.37)$$

$$f_m = \frac{a^2 \cdot \gamma' \cdot z}{8 \cdot \sigma_H}$$

kde  $c$  je parametr křivky

$a$  je rozpětí pole

#### 5.3.4.2 Výpočet průhybu v libovolném bodě - $f_x$

a) Řetězovkou

$$f_x = y_B - y = c \cdot \cosh \frac{a}{2c} - c \cdot \cosh \frac{x}{c} = c \cdot \left( \cosh \frac{a}{2c} - \cosh \frac{\frac{a}{2} - e}{c} \right) \quad (5.38)$$

b) Parabolou

$$f_x = y_B - y = c + \frac{a^2}{8.c} - c - \frac{x^2}{2.c} = \frac{a^2}{8.c} - \frac{\left(\frac{a}{2} - e\right)^2}{2.c} \quad (5.39)$$

$$f_x = \frac{a^2}{8.c} - \frac{a^2}{8.c} + \frac{a.e}{2.c} - \frac{e^2}{2.c} = \frac{e.(a-e)}{2.c}$$

kde  $e = a/2 - x$

#### 5.3.4.3 Výpočet délky - $l_s$

a) Řetězovky

$$l_s = \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} \sqrt{1+(y')^2} dx = 2 \cdot \int_0^{\frac{a}{2}} \sqrt{1 + \sinh^2 \frac{x}{c}} dx$$

$$l_s = 2 \cdot \int_0^{\frac{a}{2}} \sqrt{\cosh^2 \frac{x}{c} - \sinh^2 \frac{x}{c} + \sinh^2 \frac{x}{c}} dx = 2 \cdot \int_0^{\frac{a}{2}} \cosh \frac{x}{c} dx \quad (5.40)$$

$$l_s = 2 \cdot [\sinh]_0^{\frac{a}{2}} = 2.c \cdot \sinh \frac{a}{2.c}$$

b) paraboly

$$l_s = 2.c \cdot \sinh \frac{x}{c}$$

$$l_s = 2.c \cdot \left( \frac{x}{1!.c} + \frac{x^3}{3!.c^3} + \frac{x^5}{5!.c^5} + \dots \right) = 2 \cdot \left( \frac{a}{2} + \frac{a^3}{3!.2^3.c^2} + \frac{a^5}{5!.2^5.c^4} + \dots \right) \quad (5.41)$$

$$l_s = a + \frac{a^3}{24.c^2}$$

V praxi stačí počítat s prvními dvěma členy.

#### 5.3.4.4 Výpočet mechanického napětí ve vodiči

$$\sigma_B = \frac{\sigma_H}{\cos \alpha} \text{ - viz. Obrázek 5.7}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = y' = \sinh \frac{a}{2.c}$$

$$\frac{1}{\cos \alpha} = \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha + 1} = \sqrt{\sinh^2 \frac{a}{2.c} + \cosh^2 \frac{a}{2.c} - \sinh^2 \frac{a}{2.c}} = \cosh \frac{a}{2.c} = \frac{y_B}{c} = \frac{f_m}{c} + 1$$

Dosazením za  $1/\cos \alpha$

$$\sigma_B = \sigma_H \cdot \left( \frac{f_m}{c} + 1 \right) = f_m \cdot \gamma' \cdot z + \sigma_H \quad (5.42)$$

Z uvedeného vyplývá, že napětí v závěsném bodě ( $\sigma_A = \sigma_B$ ) je rovno součtu horizontálního napětí  $\sigma_H$  ve vrcholu průhybové křivky a napětí způsobené tíhou vodiče a přídatným zatížením o délce  $f_m$ :

$$f_m \cdot \gamma' \cdot z = \frac{f_m \cdot (g'_1 + g'_2)}{S} \cdot \frac{g'_1}{g'_1} \quad (5.43)$$

Vertikální složka namáhání v závěsném bodě  $\sigma_{VB}$ :

$$\sigma_{VB} = \sigma_H \cdot \operatorname{tg} \alpha = \sigma_H \cdot \sinh \frac{a}{2c} = \sigma_H \frac{l_s}{2c} = \frac{l_s}{2} \cdot \gamma' \cdot z \quad (5.44)$$

**Příklad 5.4:** Pro lano 120 AlFe 6 při vodorovném rozpětí  $a = 300 \text{ m}$  v střední námrazové oblasti určete: maximální průhyb, průhyb ve vzdálenosti  $e = 50 \text{ m}$  od závěsného bodu B, délku vodiče mezi podpěrnými body a celkové mechanické napětí v závěsném bodě B.

Dané hodnoty:  $g_2' = 14,74 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ ,  $z = 4,036$  (vypočteny v **Příklad 5.1**)

$S = 149,6 \text{ mm}^2$ ,  $d = 16 \text{ mm}$ ,  $g_1' = 4,408 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,  $E = 68235 \text{ MPa}$ ,

$\alpha = 19,75 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $\sigma_H = 96 \text{ MPa}$  (odečteno z **Tabulka 5.1** a **Tabulka 5.2**)

a) Výpočet pomocí rovnice řetězovky:

- parametr řetězovky-  $c$

$$\gamma' = \frac{g_1'}{S} = \frac{4,408}{149,6 \cdot 10^{-6}} = 0,0295 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$c = \frac{\sigma_H}{\gamma' \cdot z} = \frac{96 \cdot 10^6}{0,0295 \cdot 10^6 \cdot 4,036} = 806,3 \text{ m}$$

- maximální průhyb -  $f_m$  – podle ( 5.36 )

$$f_m = \frac{96 \cdot 10^6}{0,0295 \cdot 10^6 \cdot 4,036} \cdot \left( \cosh \frac{300 \cdot 0,0295 \cdot 10^6 \cdot 4,036}{2 \cdot 96 \cdot 10^6} - 1 \right) = 13,99 \text{ m}$$

- průhyb ve vzdálenosti  $e = 50 \text{ m}$  od závěsného bodu -  $f_x$  – podle ( 5.38 )

$$f_x = 806,3 \cdot \left( \cosh \frac{300}{2 \cdot 806,3} - \cosh \frac{\frac{300}{2} - 50}{806,3} \right) = 7,78 \text{ m}$$

- délka lana v rozpětí (délka řetězovky) -  $l_s$  – podle ( 5.40 )

$$l_s = 2 \cdot 806,3 \cdot \sinh \frac{300}{2 \cdot 806,3} = 301,73 \text{ m}$$

b) Výpočet pomocí rovnice paraboly

- maximální průhyb -  $f_m$  – podle ( 5.37 )

$$f_m = \frac{a^2 \cdot \gamma' \cdot z}{8 \cdot \sigma_H} = \frac{300^2 \cdot 0,0295 \cdot 10^6 \cdot 4,036}{8 \cdot 96 \cdot 10^6} = 13,95 \text{ m}$$

- průhyb ve vzdálenosti  $e = 50 \text{ m}$  od závěsného bodu -  $f_x$  – podle ( 5.39 )

$$f_x = \frac{50 \cdot (300 - 50)}{2 \cdot 806,3} = 7,75 \text{ m}$$

- délka lana v rozpětí (délka paraboly) -  $l_s$  – podle ( 5.41 )

$$l_s = 300 + \frac{300^3}{24 \cdot 806,3^2} = 301,73 \text{ m}$$

c) Mechanické napětí v bodě závěsu -  $\sigma_B$  – podle ( 5.42 )



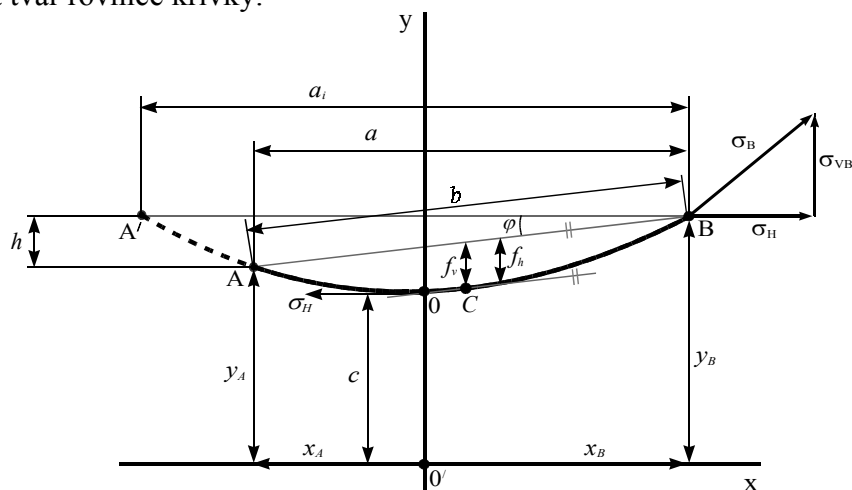
$$\operatorname{tg} \alpha = y' = \sinh \frac{a}{2c} = \sinh \frac{300}{2 \cdot 2806,3} = 0,187$$

$$\alpha = 10,6^\circ$$

$$\sigma_B = \sigma_H \cdot \left( \frac{f_m}{c} + 1 \right) = f_m \cdot \gamma' \cdot z + \sigma_H = 13,95 \cdot 0,0295 \cdot 10^6 \cdot 4,036 + 96 \cdot 10^6 = 97,66 \text{ MPa}$$

### 5.3.5 Mechanický výpočet nesouměrně zavěšeného vodiče

Nesouměrný závěs nemá závěsné body ve stejné výši – rozdíl je převýšení  $h$ . Rozpětím je opět nazvána vodorovná vzdálenost podpěr  $a$ , délka  $b$  je délka šikmého rozpětí. Nesouměrný závěs lze řešit doplněním na závěs souměrný stanovením ideálního rozpětí  $a_i$ . Po umístění os podle obrázků pro řetězovku nebo parabolou má křivka vodiče stejnou rovnici jako u souměrného závěsu. Namáhání a síly se stanoví z podmínek rovnováhy sil v osách  $x$ ,  $y$ . Geometrické rozměry lze stanovit řešením rovnice křivky nebo z podmínek momentové rovnováhy sil k závěsným bodům. Druhý postup je správnější, protože neklade předem požadavek na tvar rovnice křivky.



Obrázek 5.8: Nesouměrný závěs

Z Obrázek 5.8 je zřejmé, že:

$$x_B - x_A = a; \quad a_i = 2 \cdot x_B; \quad h = y_B = y_A; \quad \operatorname{tg} \varphi' = \frac{h}{a}$$

#### 5.3.5.1 Řetězovka

$$h = y_B - y_A = c \cdot \left( \cosh \frac{x_B}{c} - \cosh \frac{x_A}{c} \right) = c \cdot \left( \cosh \frac{x_B}{c} - \cosh \frac{a - x_B}{c} \right) \quad (5.45)$$

Využitím následujících vztahů mezi hyperbolickými funkcemi je možné tento výraz upravit.

$$\cosh \frac{a-x_B}{c} = \cosh \frac{a}{c} \cdot \cosh \frac{x_B}{c} - \sinh \frac{a}{c} \cdot \sinh \frac{x_B}{c}$$

$$\frac{h}{c} = \cosh \frac{x_B}{c} - \cosh \frac{a}{c} \cdot \cosh \frac{x_B}{c} + \sinh \frac{a}{c} \cdot \sinh \frac{x_B}{c} = -\cosh \frac{x_B}{c} \left( \cosh \frac{a}{c} - 1 \right) + \sinh \frac{a}{c} \cdot \sinh \frac{x_B}{c}$$

$$\cosh \frac{a}{c} - 1 = \frac{e^{\frac{a}{c}} - e^{-\frac{a}{c}}}{2} - 1 = 2 \cdot \sinh^2 \frac{a}{2c}$$

$$\sinh \frac{a}{c} = 2 \cdot \sinh \frac{a}{2c} \cdot \cosh \frac{a}{2c}$$

$$\frac{h}{c} = -\cosh \frac{x_B}{c} \cdot 2 \cdot \sinh^2 \frac{a}{2c} + 2 \cdot \sinh \frac{a}{2c} \cdot \cosh \frac{a}{2c} \cdot \sinh \frac{x_B}{c}$$

$$\frac{h}{c} = 2 \cdot \sinh \frac{a}{2c} \left( \sinh \frac{x_B}{c} \cosh \frac{a}{2c} - \cosh \frac{x_B}{c} \sinh \frac{a}{2c} \right)$$

Výsledkem je vztah:

$$\frac{h}{2 \cdot c \cdot \sinh \frac{a}{2c}} = \sinh \frac{x_B}{c} - \frac{a}{2c} = \frac{h}{l_s} \quad (5.46)$$

V rovnici ( 5.46 ) je  $h$ ,  $a$ ,  $c$  známé, řešením lze stanovit  $x_A$ ,  $x_B$  a ideální rozpětí  $a_i$  a poté umístit osy.

$$\frac{h}{l_s} = p = \sinh \left( \frac{x_B}{c} - \frac{a}{2c} \right) \Rightarrow \frac{x_B}{c} - \frac{a}{2c} = \arg \sinh p$$

$$x_B = c \cdot \arg \sinh p + \frac{a}{2}$$

$$x_A = a - x_B = \frac{a}{2} - c \cdot \arg \sinh p$$

$$a_i = 2 \cdot x_B = a + 2 \cdot c \cdot \arg \sinh p$$

Jestliže je  $h \ll l_s$  lze vztahy zjednodušit na základě:  $\sinh \alpha \cong \alpha$ ,  $n \cong p$  a  $l_s \cong a$ :

$$x_B = \frac{a}{2} + \frac{\sigma_H \cdot h}{a \cdot \gamma' \cdot z}$$

$$x_A = \frac{a}{2} - \frac{\sigma_H \cdot h}{a \cdot \gamma' \cdot z}$$

$$a_i = a + \frac{2 \cdot \sigma_H \cdot h}{a \cdot \gamma' \cdot z} = a + \frac{a \cdot h}{4 \cdot f_m}$$

Vrchol průhybové křivky nemusí padnout mezi závěsné body. Je-li  $x_A > 0$ , je vrchol mimo skutečné rozpětí. Vodič svým tahem spodní izolátor nadzvedá. Takový případ může nastat zvláště při maximálním zkrácení vodiče při extrémně nízkých teplotách na svahu se značným sklonem. Izolátor je třeba zatížit závažím nebo uchytit zespodu dalším izolátorem.

Po umístění os lze z rovnice křivky stanovit potřebné geometrické rozměry:

- maximální průhyb ideálního pole –  $f_m$

$$f_{mi} = y_B - c = c \cdot \cosh \frac{x_B}{c} - c = \frac{a_i^2 \cdot \gamma'}{8 \cdot \sigma_H} \quad (5.47)$$

- průhyb v libovolném bodě šikmého pole -  $f_x$

$$f_x = y_B - y_X = c \cdot \cosh \frac{x_B}{c} - c \cdot \cosh \frac{x}{c} = c \cdot \left( \cosh \frac{a_i}{2c} - \cosh \frac{x}{c} \right) \quad (5.48)$$

- charakteristický průhyb -  $f_h$

$$f_h = f_m \cdot \cosh \frac{x_A + x_B}{2c} = f_m \cdot \cosh \frac{a}{2c} \quad (5.49)$$

- viditelný průhyb -  $f_v$

$$f_v = \frac{a^2 \cdot g'_1}{8 \cdot F_H} \cdot \frac{a_i}{a} = f_{mi} \cdot \frac{a_i}{a} \quad (5.50)$$

- délku nesouměrné řetězovky -  $l_{AB}$

$$l_{AB} = \int_{-x_A}^0 \sqrt{1 + y'^2} dx + \int_0^{x_B} \sqrt{1 + y'^2} dx = c \cdot \sinh \frac{x_B}{c} + c \cdot \sinh \frac{x_A}{c} \quad (5.51)$$

Průhyby se u šikmého rozpětí měří od spojnice skutečných závěsných bodů  $A, B$  pro vodič. Charakteristický průhyb je průhyb uprostřed rozpětí. Viditelný průhyb je průhyb v tečném bodě tečny rovnoběžné se spojnicí závěsných bodů.

Vodorovná složka namáhání  $\sigma_H$  je opět stejná v každém bodě vodiče. Svislé složky namáhání  $\sigma_{VA}, \sigma_{VB}$  jsou dány podmínkou rovnováhy sil v ose  $y$  – jsou tedy stejně jako u vodorovného závěsu určeny měrnou tíhou oblouku od dolu  $0$  po závěsný bod  $A, B$ :

$$\sigma_{VA} = l_{0A} \cdot \gamma' \cdot z \quad (5.52)$$

$$\sigma_{VB} = l_{0B} \cdot \gamma' \cdot z \quad (5.53)$$

Vztahy se také dají odvodit z rovnoběžníku sil v závěsném bodě a známého úhlu  $\alpha$ .

### 5.3.5.2 Parabola

Předpokládáme-li že křivka má po doplnění na souměrný závěs rovnici paraboly, lze odvodit pro ideální rozpětí:

$$h = y_B - y_A = \frac{1}{2c} (x_B^2 - x_A^2) = \frac{1}{2c} \left[ \frac{a_i^2}{4} - \frac{(a_i - 2a)^2}{4} \right] \quad (5.54)$$

$$h = \frac{1}{8c} (a_i^2 - a_i^2 - 4a^2 + 4a_i a)$$

z toho:

$$\frac{2c \cdot h}{a} = a_i - a \quad \Rightarrow \quad a_i = a + \frac{2c \cdot h}{a} \quad (5.55)$$

Vztah lze též odvodit z podmínky momentové rovnováhy sil k bodům  $B, A$ . Tento postup je správnější, protože neklade předem požadavek na tvar rovnice křivky. Po umístění os lze stanovit potřebné geometrické rozměry. V případě paraboly viditelný průhyb  $f_v$  splývá s průhybem charakteristickým  $f_h$  – bod  $C$  je u paraboly uprostřed rozpětí.

Důkaz: tečna v bodě  $C$  má směrnici:

$$y'(xc) = \operatorname{tg} \varphi = \frac{h}{a}$$

tedy:

$$\frac{xc}{c} = \frac{h}{a} \quad \Rightarrow \quad xc = \frac{c \cdot h}{a} = \frac{a_i - a}{2} - \text{střed rozpětí}$$

Pro průhyb v tomto bodě lze odvodit výraz z podmínky momentové rovnováhy sil. Element vodiče na **Obrázek 5.8** je v klidu, síly i momenty musí být v rovnováze. Uvažujme například momenty k bodu C (středu rozpětí):

$$\sigma_c \cdot s \cdot f_V \cdot \cos \varphi = \gamma' \cdot z \cdot s \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{a}{4}$$

$$\sigma_c \cdot f_V = \gamma' \cdot z \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{a}{4 \cdot \cos \varphi} = \gamma' \cdot z \cdot \frac{b^2}{8}$$

z toho:

$$f_V = \frac{b^2 \cdot \gamma' \cdot z}{8 \sigma_c} \quad (5.56)$$

Tento způsob odvození je přesnější, lépe odpovídá skutečnosti než použití rovnice křivky (5.50). Je to způsobeno tím, že rovnice křivky pracuje s předpokladem rovnoměrného rozdělení tíhy po spojnici závěsných bodů ideálního rozpětí, tedy po délce  $a$ . Při odvození vztahu pro  $f_V$  se použilo předpokladu rovnoměrného rozdělení tíhy po spojnici skutečných závěsných bodů, tedy po délce  $b$ . Pokud lze však uvažovat  $\cos \varphi = 1$ , jsou rozdíly nepodstatné.

Namáhání vodiče v závěsných bodech se určí z podmínek rovnováhy sil. Z nich například vyplývá:

$$\sigma_{VB} = \frac{1}{2} b \cdot \gamma' \cdot z + \sigma_{VC} = \frac{1}{2} b \cdot \gamma' \cdot z + \sigma_H \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (5.57)$$

$$\sigma_{VA} = \frac{1}{2} b \cdot \gamma' \cdot z - \sigma_{VC} = \frac{1}{2} b \cdot \gamma' \cdot z - \sigma_H \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (5.58)$$

**Příklad 5.5:** Pro lano 240 AlFe 6 zavěšené v šikmém rozpětí  $a = 300$  m,  $h = 40$  m, ve střední námrazové oblasti určete:

- ideální rozpětí  $a_i$
- maximální průhyb ideálního pole  $f_{mi}$
- průhyb ve vzdálenosti 90 m od závěsného bodu B  $f_{90}$
- charakteristický průhyb  $f_h$
- viditelný průhyb  $f_v$
- délku vodiče mezi závěsnými body  $l_{AB}$
- vertikální složku mechanického napětí v závěsných bodech  $\sigma_{VA}$ ,  $\sigma_{VB}$

Dané hodnoty:  $S = 267,78$  mm<sup>2</sup>,  $d = 21,35$  mm,  $g_1' = 7,698$  N.m,  $E = 61256,54$  MPa,

$$\alpha = 19,75$$
 °C<sup>-1</sup>,  $\sigma_H = 90$  MPa (odečteno z **Tabulka 5.1** a **Tabulka 5.2**)

Výpočet přetížení (5.12) normálním námrazkem pro námrazovou oblast S podle **Tabulka 5.3**:

$$g_2' = 9,81(0,9589 + 0,03472 \cdot d) = 0,9589 + 0,03472 \cdot 21,35 = 16,66 \text{ N.m}^{-1}$$

$$z = \frac{g_1' + g_2'}{g_1'} = \frac{7,698 + 16,66}{7,698} = 3,164$$

Výpočet parametru řetězovky:

$$\gamma' = \frac{g_1'}{S} = \frac{7,698}{267,78 \cdot 10^{-6}} = 0,0287 \cdot 10^6 \text{ N.m}^{-3}$$

$$c = \frac{\sigma_H}{\gamma' \cdot z} = \frac{90 \cdot 10^6}{0,0287 \cdot 10^6 \cdot 3,164} = 991,12 \text{ m}$$

Výpočet zadaných hodnot:

$$a_i = 300 + \frac{2 \cdot 991,12 \cdot 40}{300} = 564,3 \text{ m} - \text{podle ( 5.55 )}$$

$$f_{mi} = 991,12 \cdot \left( \cosh \frac{564,3}{2 \cdot 991,12} - 1 \right) = 40,43 \text{ m} - \text{podle ( 5.47 )}$$

$$f_{90} = 991,12 \cdot \left( \cosh \frac{564,3}{2 \cdot 991,12} - \cosh \frac{564,3 - 2 \cdot 90}{2 \cdot 991,12} \right) = 21,75 \text{ m} - \text{podle ( 5.48 ) pro } x = 90 \text{ m}$$

$$f_h = 991,12 \cdot \left( \cosh \frac{300}{2 \cdot 991,12} - 1 \right) \cdot \cosh \frac{300}{2 \cdot 991,12} = 12,32 \text{ m} - \text{podle ( 5.49 )}$$

$$f_v = f_{mi} \cdot \frac{a_i}{a} = 40,43 \cdot \frac{564,3}{300} = 76,05 \text{ m} - \text{podle ( 5.50 )}$$

$$l_{AB} = l_{0B} + l_{0A} = 991,12 \cdot \sinh \frac{264,3}{991,12} + 991,12 \cdot \sinh \frac{35,7}{991,12} = 303,83 \text{ m} - \text{podle ( 5.51 )}$$

$$\text{kde } x_B = 150 + \frac{90 \cdot 10^6 \cdot 40}{150 \cdot 0,0287 \cdot 10^6 \cdot 3,164} = 264,3 \text{ m}; \quad x_A = 150 - \frac{90 \cdot 10^6 \cdot 40}{150 \cdot 0,0287 \cdot 10^6 \cdot 3,164} = 35,7 \text{ m}$$

$$\sigma_{VA} = l_{0A} \cdot \gamma' \cdot z = 17,851 \cdot 0,0287 \cdot 10^6 \cdot 3,164 = 1,621 \text{ MPa} - \text{podle ( 5.52 )}$$

$$\sigma_{VB} = l_{0B} \cdot \gamma' \cdot z = 267,44 \cdot 0,0287 \cdot 10^6 \cdot 3,164 = 24,28 \text{ MPa} - \text{podle ( 5.53 )}$$

## 5.4 Stavová rovnice zavěšeného vodiče

Při změnách teplot a přetížení se mění mechanické napětí ve vodiči a také jeho průhyb. Mechanický výpočet se provádí pro takové klimatické podmínky, při kterých vzniká max. průhyb nebo největší mechanické napětí. Vodiče se však montují při různých klimatických podmínkách. Mechanické napětí a průhyb při montáži musí mít takové hodnoty, které se při nejnepříznivějších klimatických podmínkách nezmění nad dovolené maximální hodnoty.

### 5.4.1 Odvození stavové rovnice

Změna teploty z  $\vartheta_0$  na  $\vartheta_1$  ( $\vartheta_1 > \vartheta_0$ ) způsobí:

a) prodloužení vodiče:

$$\Delta l_g = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta \vartheta = \alpha \cdot l_0 \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) \quad (5.59)$$

b) zkrácení vodiče (zvětšení průhybu  $\Rightarrow$  snížení mechanického napětí):

$$\Delta l_\sigma = \frac{l_0}{E} \cdot \Delta \sigma_H = \frac{l_0}{E} (\sigma_{H_0} - \sigma_{H_1}) \quad (5.60)$$

Výsledná změna délky vodiče:

$$\Delta l = \Delta l_g - \Delta l_\sigma = \alpha \cdot l_0 \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) - \frac{l_0}{E} (\sigma_{H_0} - \sigma_{H_1}) \quad (5.61)$$

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) + \frac{l_0}{E} (\sigma_{H_1} - \sigma_{H_0})$$

Dosazením za  $\Delta l = l_1 - l_0$  dostaneme stavovou rovnici:

$$l_1 + l_0 = \alpha l_0 (\vartheta_1 - \vartheta_0) + \frac{l_0}{E} (\sigma_{H_1} - \sigma_{H_0})$$

$$a + \frac{a^3}{24 c_1^2} - \left( a + \frac{a^3}{24 c_0^2} \right) = \alpha l_0 (\vartheta_1 - \vartheta_0) + \frac{l_0}{E} (\sigma_{H_1} - \sigma_{H_0}) \quad (5.62)$$

$$\frac{a^3 (\gamma' z_1)^2}{24 \sigma_{H_1}^2} - \frac{a^3 (\gamma' z_0)^2}{24 \sigma_{H_0}^2} = \alpha l_0 (\vartheta_1 - \vartheta_0) + \frac{l_0}{E} (\sigma_{H_1} - \sigma_{H_0}) / E \sigma_{H_1}^2$$

Při výpočtu parabolou můžeme uvažovat, že  $l_0 = a$ :

$$\frac{a^2 (\gamma' z_1)^2 E}{24} - \frac{a^2 (\gamma' z_0)^2 E}{24 \sigma_{H_0}^2} E \sigma_{H_1}^2 = \alpha (\vartheta_1 - \vartheta_0) E \sigma_{H_1}^2 + (\sigma_{H_1} - \sigma_{H_0}) \sigma_{H_1}^2$$

$$\sigma_{H_1}^3 + \sigma_{H_1}^2 \left[ \frac{\gamma'^2 E}{24} \left( \frac{a z_0}{\sigma_{H_0}} \right)^2 + \alpha E (\vartheta_1 - \vartheta_0) - \sigma_{H_0} \right] = \frac{\gamma'^2 E}{24} (a z_1)^2 \quad (5.63)$$

Protože  $\alpha$ ,  $\gamma'$ ,  $E$  jsou pro určitý materiál konstantami lze stavovou rovnici na následující tvar:

$$\sigma_{H_1}^3 + \sigma_{H_1}^2 \left[ A \left( \frac{a z_0}{\sigma_{H_0}} \right)^2 + B (\vartheta_1 - \vartheta_0) - \sigma_{H_0} \right] = A (a z_1)^2$$

(5.64)

kde

$$A = \frac{\gamma'^2 E}{24}, B = \alpha E$$

#### 5.4.2 Kritické rozpětí

Změnou teploty se mění mechanické napětí ve vodiči. S poklesem teploty se vodič zkracuje a roste mechanické napětí v něm. Může se stát, že při nízkých teplotách, je vodič více namáhán než při  $-5^\circ\text{C}$  a přetížení normálním námrazkem. Proto se určuje tzv. kritické rozpětí, při kterém je vodič namáhán stejně jako při  $-5^\circ\text{C}$  a přetížení normálním námrazkem a parametrem je teplota. Obvykle se určuje kritické rozpětí pro  $-30^\circ\text{C}$ . Skutečná rozpětí by neměla být menší než kritická rozpětí při dané teplotě.

Kritické rozpětí se určí ze stavové rovnice za těchto předpokladů:

$$\sigma_{H_1} = \sigma_{H_0}, \vartheta_0 = -5^\circ\text{C}, z_1 = 1, a = a_{krit}$$

$$\sigma_{H_0}^3 + \sigma_{H_0}^2 \left[ \frac{\gamma'^2 E}{24} \left( \frac{a z_0}{\sigma_{H_0}} \right)^2 + \alpha E (\vartheta_1 + 5) - \sigma_{H_0} \right] = \frac{\gamma'^2 E}{24} a^2$$

$$a_{krit}(\vartheta_1) = \frac{\sigma_{H_0}}{\gamma'} \sqrt{\frac{24 \alpha (-\vartheta_1 - 5)}{z_0^2 - 1}} \quad (5.65)$$

#### 5.4.3 Kritická teplota

Je to teplota, při které je průhyb vodiče stejný jako při  $-5^\circ\text{C}$  a přetížení normálním námrazkem. Z této definice vyplývá, že prodloužení vodiče vlivem této teploty je stejné jako jeho pružné zkrácení vlivem změny mechanického napětí.

$$\Delta l_g = \Delta l_\sigma$$

Předpoklady výpočtu:

$$\vartheta_1 = \vartheta_{krit}, \quad \vartheta_0 = -5^\circ C, \quad \sigma_{H1} = \frac{\sigma_{H0}}{z_0}, \quad z_1 = 1, \quad z_1 = 1,$$

Dosažením za  $\Delta l_g$  a  $\Delta l_\sigma$  z rovnic ( 5.59 ) a ( 5.60 ) dostaneme výraz pro výpočet kritické teploty  $\vartheta_{krit}$  :

$$\begin{aligned} \Delta l_g &= \Delta l_\sigma \\ l_0 \cdot \alpha \cdot (\vartheta_{krit} - \vartheta_0) &= \frac{l_0}{E} \cdot \left( \sigma_{H0} - \frac{\sigma_{H0}}{z_0} \right) \\ \vartheta_{krit} &= \frac{1}{\alpha \cdot E} \cdot \left( \sigma_{H0} - \frac{\sigma_{H0}}{z_0} \right) - 5 = \frac{\sigma_{H0}}{\alpha \cdot E} \cdot \left( \frac{z_0 - 1}{z_0} \right) - 5 \end{aligned} \quad ( 5.66 )$$

Z uvedeného vztahu je patrné, že kritická teplota nezávisí na rozpětí. Je třeba ji však porovnat s maximální teplotou (podle [ 7 ])  $\vartheta = 40^\circ C$ . Mohou nastat tyto případy:

- $\vartheta_{krit} > 40^\circ C \Rightarrow$  maximální průhyb nastává při  $-5^\circ C$  a přetížení normálním námrazkem
- $\vartheta_{krit} = 40^\circ C \Rightarrow$  průhyb při  $-5^\circ C$  a přetížení normálním námrazkem se rovná průhybu při  $40^\circ C$
- $\vartheta_{krit} < 40^\circ C \Rightarrow$  maximální průhyb nastává při  $40^\circ C$ .

Tyto poznatky jsou důležité při projektování - musí být známo, při kterém stavu počasí bude vodič nejbližší zemi.

**Příklad 5.6:** Pro lano 240 Al Fe 6 vypočítejte kritické rozpětí při  $-30^\circ C$ , kritickou teplotu a mechanické napětí při kritické teplotě (námrazová oblast S).

Dané hodnoty:  $S = 267,78 \text{ mm}^2$ ,  $d = 21,35 \text{ mm}$ ,  $g_1' = 7,698 \text{ N.m}$ ,  $E = 61256,54 \text{ MPa}$ ,

$$\alpha = 19,75 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ C^{-1}, \quad \sigma_H = 90 \text{ MPa} \quad (\text{odečteno z Tabulka 5.1 a Tabulka 5.2})$$

$$\gamma' = \frac{g_1'}{S} = \frac{7,698}{267,78 \cdot 10^{-6}} = 0,0287 \cdot 10^6 \text{ N.m}^{-3}$$

Přetížení námrazou ( 5.12 ) normálním námrazkem pro námrazovou oblast S - **Tabulka 5.3:**

$$g_2' = 9,81(0,9589 + 0,03472 \cdot d) = 9,81(0,9589 + 0,03472 \cdot 21,35) = 16,66 \text{ Nm}^{-1}$$

$$z = \frac{g_1' + g_2'}{g_1'} = \frac{7,698 + 16,66}{7,698} = 3,164$$

$$a_{krit}(\vartheta_1) = \frac{\sigma_{H0}}{\gamma'} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha \cdot (-\vartheta_1 - 5)}{z_0^2 - 1}} = \frac{90 \cdot 10^6}{0,0287 \cdot 10^6} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 19,75 \cdot 10^{-6} \cdot (30 - 5)}{3,164^2 - 1}} = 113,70 \text{ m}$$

$$\vartheta_{krit} = \frac{\sigma_{H0}}{\alpha \cdot E} \cdot \left( \frac{z_0 - 1}{z_0} \right) - 5 = \frac{90 \cdot 10^6}{61256,54 \cdot 10^6 \cdot 19,75 \cdot 10^{-6}} \cdot \left( \frac{3,164 - 1}{3,164} \right) - 5 = 45,9^\circ C$$

#### 5.4.4 Řešení stavové rovnice

Stavová rovnice je rovnice 3. řádu. Lze ji řešit těmito způsoby:

##### 5.4.4.1 Numerické řešení

Lze použít jakoukoliv numerickou metodu pro řešení algebraických rovnic vyššího stupně. Například Newtonovu. Stavová rovnice se přepíše do tvaru:

$$\begin{aligned} \sigma_{H1}^3 + \sigma_{H1}^2 \cdot M &= N \\ \sigma_{H1}^2 \cdot (\sigma_{H1} + M) &= N \end{aligned}$$

Vypočítají se koeficienty M a N

$$M = \left[ \frac{\gamma'^2 \cdot E}{24} \cdot \left( \frac{a \cdot z_0}{\sigma_{H0}} \right)^2 + \alpha \cdot E \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_0) - \sigma_{H0} \right]$$

$$N = \frac{\gamma^2 \cdot E}{24} \cdot a^2 \cdot z_1^2$$

a odhadne se hodnota  $\sigma_{H1k}$  – pro první krok iterace. Dosazením do rovnice:

$$\sigma_{H1k+1} = \sigma_{H1k} - \frac{f(\sigma_{H1k})}{f'(\sigma_{H1k})}$$

se vypočítá hodnota pro další iterační krok. Výpočet je ukončen v okamžiku kdy je přesnost  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon \geq |\sigma_{H1k} - \sigma_{H1k+1}|$$

#### 5.4.4.2 Řešení pomocí abaku

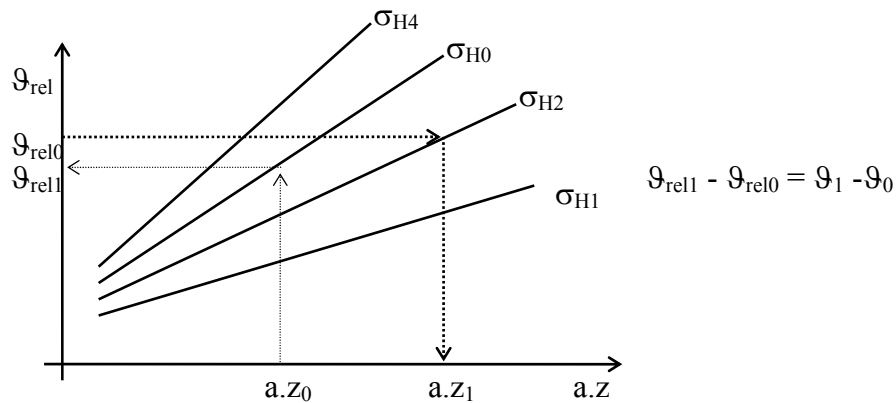
Abak je grafickým vyjádřením stavové rovnice, které vychází z následující úpravy:

$$\vartheta_1 - \vartheta_0 = \frac{a^2 \cdot (\gamma \cdot z_1)^2}{24 \cdot \sigma_{H1}^2 \cdot \alpha} - \frac{1}{\alpha \cdot E} \cdot \sigma_{H1} - \frac{a^2 \cdot (\gamma \cdot z_0)^2}{24 \cdot \sigma_{H0}^2 \cdot \alpha} - \frac{1}{\alpha \cdot E} \cdot \sigma_{H0}$$

Z uvedeného vztahu je vidět, že rozdíl konečné a počáteční teploty ( relativní teplota ) je dán rozdílem dvou funkcí:

$$\vartheta_{rel} = \frac{a^2 \cdot (\gamma \cdot z)^2}{24 \cdot \sigma_H^2 \cdot \alpha} - \frac{1}{\alpha \cdot E} \cdot \sigma_H$$

Je-li  $\sigma_H$  konstantní, je to rovnice paraboly s proměnnou  $a \cdot z$ . Jestliže se na osu  $y$  vynášejí hodnoty  $\vartheta_{rel}$  a na logaritmickou osu  $x$  hodnoty  $a \cdot z$ , dostáváme soustavu přímek pro různá mechanická napětí  $\sigma_H$



**Obrázek 5.9:** Princip řešení stavové rovnice abakem

Tento způsob řešení stavové rovnice se již nepoužívá, protože je poměrně nepřesný a v současné době je možno pro řešení stavové rovnice využít počítačových programů.



## 6 Dimenzování vodičů

### 6.1 Zásady dimenzování

Vodiče silnoproudého elektrického rozvodu se musí v provozních poměrech dimenzovat tak, aby:

- jejich provozní teplota nebyla vyšší než je dovoleno
- průřezy vodičů byly v hospodárných mezích
- vodiče byly dostatečně mechanicky pevné
- úbytek napětí ve vodičích byl ve stanovených mezích
- vodiče odolávaly dynamickým a tepelným účinkům zkratových proudů

### 6.2 Dimenzování vodičů dle dovolené provozní teploty [ 9]

Z hospodářských a bezpečnostních důvodů nelze připustit, aby oteplení vodičů dosáhlo v provozu velkých hodnot. Vysoké teploty vedou k rekrystalizaci materiálu a tím ke změně mechanických vlastností. Spojení vodičů zvyšují vlivem velkých teplot svůj přechodový odpor. Izolace vodičů vlivem teploty rychleji stárne a znehodnocuje se. Z těchto důvodů se normativně stanoví nejvyšší dovolená trvalá provozní teplota  $\vartheta_{\text{dov}}$  a tím proud, kterým lze vodič při daných podmínkách trvale zatěžovat.

Provozní teplota  $\vartheta_z$  a tím i přípustné zatížení vodičů v normálních provozních stavech (tj. ustálená teplota) závisí na:

- a) charakteristice vodiče nebo kabelu,
- b) charakteristice provozu,
- c) charakteristice prostředí,
- d) charakteristice uložení.

#### 6.2.1 Charakteristika vodiče

Základní charakteristikou vodičů z hlediska probírané problematiky je dovolená provozní teplota jader vodičů  $\vartheta_z$ . Je závislá na druhu izolace a jmenovitém napětí a je dána normativně v ČSN - viz

Tabulka 6.9. Dalšími charakteristickými veličinami jsou časové oteplovací a ochlazovací konstanty potřebné pro dimenzování při krátkodobém nebo přerušovaném chodu nebo zatížení a činný odpor.

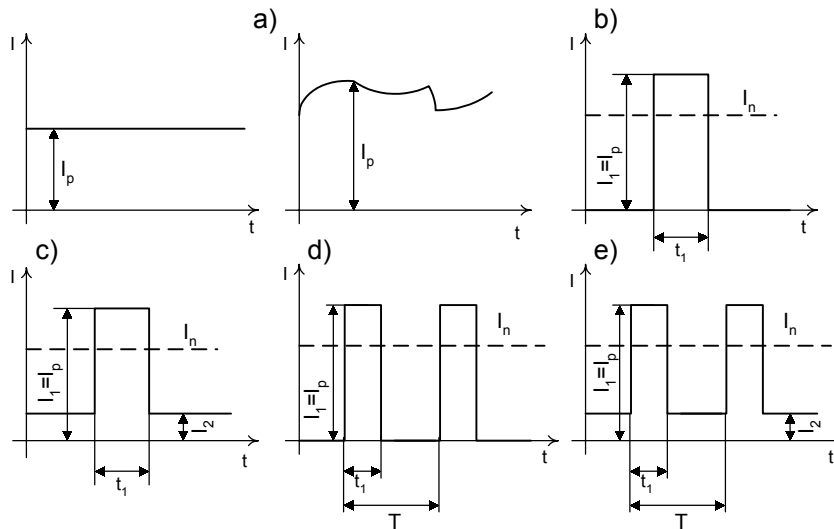
#### 6.2.2 Charakteristiky provozu

Základní charakteristikou provozu je proud  $I$  a jeho časový průběh. Při výpočtu tohoto proudu se za základ bere výpočtový výkon  $P_p$  a jeho účinník - viz kap. 3. **Obrázek 6.1** zobrazuje základní typické časové průběhy zatížení: případ **a)** je zatížení s malými a pomalými změnami, tzv. zatížení stálé - jeho skutečný a idealizovaný průběh; případ **b)** je krátkodobý chod; **c)** krátkodobé zatížení; případ **d)** a **e)** představují přerušovaný chod a přerušované zatížení. U cyklických průběhů zatížení je též vyznačen proud  $I_N$ . Je to stálý proud zvoleného vodiče, který ohřeje jádro vodiče na dovolenou provozní teplotu  $\vartheta_z$ . Na stejnou teplotu by daný vodič ohřál proměnný proud o velikosti  $I_z$  vyznačený na obrázu čárkovaně. Proud skutečně protékající vodičem nesmí být proto větší než  $I_z$  ( $I_p = I_l \leq I_z$ ). Vztah mezi  $I_n$  a  $I_z$  je dán tzv. přepočítacím činitelem  $k$  jenž je u krátkodobého chodu a zatížení funkcí doby  $t_l$  a poměru  $I_2/I_n$ . U přerušovaného chodu a zatížení je funkcí zatěžovatele  $\xi$  a poměru  $I_2/I_N$ . Závisí rovněž

na zvoleném vodiči, přesněji řečeno na jeho oteplovacích časových konstantách a je tabelárně uveden v ČSN. Stálý proud vodiče  $I_N$  leží vždy v mezích  $I_2 \leq I_N \leq I_z$ .

Zatěžovatel  $\xi$  je definován vztahem  $\xi = \frac{t_1}{T}$

Poznámka: Zatěžovací cyklus při krátkodobém chodu nebo zatížení se může po určité době klidu znovu opakovat. Podmínkou je, aby se vodič v době klidu ochladil na teplotu odpovídající zatížení proudem  $I_2$ . V případě krátkodobého chodu, kdy  $I_2 = 0$ , je to teplota okolí. Doba klidu musí být tedy alespoň 4 až 5 násobek časové oteplovací konstanty.



Obrázek 6.1: Různé průběhy zatížení vodičů

### 6.2.3 Charakteristika prostředí

Okolí vodiče má zásadní význam pro odvod tepla vzniklého ve vodiči provozním proudem a tím ovlivňuje výslednou provozní teplotu jader vodičů. Mezi charakteristiky prostředí patří:

- druh prostředí (vzduch, voda, půda),
- teplota prostředí  $\vartheta_0$  [°C]
- tepelný odpor půdy  $H$  [°Cm/W]

U teploty prostředí a tepelného odporu třeba důsledně rozlišovat hodnoty základní a hodnoty maximální skutečné. Základní hodnoty jsou výchozími pro stanovení proudu  $I_n$  - tzn. jmenovité proudové zatížitelnosti daného vodiče. Skutečné maximální hodnoty se pak použijí pro přepočítání tohoto proudu na  $I_z$  pomocí přepočítávacích činitelů. Je-li např. teplota okolí vyšší než teplota základní (Tabulka 6.2, Tabulka 6.3, Tabulka 6.4) je ztížen odvod tepla z vodiče. Aby nebyla překročena teplota  $\vartheta_z$  je nutné proudovou zatížitelnost takového vodiče snížit ( $I_z < I_n$ ). V opačném případě, je-li teplota okolí menší než základní, je možné proudovou zatížitelnost zvýšit bez nebezpečí, že by se překročila dovolená provozní teplota  $\vartheta_z$  ( $I_z > I_n$ ).

Skutečná teplota okolí je však veličinou proměnnou, mění se během roku i během dne, závisí na nadmořské výšce aj. Tuto skutečnost však nelze pro dimenzování využít.

Obdobné důsledky na přípustný proud vodiče má i tepelný odpor půdy, v níž je vodič uložen. Je-li skutečný tepelný odpor větší než základní hodnota, je vodič méně ochlazován a je nutno snížit zatížitelnost vodiče pod  $I_n$  a naopak. Tepelný odpor půdy je též veličinou značně proměnnou. Závisí na:

- typu půdy (písečná, hlinitá, jílovitá, ...),
- kompaktnosti a měrné hmotnosti půdy,
- obsahu vlhkosti.

**Tabulka 6.1:** Informativní hodnoty měrného tepelného odporu půdy různého složení a vlhkosti (tab. 52-NF8 z [ 9])

Půda nebo jiný materiál	Měrný tepelný odpor K . m/W
<b>Půda mírně zvlhlá</b>	
jílovitá (8 – 12 % vlhkosti)	1,10
hlinitá (4 – 8 % vlhkosti)	1,40
písčitá (2 – 5 % vlhkosti)	0,70
<b>Půda vlhká</b>	
jílovitá (30 – 40 % vlhkosti)	0,70
hlinitá (20 – 30 % vlhkosti)	0,75
písčitá (10 – 20 % vlhkosti)	0,5
Černá zem (30 – 40 % vlhkosti)	0,45
Žula	0,35
Vápenec	0,60
Křída	1,00
Beton	0,80 – 1,1
Zeď z vlhkých cihel	1,10
Zeď ze suchých cihel	1,90
Zeď z kamene	0,50

Tepelný odpor není stejný ani podél kabelové trasy. Závisí na hloubce, na výšce spodní vody, intenzitě srážek, nadmořské výšce, teplotě. Závisí též na způsobu provozu, neboť ztrátami v kabelu se ohřívá půda v jeho okolí a vysušuje se. Tím roste tepelný odpor. Pro dimenzování se proto používá maximálních hodnot.

**Tabulka 6.2:** Přepočítávací součinitelé pro pro okolní teploty vzduchu odlišné od 90°C (tab. 52-NF21 z [ 9])

Nejvyšší dovolená provozní teplota jádra [°C]	Teplota prostředí [°C]									
	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115
130	1,22	1,17	1,12	1,06	1,0	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
180	1,11	1,08	1,05	1,03	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85
200	1,09	1,07	1,04	1,02	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

**Tabulka 6.3:** Přepočítávací součinitelé pro okolní teploty vzduchu odlišné od 30 °C (tab. 52-NF20 z [ 9])

Nejvyšší dovolená provozní teplota jádra [°C]	Teplota prostředí [°C]									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
60	1,29	1,22	1,15	1,08	1	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
65	1,25	1,20	1,13	1,07	1	0,93	0,85	0,76	0,65	0,53
70	1,22	1,17	1,12	1,06	1	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
75	1,20	1,15	1,11	1,05	1	0,94	0,88	0,82	0,74	0,67
80	1,18	1,14	1,10	1,05	1	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71
85	1,17	1,13	1,09	1,04	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
90	1,15	1,12	1,08	1,04	1	0,96	0,91	0,87	0,82	0,76
95	1,11	1,08	1,06	1,03	1	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85

**Tabulka 6.4:** Přepočítávací součinitelé pro okolní teploty země odlišné od 20°C (tab. 52-NF22 z [ 9])

Nejvyšší dovolená provozní teplota jádra [°C]	Teplota prostředí [°C]									
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
65	1,11	1,05	1	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,58	0,47
70	1,10	1,05	1	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
75	1,09	1,04	1	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74	0,67	0,60
80	1,08	1,04	1	0,96	0,91	0,87	0,82	0,76	0,71	0,65
90	1,07	1,04	1	0,96	0,93	0,89	0,85	0,80	0,76	0,71

**Tabulka 6.5:** Přepočítávací součinitelé proudové zatížitelnosti pro půdu s různým měrným tepelným odporem (tab. 52-NF8 z [ 9])

Druh kabelu		Měrný tepelný odpor půdy [K.m/W]							
		0,4	0,6	0,7	0,8	1	1,5	2	2,5
Celoplastové kabely		1,1	1,05	1,00	0,96	0,90	0,76	0,71	0,64
Kabely s papírovou izolací a kovovým pláštěm	1 kV	1,16	1,05	1,00	0,96	0,89	0,76	0,67	0,62
	6 kV	1,14	1,05	1,00	0,96	0,90	0,78	0,69	0,63
	10 kV								
Trojplášťové kabely 22 a 35 kV		1,09	1,04	1,00	0,97	0,92	0,82	0,74	0,68
Jednožilové kabely 22 a 35 kV		1,14	1,05	1,00	0,96	0,90	0,78	0,69	0,63

#### 6.2.4 Charakteristika uložení

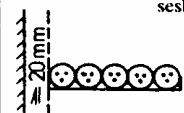
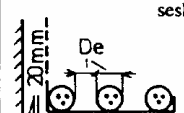
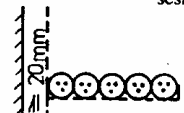
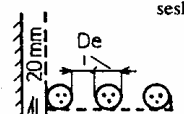

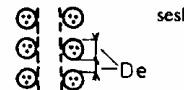
Charakteristikou uložení se rozumí počet vodičů, jejich seskupení, uložení přímo v zemi, ve tvárnících, v kabelových kanálech různého typu, vodorovný nebo svislý průběh trasy aj. Tyto vlastnosti mají především vliv na ochlazování vodiče, tedy na odvod vzniklého tepla. Například při uložení několika vodičů vedle sebe (**Tabulka 6.7**) dochází k jejich vzájemnému tepelnému ovlivňování. Podobně při svislém uložení (**Tabulka 6.6**) vstupuje teplý vzduch vzhůru po povrchu vodiče a tím zhoršuje jeho ochlazování. V důsledku toho je možné vodiče zatěžovat menším proudem než je  $I_n$ , jinak by došlo k překročení teploty  $\varrho_z$ . Ke korekcím se použije opět přepočítacích činitelů.

**Tabulka 6.6:** Přepočítávací součinitelé trvalé proudové zatížitelnosti pro kabel uložený jednotlivě ve svislé poloze (tab. 52-NF34 z [ 9])

Poměr $h/D$	Přepočítací součinitel
do 20	0,95
od 20 do 40	0,90
nad 40	0,85

$h$  – vzdálenost mezi sousedními příchýtkami  
 $D$  – průměr kabelu

**Tabulka 6.7:** Přepočítací součinitelé proudové zatížitelnosti při seskupení několika vícežilových kabelů v jedné vrstvě na vzduchu (tab. 52-NF29 z [ 9])

Způsob uložení podle tab. 52-B2			Počet kabelů						
			Počet lávek	1	2	3	4	6	9
Neperforované lávky (poznámka 3)	H		1	0,95	0,85	0,80	0,75	0,70	0,70
			2	0,95	0,85	0,75	0,75	0,70	0,65
			3	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65	0,60
	H		1	1,00	0,95	0,95	0,95	0,90	–
			2	0,95	0,95	0,90	0,90	0,85	–
			3	0,95	0,95	0,90	0,90	0,85	–
Perforované lávky (poznámka 3)	J		1	1,00	0,90	0,80	0,80	0,75	0,75
			2	1,00	0,85	0,80	0,75	0,75	0,70
			3	1,00	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65
	J		1	1,00	1,00	1,00	0,95	0,90	–
			2	1,00	1,00	0,95	0,90	0,85	–
			3	1,00	1,00	0,95	0,90	0,85	–
Svislé perforované lávky (poznámka 4)	K		1	1,00	0,90	0,80	0,75	0,75	0,70
			2	1,00	0,90	0,80	0,75	0,70	0,70
	K		1	1,00	0,90	0,90	0,90	0,85	–
			2	1,00	0,90	0,90	0,85	0,85	–

Praktický postup při dimenzování z hlediska provozní teploty spočívá v kontrole relace  $I_p < I_z$

Dovolené zatížení vodiče :

$$I_z = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_i \cdot I_n \quad (6.1)$$

kde  $I_n$  je jmenovité proudové zatížení vodiče [A] pro daný typ a průřez a pro tyto základní způsoby uložení :

$I_{nv}$  - vodorovná poloha ve vzduchu o základní teplotě dle Tabulka 6.9 (30 °C, výjimečně 90 °C)

$I_{nz}$  - v zemi s měrným tepelným odporem 0,7 K.m/W, v hloubce asi 70 cm pod povrchem a s teplotou země 20 °C

Jmenovité proudy různých druhů holých a izolovaných vodičů a kabelů jsou uvedeny v národní příloze normy ČSN 33 2000-5-523.

$k_1, k_2, \dots, k_i$  jsou přepočítávací součinitelé pro příslušný vodič nebo kabel, pro danou teplotu prostředí, pro dané podmínky a způsob uložení, které jsou odlišné od základního způsobu uložení

Jmenovité proudové zatížení některých vodičů a hodnoty nejčastěji používaných přepočítávacích součinitelů proudové zatížitelnosti jsou uvedeny v tabulkách v příloze.

### 6.3 Dimenzování průřezu vodiče z hlediska hospodárnosti [ 17]

Vodiče a kabely mají být dimenzovány tak, aby nebyly zatěžovány více než hospodárným proudem, aby celkové roční náklady na jejich pořízení, provoz a údržbu byly optimální.

$$S = k \cdot I_z \sqrt{T} \quad (6.2)$$

kde  $k$  je podle tab. 1 ČSN 34 1610  
 $I_z$  je výpočtový proud [A]  
 $T$  je doba plných ztrát [s]

$$T = t \left( 0,2 \frac{A}{P_p \cdot t} + 0,8 \frac{A^2}{P_p^2 \cdot t^2} \right) \quad (6.3)$$

$t$  je počet provozních hodin zařízení [h]  
 $A$  je elektrická energie přenesená vedením za rok [Wh]  
 $P_p$  je výpočtové zatížení [W]

Výše uvedeným způsobem se provádí návrh, je-li  $T$  více než 1000hod.

Dimenzování průřezu vodiče podle hospodárnosti se podrobně zabývá předmět Ekonomika elektroenergetiky.

### 6.4 Dimenzování vodičů podle mechanické pevnosti

Vodiče a kabely mají být dimenzovány tak, aby odolaly mechanickým namáháním, kterým mohou být vystaveny při běžném provozu. Mechanickým namáháním vodičů ve venkovním rozvodu se bude zabývat část tohoto skripta - kapitola Venkovní vedení. U kabelových rozvodů jsou vodiče mechanicky namáhány zejména při pokládce kabelů, při zatahování vodičů do trubek apod. Nejmenší dovolený průřez jednotlivých vedení s ohledem na mechanické namáhání je uváděn v řadě ČSN.

### 6.5 Dimenzování vodičů podle úbytku napětí

Odchylka napětí na svorkách spotřebičů od jmenovité hodnoty a její kolísání je kvalitativním ukazatelem dodávky. Proto i vodiče a kabely jednotlivých částí elektrického rozvodu musí být dimenzovány tak, aby při předpokládaném zatížení nezpůsobily nedovolený pokles napětí na svorkách spotřebičů. Je-li z rozvodné soustavy napájen spotřebič s velkými špičkovými proudy, je nutno rovněž kontrolovat k jakému poklesu napětí dojde na svorkách ostatních spotřebičů vlivem těchto špiček.

Pro většinu spotřebičů jak motorických tak odporových se dovoluje maximální kolísání napětí  $\pm 5 \% U_n$ . Dovolena tolerance napětí jiných spotřebičů je vždy udána příslušnou normou. Tak např. pro relé je povoleno kolísání napětí  $\pm 10 \% U_n$ , pro elektromagnety stykačů může napětí kolísat od 85 –110 %  $U_n$ , pro osvětlení je povolena tolerance  $\pm 3 \% U_n$ , avšak v provozech, kde je společný rozvod pro motory a světlo, se připouští celkový pokles napětí 5 %  $U_n$ , u venkovního osvětlení až 8 %  $U_n$ .

Poznámka: Odchylka napětí je rozdíl absolutní hodnoty napětí v daném místě rozvodu a napětí jmenovitého:  $U - U_n$ . Úbytek napětí je rozdíl absolutních hodnot napětí ve dvou místech soustavy.

Napětí v jednotlivých místech rozvodu, jeho úbytky a odchylky, se stanoví běžnými metodami řešení ustáleného stavu sítí.

Úbytek napětí se vypočte podle vztahu

$$\Delta U = R.I.\cos\varphi + X.I.\sin\varphi \quad [\text{V}] \quad (6.4)$$

v rozvodech, kde  $\cos\varphi \geq 0,5$

$$\Delta U = R.I.\cos\varphi + X.I.\sin\varphi + \frac{(R.I.\sin\varphi - X.I.\cos\varphi)^2}{2U} \quad [\text{V}] \quad (6.5)$$

v rozvodech, kde  $\cos\varphi < 0,5$

kde  $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$  je elektrický odpor vodiče  $[\Omega]$

$X = l.X_k$  je reaktance vodiče  $[\Omega]$

$X_k = 0,06 \Omega/\text{km}$  pro 6kV

$X_k = 0,05 \Omega/\text{km}$  pro nn

Požadavkem na kolísání napětí lze vyhovět volbou průřezu vedení - to je předmětem dimenzování rozvodu, ale též volbou převodu regulovatelných transformátorů, užitím paralelní kompenzace a v neposlední řadě též volbou schématu rozvodu a rozmístěním transformačních stanic. Rovněž samostatné napájení spotřebičů s různými vlastnostmi může zlepšit napěťové poměry alespoň u spotřebičů, které jsou na kolísání napětí citlivé (světelné spotřebiče).

## 6.6 Dimenzování podle účinků zkratových proudů

### 6.6.1 Dimenzování podle tepelných účinků zkratových proudů [ 14] [ 15]

Toto namáhání zkratovým proudem se týká všech druhů a typů vedení. Při dimenzování se určuje minimální průřez jader vodičů  $S_{min}$  při kterém nenastane ohřátí vodiče nad dovolenou teplotu vodiče po zkratu  $\mathcal{G}_k$ . Tato dovolená teplota je charakteristikou vodičů při krátkodobém oteplení zkratovým proudem. Je stanovena zejména s ohledem na podmínky stárnutí izolace a zmenšení mechanické pevnosti při tepelném nárazu. Je uvedena v Tabulka 6.9.

Oteplení zkratovým proudem se považuje za děj adiabatický. Vzhledem ke krátké době trvání zkratu  $t_k$  ve srovnání s časovými oteplovacími konstantami se veškeré teplo vyvinuté zkratovým proudem akumuluje v materiálu jádra vodiče a zvýší tak jeho teplotu z provozní hodnoty  $\mathcal{G}_z$  na hodnotu  $\mathcal{G}_k$ . Pro kontrolu se uvažuje nejvyšší možná doba zkratu  $t_K$ .

Pro výpočet oteplení vodičů v důsledku průchodu zkratových proudů jsou normou stanoveny tyto předpoklady :

1. neuvažuje se vliv magnetického pole vlastního vodiče (skinefekt) ani vliv mag. pole blízkých paralelních vodičů (proximityefekt)
2. závislost elektrického odporu na teplotě je lineární
3. měrné teplo vodiče je konstantní
4. nepočítá se s odvodem tepla (adiabatický ohřev)

teplo vyvinuté proudem = teplo akumulované ve vodiči

$$dQ = Ri^2(t)dt = c.V.d\mathcal{G} \quad (6.6)$$

$$\rho \frac{l}{S} i^2(t)dt = c.S.l.d\mathcal{G} \quad (6.7)$$

$$i^2(t)dt = \frac{c_0.S^2}{\rho_g} d\mathcal{G} \quad (6.8)$$

kde  $c_0$  je specifické teplo vodiče při  $0^\circ\text{C}$  [ $\text{J}/\text{m}^3/^\circ\text{C}$ ] (uvedeno v **Tabulka 6.8**)  
 $i(t)$  je proud procházející vodičem [A]  
 $R$  je odpor vodiče [ $\Omega$ ]  
 $S$  je průřez vodiče [ $\text{m}^2$ ]  
 $\vartheta$  je teplota vodiče [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $\rho_{\vartheta}$  je specifický odpor při  $0^\circ\text{C}$  [ $\Omega\text{m}$ ]-  $\rho$  je však závislé na teplotě:  
 $\rho_{\vartheta} = \rho_0(1 + \alpha_0 \cdot \vartheta)$  (6.9)

$$\rho_{20} = \rho_0(1 + \alpha_0 \cdot 20)$$

$$\rho_0 = \frac{\rho_{20}}{1 + \alpha_0 \cdot 20}$$

$$\rho_{\vartheta} = \frac{\rho_{20}}{1 + \alpha_0 \cdot 20} (1 + \alpha_0 \vartheta) \quad (6.10)$$

kde  $\rho_{20}$  je specifický odpor při  $20^\circ\text{C}$  [ $\Omega\text{m}$ ] (uveden v [ $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ] v **Tabulka 6.8**.  
 $\alpha_0$  je teplotní součinitel odporu [ $^\circ\text{C}^{-1}$ ]  
 $\rho_{\vartheta}$  je specifický odpor při teplotě  $\vartheta$  [ $\Omega\text{m}$ ]

Dosazením do pravé strany diferenciální rovnice ohřevu a její integrací v mezích doby zkratu a teplot před a po zkratu získáme velikost průřezu vodiče :

$$\int_0^{t_k} i_k^2(t) dt = \frac{c_0 \cdot S^2 (1 + \alpha_0 \cdot 20)}{\rho_{20}} \cdot \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \frac{d\vartheta}{1 + \alpha_0 \vartheta} \quad (6.11)$$

Levou stranu rovnice je třeba vyjádřit způsobem vhodnějším pro praxi. Používají se tyto koncepce:

a) použijeme definice ekvivalentního oteplovacího zkratového proudu  $I_{ke}$  podle ČSN 33 3020 (viz. 6.6.3):

$$I_{ke} = \sqrt{\frac{Q}{t_k}} = \sqrt{\frac{\int_0^{t_k} i_k^2(t) dt}{t_k}} \Rightarrow I_{ke}^2 \cdot t_k = \int_0^{t_k} i_k^2(t) dt \quad (6.12)$$

kde  $I_{ke}$  je ekvivalentní oteplovací proud [A]  
 $t_k$  je doba zkratu [s]

potom :

$$I_{ke}^2 \cdot t_k = \frac{c_0 \cdot S^2 (1 + \alpha_0 \cdot 20)}{\rho_{20}} \cdot \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \frac{d\vartheta}{1 + \alpha_0 \vartheta}$$

$$I_{ke}^2 \cdot t_k = \frac{c_0 \cdot S^2 (20 + \frac{1}{\alpha_0})}{\rho_{20}} \cdot \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \frac{d\vartheta}{\frac{1}{\alpha_0} + \vartheta}$$

$$I_{ke}^2 \cdot t_k = \frac{c_0 \cdot S^2 (20 + \frac{1}{\alpha_0})}{\rho_{20}} \left| \ln\left(\frac{1}{\alpha_0} + \vartheta\right) \right|_{\vartheta_1}^{\vartheta_2}$$

$$I_{ke}^2 \cdot t_k = \frac{c_0 \cdot S^2 (20 + \frac{1}{\alpha_0})}{\rho_{20}} \ln \frac{\frac{1}{\alpha_0} + \vartheta_2}{\frac{1}{\alpha_0} + \vartheta_1} \quad (6.13)$$



Do tohoto vztahu zavedeme tzv. fiktivní teplotu

$$\vartheta = \frac{1}{\alpha_0}$$

Tato hodnota závisí na materiálu - je převrácenou hodnotou jeho teplotního součinitele odporu  $\alpha_0$  (uvedena v **Tabulka 6.8**).

$$I_{ke}^2 \cdot t_k = \frac{c_0 \cdot S^2 (20 + \vartheta)}{\rho_{20}} \ln \frac{\vartheta + \vartheta_k}{\vartheta + \vartheta_1} \quad (6.14)$$

hodnota  $\vartheta_1$  [°C] odpovídá maximální provozní teplotě vodiče Tabulka 6.9.

hodnota  $\vartheta_2 = \vartheta_k$  [°C] odpovídá maximální teplotě vodiče při zkratu Tabulka 6.9.

$$S_{\min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0 (\vartheta + 20)}{\rho_{20}} \ln \frac{\vartheta + \vartheta_k}{\vartheta + \vartheta_1}}} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{k} \geq S \quad (6.15)$$

kde  $S_{\min}$  je minimální průřez vodiče [mm<sup>2</sup>]

b) použijeme metodu **redukovaného proudu**, která využívá definuje oteplovací proud  $I_{th}$  podle ČSN 33 3040 (viz. 6.6.3) a rovnici řešíme stejně jako v a)

$$\int_0^{t_k} i_k^2(t) dt = (m + n) \cdot I_k^{n^2} \cdot t_k \quad (6.16)$$

$$(m + n) \cdot I_k^{n^2} \cdot t_k = I_{th}^2 \cdot t_k = \frac{c_0 \cdot S^2 (20 + \vartheta)}{\rho_{20}} \ln \frac{\vartheta + \vartheta_k}{\vartheta + \vartheta_1} \quad (6.17)$$

kde  $m$  činitel respektující vliv stejnosměrné složky  $I_k$  [-]

$n$  činitel respektující vliv střídavé složky  $I_k$  [-]

$I_k$  je počáteční rázový zkratový proud [A]

Pro kontrolu odolnosti vodiče proti tepelným účinkům zkratových proudů se pak podle ČSN 33 3040 používá hodnoty minimální proudové hustoty  $\sigma_{th}$  [A/mm<sup>2</sup>], která se porovnává se skutečnou proudovou hustotou ve vodiči.

$$\frac{I_{th}}{S_{th}} = \sigma_{th} = \frac{1}{\sqrt{t_k}} \sqrt{\frac{c_0 (20 + \vartheta)}{\rho_{20}} \ln \frac{\vartheta + \vartheta_k}{\vartheta + \vartheta_1}} \quad (6.18)$$

$$\sigma_{th} \geq \frac{I_z}{S} \quad (6.19)$$

kde  $\sigma_{th}$  je minimální proudová hustota [A/mm<sup>2</sup>]

$S$  je průřez vodiče [mm<sup>2</sup>]

$I_z$  je zatížení vodiče [A]

**Tabulka 6.8:** Materiálové konstanty pro výpočet oteplení vodiče při zkratu

Materiál	Cu	Al	Fe
$\rho_{20}$ - specifický odpor při 20°C [Ωmm <sup>2</sup> /m]	<b>0,01786</b>	<b>0,02941</b>	<b>0,147</b>
$\vartheta$ - fiktivní teplota [°C]	<b>234,5</b>	<b>228,0</b>	<b>222,0</b>
$c_0$ je specifické teplo [J/cm <sup>3</sup> /°C]	<b>3,5</b>	<b>2,417</b>	<b>3,77</b>

**Tabulka 6.9:** Dovolené provozní a maximální teploty vodičů pro různé druhy izolace (podle tab.43-NA1 z [11])

Druh izolace vodiče	Zkratka názvu	Značka	Základní teplota okolního vzduchu	Nejvyšší dovolená provozní teplota	Nejvyšší dovolená teplota	
					při proudovém přetížení	při zkratu
Polyvinylchlorid měkčený	PVC	Y	30	70	120	140-160
Elastomery na bázi přírodního nebo syntetického kaučuku	guma pryž kaučuk	G	30	60-120	120-150	200-250
do 10 kV		G	30	60		150
Etylenpropylenová pryž	EPR		30	90	130	250
Polyetylén	PE	E	30	70		130-150
Zesítěný polyetylén	XE	X	30	90	120	250
Polytetrafluoretylén	PTFE		90	200	300	300
propylén	FEP		90	200	250	250
Napuštěný papír						
normální		N	30	80	120	200
nemigrující		M	30	80	120	300
do 6 kV		N	30	80		200
do 10 kV		N	30	75		150
22 kV		N	30	70		150
35 kV		N	30	65		150
Skleněné vlákno			90	130	180	300
Holé vodiče plné nebo slané Al nebo Cu			30	80	180	
mechanicky zatížené			30	80	180	300
mechanicky nezatížené			30	80	180	200
Slitina Al			30	80	150	170
Ocel mech. zatížená			30	80	180	250
Ocel mech. nezatížená			30	80	180	300

### 6.6.2 Dimenzování podle dynamických účinků zkratových proudů [14]

Protéká-li proud vodičem, vytvoří se kolem vodiče magnetické pole, jehož intenzita ve vzdálenosti  $a$  od vodiče je :

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot a} \quad (6.20)$$

Dva vodiče protékané elektrickým proudem působí na sebe vzájemně silou :

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha \quad (6.21)$$

kde  $l$  je délka vodičů [m]

$\alpha = \pi/2$  u rovnoběžných dlouhých vodičů

$$B = \mu_0 \cdot H = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{I}{2\pi \cdot a} = \frac{2 \cdot I}{a} \cdot 10^{-7}$$

$I$  je proud protékající vodiči [A]

po dosazení :

$$F = \frac{2 \cdot I}{a} \cdot 10^{-7} \cdot l \cdot I \quad (6.22)$$

Protože v rozvodných zařízeních nemůžeme uvažovat nehmotné vodiče a výpočet se provádí zpravidla pro trojfázovou soustavu při uvažování souměrného trojfázového zkratu, je třeba výše uvedený vztah upravit na tvar, který odpovídá síle působící mezi fázovými vodiči  $F_m$  [N]:

$$F_m = 2 \cdot k \cdot \frac{I_{km}^2}{a_m} \cdot l \cdot 10^{-7} \quad (6.23)$$

kde

$l$  je délka vodiče mezi podpěrkami [m]

$k$  je koeficient respektující uspořádání vodičů a fázový posun proudů v jednotlivých vodičích

- u prostředního vodiče trojfázové soustavy při rovinném uspořádání

$$k = \frac{\sqrt{3}}{2} \cong 0,87$$

- u krajního vodiče trojfázové soustavy  $k = 0,81$

- u vodičů trojfázové soustavy při uspořádání v rovnostranném trojúhelníku  $k = 0,85$

- pro výpočet síly mezi vodiči jedné fáze je  $k = 1$

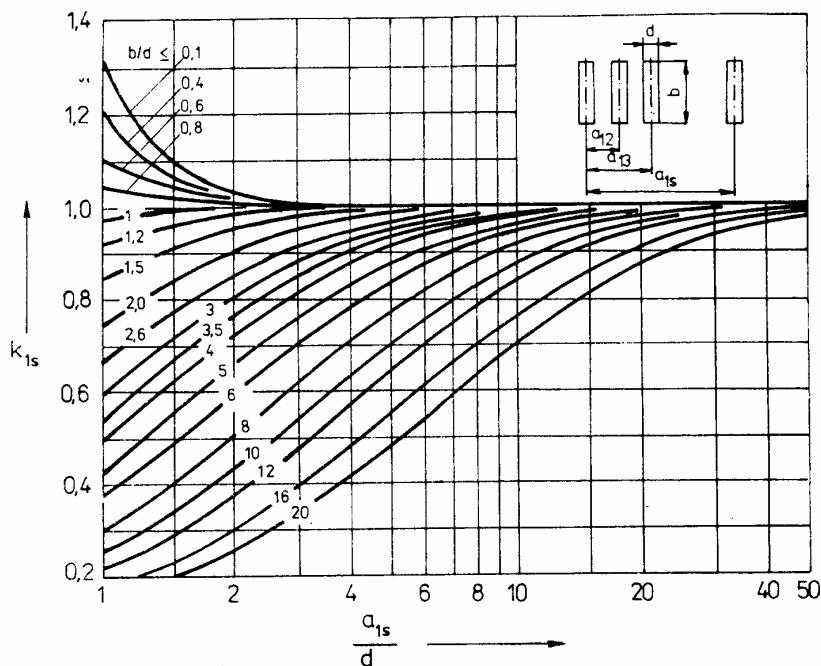
$a_m$  je účinná vzdálenost mezi vodiči, která se zavádí proto, že síly mezi vodiči, kterými prochází proud jsou závislé na geometrickém uspořádání a tvaru vodičů [m]

-  $a_m = a$ , je-li hlavní vodič kruhového průřezu nebo je složený z dílčích vodičů kruhového průřezu

-  $a_m = a/k_{1s}$ , je-li hlavní vodič obdélníkového průřezu nebo je-li složen z dílčích vodičů obdélníkového průřezu

$k_{1s}$  je součinitel pro výpočet účinné vzdálenosti - určuje se z grafu **Obrázek 6.2**

$I_{km}$  je maximální hodnota zkratového proudu – dynamický zkratový proud [A]



**Obrázek 6.2:** Součinitel  $k_{1s}$  pro výpočet účinné vzdálenosti vodiče (obr.1 v [ 14])

## 6.6.2.1 Výpočet namáhání tuhých vodičů :

a) ohybové namáhání hlavního vodiče  $\sigma_m$  [Pa] (vyvolané silami mezi hlavními vodiči) je:

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_m \cdot l}{8 \cdot Z} \quad (6.24)$$

b) ohybové namáhání jednoho dílčího vodiče  $\sigma_s$  [Pa] (vyvolané silami mezi dílčími vodiči) je:

$$\sigma_s = V_{\sigma_s} \cdot V_r \cdot \frac{F_s \cdot l_s}{16 \cdot Z} \quad (6.25)$$

kde  $Z, Z_s$  jsou průřezové moduly vodičů (tab.2 a 3) [m<sup>3</sup>]

pro jednoduché vodiče obdélníkových průřezů platí  $Z = \frac{1}{6} \cdot b \cdot d^2$

pro vícenásobné vodiče obdélníkových průřezů jsou hodnoty  $Z$  uvedeny v **Tabulka 6.10**

$V_\sigma, V_{\sigma_s}, V_r$  jsou součinitelé respektující dynamické účinky zkratu (tab.8)

$\beta$  je součinitel respektující typ upevnění vodiče a počet podpěr (tab.4)

$F_m$  je síla působící mezi hlavními vodiči podle rovnice (6.23) [N]

$F_s$  je síla působící mezi dílčími vodiči [N]

$$F_s = 2 \left( \frac{I_{km}}{n} \right)^2 \frac{l_s}{a_s} \cdot 10^{-7} \quad (6.26)$$

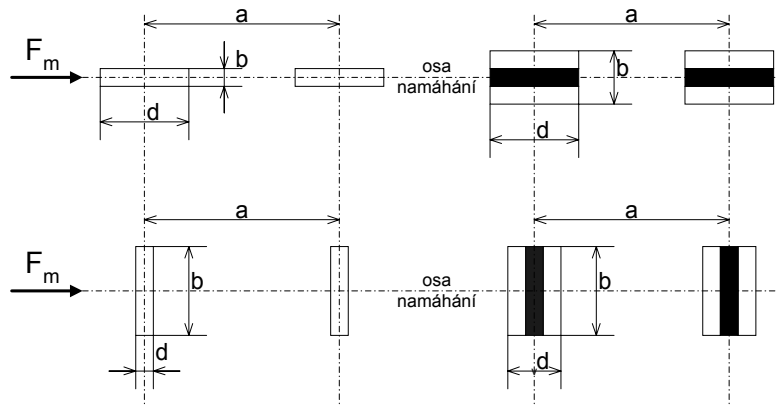
$l$  je vzdálenost mezi podpěrkami [m]

$l_s$  je vzdálenost mezi rozpěrkami nebo výztužnými vložkami [m]

$n$  je počet dílčích vodičů

$a_s$  je účinná vzdálenost mezi dílčími vodiči, která se určí stejně jako  $a_m$  nebo podle [m]

Pro výpočet namáhání vodičů je nutné správně určit rozměry vodiče a průřezový modul vodiče, které závisí na uspořádání vodičů a vztažné ose namáhání. Viz **Obrázek 6.3**.



**Obrázek 6.3:** Vztažná osa ohybového namáhání pro různá uspořádání jednoduchých a vícenásobných vodičů

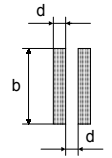
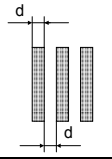
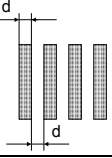
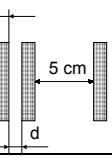
**Tabulka 6.10:** Průřezové moduly složených obdélníkových vodičů

Uspořádání vodičů	Rozměr vodiče [mm x mm]											
	50x5	50x10	63x5	63x10	80x5	80x10	100x10	100x16	125x10	160x10	160x16	200x10
N, V	4,17	8,30	6,6	13,2	10,6	21,4	33,4	53,2	52	85,2	136,6	133,2
N	0,42	1,70	0,52	2,10	0,7	2,7	3,3	8,5	4,2	5,3	13,6	6,7
	V	1,1	4,3	1,4	3,4	1,7	6,9	8,6	22,1	10,8	14,1	17,5

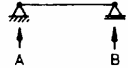
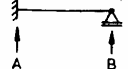

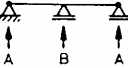
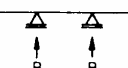
**N** průřezové moduly (odporové momenty) složených vodičů bez výztužných vložek

**V** průřezové moduly (odporové momenty) složených vodičů alespoň se dvěma výztužnými vložkami v jednom rozpětí

**Tabulka 6.11:** Účinná vzdálenost  $a_s$  mezi dílčími vodiči pro obdélníkové průřezy (tab.I v [ 14])

Uspořádání	Tloušťka vodiče $d$ [m]	Šířka vodiče $b$ [m]							
		0.04	0.05	0.06	0.08	0.1	0.12	0.16	0.2
	0.005 0.01	0.020 0.028	0.024 0.031	0.027 0.034	0.033 0.041	0.040 0.047	- 0.054	- 0.067	- 0.080
	0.005 0.01	- 0.017	0.013 0.019	0.015 0.020	0.018 0.023	0.022 0.027	- 0.030	- 0.037	- 0.043
	0.005 0.01	- 0.014	- 0.015	- 0.016	- 0.018	- 0.020	- 0.022	- 0.026	- 0.031
	0.005 0.01	- 0.017	0.014 0.018	0.015 0.020	0.018 0.022	0.020 0.025	- 0.027	- 0.032	- -

**Tabulka 6.12:** Součinitelé  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  pro různá uspořádání podpěr (tab.III v [ 14])

Typ nosníku a způsob upevnění		Součinitel:		
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
nosník o jednom poli	A a B: prosté podepření 	A: 0,5 B: 0,5	1,0	1,57
	A: vetknutí B: prosté podepření 	A: 0,625 B: 0,375	0,73	2,45
	A a B: vetknutí 	A: 0,5 B: 0,5	0,5	3,56
nosník o více polích o stejných rozpětích	2 pole 	A: 0,375 B: 1,25	0,73	2,45
	3 nebo více polí 	A: 0,4 B: 1,1	0,73	3,56

c) dovolené namáhání vodiče

vodič je odolný vůči působení zkratových sil, jestliže jsou splněny tyto podmínky:

- pro jednoduché vodiče

$$\sigma_m \leq q \cdot R_{p0,2}$$

( 6.27 )

- pro vodiče složené ze dvou a více dílčích vodičů

$$\sigma_{tot} = \sigma_m + \sigma_s \leq qR_{p0,2} \quad (6.28)$$

$$\sigma_s \leq R_{p0,2}$$


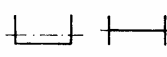


kde  $R_{p0,2}$  je namáhání odpovídající min. hodnotě meze průtažnosti materiálu vodiče [Mpa]

Cu - 100 MPa

Al - 45 MPa

$q$  je součinitel plasticity průřezu vodiče **Tabulka 6.13**

**Tabulka 6.13:** Součinitel plasticity pro různé tvary vodičů (tab. IV. v v [ 14])

Průřez		Průřez
	$q = 2$	 $q = 1,83$
	$q = 1,5$	 $q \approx 1,19$

### 6.6.2.2 Výpočet sil na podpěry vodiče

$$F_d = V_F \cdot V_r \cdot \alpha \cdot F_m \quad (6.29)$$

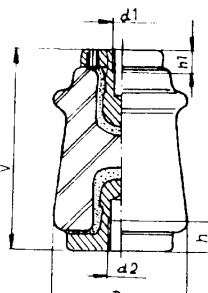
kde  $V_F$  je součinitel respektující vlastní kmitočty vodiče **Obrázek 6.6**

$V_r$  je součinitel respektující dynamické účinky zkratu **Tabulka 6.15**

$\alpha$  součinitel závislý na druhu a počtu podpěr **Tabulka 6.12**

Vypočtená síla  $F_d$  působí v ose vodiče, zatímco hodnoty mechanické pevnosti jsou určeny maximální silou, působící ve vrcholu podpěry. Pro kontrolu pevnosti podpěrky je tedy nutno porovnávat síly, které působí ve stejném místě (viz. **Příklad 6.2**)

Staniční podpěrky  
vnitřní do 35 kV



**Popis:** Izolatory podperek jsou vyráběny z keramických hmot B10, do nichž jsou zatmeleny horní a dolní armatury. Armatury jsou vyrobeny ze šedé litiny a jsou opatřeny příslušnými závity.

**Použití:** K izolaci živých částí v rozvodnách vn.

ČSN 34 8008  
Výrobce: Elektroporcelán  
Dodavatel: Elektrop. Louny  
Katalog: ZSE č. 22,032 č.tř. 05.-/16.  
JK: 342

číslo materiálu	typ	Un (kV)	rozměry v mm						hmotn. kg/ks
			V	D	d1	d2	h	h1	
0506-05909	IPA 4/75	10	130	75	M12	M16	20	15	2,00
0506-06204	IPA 8/75			100	M16	M20	20	15	2,60
0506-06501	IPA 16/75			125	M16	M20	35	20	5,00
0506-06709	IPA 25/75	22	225	160	M20	M24	35	20	7,50
0506-06006	IPA 4/125			85	M12	M16	20	15	3,60
0506-06303	IPA 8/125			110	M16	M20	20	15	4,60
0506-06600	IPA 16/125	35	310	140	M16	M24	35	20	7,60
0506-06608	IPA 25/125			170	M20	M24	35	20	11,80
0506-06105	IPA 4/180			105	M12	M16	20	15	5,60
0506-06402	IPA 8/180			125	M16	M24	20	15	8,20

Mechanická pevnost v ohybu:

4 000 N - IPA 4/75, IPA 4/125, IPA 4/180  
8 000 N - IPA 8/75, IPA 8/125, IPA 8/180  
15 000 N - IPA 16/75, IPA 16/125  
25 000 N - IPA 25/75, IPA 25/125

**Obrázek 6.4:** Ukázka katalogového listu staniční podpěrky s jejími parametry

## 6.6.2.3 Výpočet vlastního kmitočtu

- charakteristický vlastní kmitočet vodiče, který není složen z dílčích vodičů, se určí :

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m'}} \quad (6.30)$$

kde  $\gamma$  je součinitel pro výpočet vlastního kmitočtu vodiče, který je závislý na druhu a počtu podpěr

$l$  je vzdálenost podpěr [m]

$E$  je modul pružnosti v tahu hlavního vodiče [MPa]  $E_{Cu} = 125\,000$  MPa  
 $E_{Al} = 71\,000$  MPa

$J$  je kvadratický moment průřezu hlavního vodiče [m<sup>4</sup>]

$$J = \frac{1}{12} d^3 b \quad (6.31)$$

$m'$  je hmotnost vodiče [kg/m] **Tabulka 6.14**

- charakteristický vlastní kmitočet vodiče složeného z dílčích vodičů se určí :

$$f_c = c \cdot f_o$$

$$f_o = \frac{\gamma}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{E_s J_s}{m'_s}} \quad (6.32)$$

kde  $f_o$  je vlastní kmitočet dílčího vodiče [Hz]

$m'_s$  je hmotnost dílčího vodiče [kg/m]

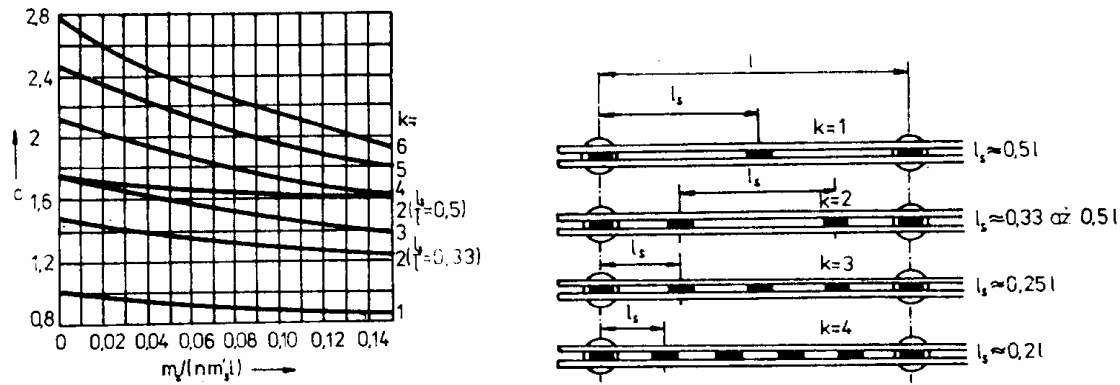
$E_s$  je modul pružnosti v tahu dílčího vodiče [Mpa]

$J_s$  je kvadratický moment průřezu dílčího vodiče [m<sup>4</sup>]

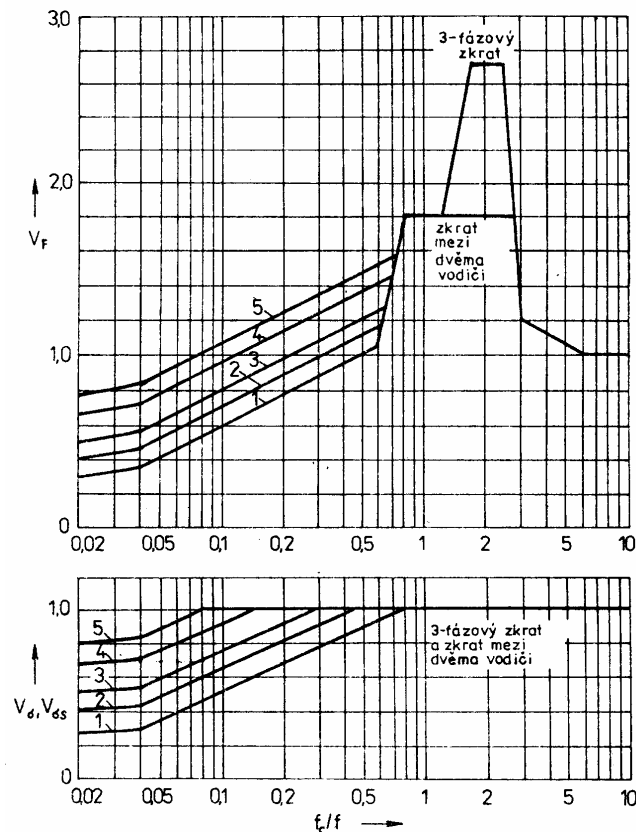
$c$  je součinitel vlivu výztužných vložek na vlastní kmitočet **Obrázek 6.2**. U vodičů bez výztužných vložek  $c = 1$

**Tabulka 6.14:** Hmotnost Al a Cu vodičů

Al											
rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]
16x2	0,086	20x5	0,270	32x3	0,259	40x10	1,080	63x8	1,460	100x10	2,700
16x3	0,130	20x8	0,432	32x5	0,432	50x5	0,675	63x10	1,700	100x16	4,320
16x5	0,216	20x10	0,540	32x8	0,691	50x8	1,080	80x5	1,080	125x10	3,380
16x8	0,346	25x3	0,203	32x10	0,864	50x10	1,350	80x8	1,728	160x10	4,320
16x10	0,432	25x5	0,338	40x3	1,380	60x5	0,810	80x10	2,160	160x16	6,858
20x2	0,108	25x8	0,540	40x5	0,540	60x10	1,620	100x5	1,350	200x10	5,400
20x3	0,162	25x10	0,675	40x8	0,864	63x5	0,851	100x8	2,160	200x16	8,640
Cu											
rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]	rozměr [mm]	m' [kg/m]
16x2	0,285	20x5	0,890	32x3	0,855	40x10	3,560	63x10	5,607	100x10	8,900
16x3	0,427	20x8	1,424	32x5	1,424	50x5	2,225	70x5	3,115	100x16	14,24
16x5	0,712	20x10	1,780	32x8	2,280	50x8	3,560	80x5	3,560	120x10	10,68
16x8	1,140	25x3	0,668	32x10	2,848	50x10	4,450	80x8	5,696	160x16	14,24
16x10	1,424	25x5	1,113	40x3	1,067	60x5	2,670	80x10	7,120	160x16	22,78
20x2	0,356	25x8	1,780	40x5	1,780	60x8	4,270	100x5	4,450	180x16	25,63
20x3	0,534	25x10	2,225	40x8	2,848	60x10	5,340	100x8	7,120	200x20	35,60



Obrázek 6.5: Součinitel c pro výztužné vložky

Obrázek 6.6: Součinitelé  $V_F$ ,  $V_\sigma$  a  $V_{os}$  podle velikosti nárazového součinitele (obr.4 v [ 14])

1 -  $\kappa = 1,60$     2 -  $\kappa = 1,40$     3 -  $\kappa = 1,25$     4 -  $\kappa = 1,10$     5 -  $\kappa = 1,00$

Nárazový součinitel se určí podle vztahu:

$$\kappa = \frac{I_{km}}{\sqrt{2} \cdot I_k''} \quad (6.33)$$

kde  $I_{km}$  [A] je dynamický zkratový proud  
 $I_k''$  je počáteční rázový zkratový proud

Pokud jsou takto určené hodnoty koeficientů  $V_F$ ,  $V_\sigma$  a  $V_{os}$  větší nebo rovny 1, pak se pro výpočet namáhání vodičů a podpěrek jejich velikost určuje podle **Tabulka 6.15**. To znamená, že výpočetní postupy namáhání vodičů se provádějí s limitními hodnotami těchto koeficientů a použití nižších hodnot je možné jen tehdy jsou-li určeny výše uvedeným způsobem. Při výpočtu odpovídajícího vlastního kmitočtu  $f_c$  je nutno zvážit přesnost vstupních údajů.



Součinitel  $V_r$  je závislý na skutečnosti trojfázového opětného zapínání. Pro soustavy bez OZ je vždy roven 1, v soustavách s OZ závisí stejně jako  $V_F$ ,  $V_G$  a  $V_{GS}$  na poměru  $f_0/f$  ( $f = 50\text{Hz}$ ).

**Tabulka 6.15:** Maximální možné hodnoty ( $V_G \cdot V_r$ ), ( $V_{GS} \cdot V_r$ ), ( $V_F \cdot V_r$ ) (tab.II v v [ 14]))

Druh zkratu	$(V_G \cdot V_r), (V_{GS} \cdot V_r)$		$(V_F \cdot V_r)$ bez a s 3-fázového OZ	oblast
	bez 3-fázovým OZ	s 3-fázovým OZ		
mezi dvěma vodiči	1,0	1,8	2,0 pro $\frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}} \leq 0,5$ $\frac{0,8 R_{p0,2}}{\sigma_{tot}}$ pro $0,5 < \frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}} < 1,0$ 1,0 pro $1,0 \leq \frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}}$	① ② ③
3-fázový	1,0	1,8	2,7 pro $\frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}} \leq 0,370$ $\frac{0,8 R_{p0,2}}{\sigma_{tot}}$ pro $0,370 < \frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}} < 1,0$ 1,0 pro $1,0 \leq \frac{\sigma_{tot}}{0,8 R_{p0,2}}$	① ② ③

### 6.6.3 Určení hodnot zkratových proudů

- a) výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu  $I_{ke}$  ČSN 33 3020

$$I_{ke} = k_e \cdot I_k'' \quad (6.34)$$

kde  $I_k''$  je počáteční rázový zkratový proud [A]  
 $k_e$  součinitel závisící na době zkratu  $t_k$

- b) výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu  $I_{th}$  ČSN 33 3040

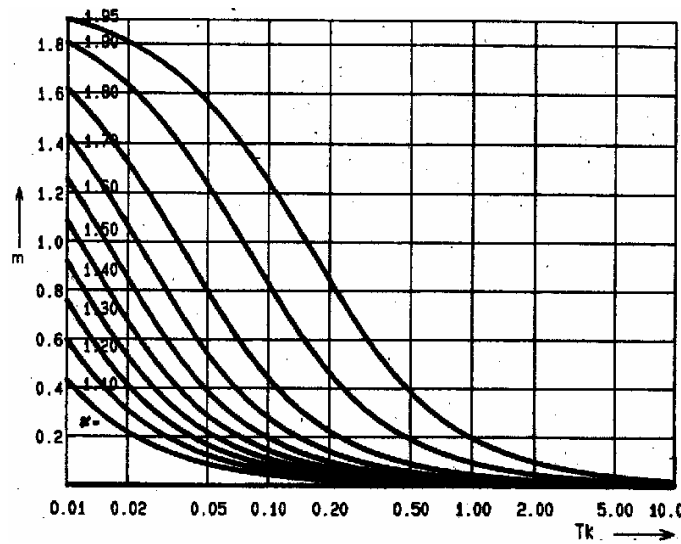
$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} \quad (6.35)$$

kde  $I_k''$  je počáteční rázový zkratový proud [A]  
 $m \in (0; 1,8)$  činitel respektující vliv stejnosměrné složky (závisí na době zkratu  $t_k$  a na poměru X/R zkratového obvodu)  
 $n \in (0; 1)$  činitel respektující zánik střídavých složek (závisí na době zkratu  $t_k$  a na poměru  $I_k''/I_k$ )

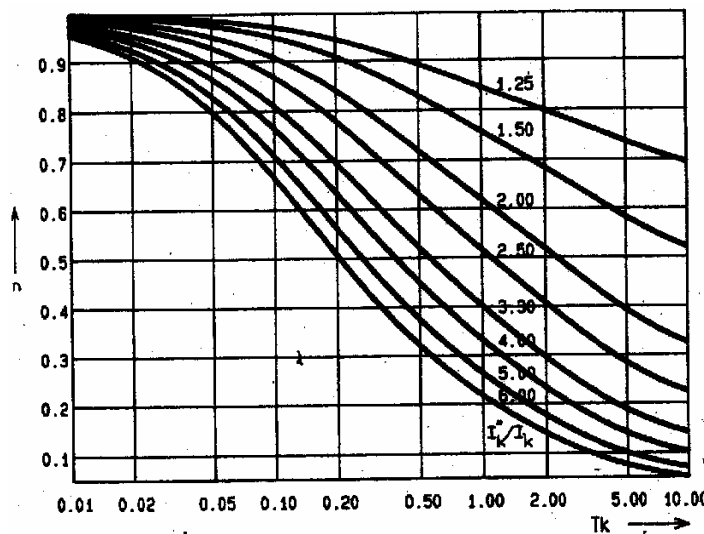
Tabulka 6.16: Součinitel  $I_{ke}$  (tab. 8a v [ 16])

Místo zkratu	$T_k$ (s)	$k_c$ pro $t_k$ (s)								
		0,02	0,04	0,05	0,08	0,1	0,2	0,5	1	3
za alternátorem do 55 MW <sup>1)</sup>	0,16	1,65	1,6	1,58	1,54	1,5	1,46	1,23	1,08	1,03
v soustavě <sup>2)</sup>										
vvn a zvn	0,03	1,44	1,32	1,24	1,16	1,13	1,07	1,03	1,01	1,00
vn	0,02	1,35	1,24	1,17	1,11	1,09	1,05	1,02	1,01	1,00
nn	0,01	1,24	1,15	1,10	1,07	1,05	1,03	1,01	1,00	1,00
v kabelovém rozvodu nn <sup>3)</sup>	0,008	1,18	1,11	1,08	1,05	1,04	1,02	1,01	1,00	1,00
za transformátory <sup>3)</sup>										
vvn/vn nebo vn/nn	0,036	1,49	1,37	1,29	1,20	1,17	1,09	1,04	1,02	1,01
vn/nn do 250 kVA včetně	0,008	1,18	1,11	1,08	1,05	1,04	1,02	1,01	1,00	1,00
do 630 kVA včetně	0,014	1,29	1,18	1,13	1,09	1,07	1,04	1,01	1,01	1,00
do 1600 kVA včetně	0,019	1,35	1,24	1,17	1,11	1,09	1,05	1,02	1,01	1,00

POZNÁMKA 1 - Pro zkrat v blízkosti alternátoru nebo za blokovým transformátorem;  
 POZNÁMKA 2 - Pro zkrat vzdálený od napájecího transformátoru i alternátoru (impedance mezi místem zkratu a napájecím transformátorem je větší než 10% ze sousledné impedance zkratového obvodu)  
 POZNÁMKA 3 - Pro zkrat v blízkosti sekundární strany transformátoru (impedance mezi místem zkratu a napájecím transformátorem je do 10% ze sousledné impedance zkratového obvodu)



Obrázek 6.7: Součinitel  $m$ , tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu



Obrázek 6.8: Součinitel  $n$ , tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu

b) výpočet nárazového zkratového proudu ČSN 33 3020

$$I_{km} = K \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (6.36)$$

kde  $I_k''$  je počáteční rázový zkratový proud [A]  
 $K$  je součinitel nárazového zkratového proudu

Tabulka 6.17: Součinitel  $\kappa$  (tab. 8 v [16])

místo zkratu	bez asynchronních motorů	s asynchronními motory <sup>4)</sup>
za alternátory do 55 MW <sup>1)</sup>	1,95	2,7
v soustavě vvn, zvn	1,7	-
v soustavě vn	1,6	2,4
v soustavě nn	1,4	-
v kabelovém rozvodu nn <sup>2)</sup>	1,3	1,9
za transformátory <sup>3)</sup>		
vvn/vn nebo vn/nn	1,7	2,5
vn/nn do 250 kVA včetně	1,3	1,9
do 630 kVA včetně	1,5	2,1
do 1600 kVA včetně	1,6	2,3

POZNÁMKA 1 - Pro zkrat v blízkosti alternátoru nebo za blokovým transformátorem;  
 POZNÁMKA 2 - Pro zkrat vzdálený od napájecího transformátoru i alternátoru (impedance mezi místem zkratu a napájecím transformátorem je větší než 10% ze sousledné impedance zkr. obvodu)  
 POZNÁMKA 3 - Pro zkrat v blízkosti sekundární strany transformátoru (impedance mezi místem zkratu a napájecím transformátorem je do 10% ze sousledné impedance zkratového obvodu)  
 POZNÁMKA 4 - Hodnoty součinitele  $\kappa$  ve sloupci II slouží k orientačnímu stanovení nárazového zkratového proudu v el. rozvodu s asynchronními motory. Při výpočtu se použije hodnota počátečního rázového zkratového proudu stanovená bez příspěvku asynchronních motorů.

Zkratová odolnost rozvodného zařízení je vyjádřena hodnotami Tyto hodnoty jsou uspořádány do jmenovité řady zkratových odolností podle **Tabulka 2.3**. Pro výpočet a kontrolu účinků zkratových proudů se pak používají tyto hodnoty, přičemž musí platit:

$$I_t = I_{vyp} \geq I_{ke} \quad I_{dyn} \geq I_{km}$$

## 6.7 Příklady dimenzování vodičů v silnoprúdém rozvodu

**Příklad 6.1:** Navrhněte přívod pro asynchronní motor 6 kV, jehož  $P = 500 \text{ kW}$ ,  $\cos \varphi = 0,85$ ,  $\eta = 95\%$ , který je napájen z rozváděče vzdáleného 100m. Rázový zkratový proud v místě připojení je  $I_k'' = 3,2 \text{ kA}$  a ochrany jsou nastaveny tak, aby vypínač vypnul zkrat za 0,5 s. Návrh proveďte pro dvě varianty uložení kabelu:

- Kabel je uložen volně ve větraném průchozím kanálu s maximální teplotou okolí 25°C.
- Kabel je uložen na kabelové lávce v těsném seskupení s dalšími pěti kabely

c) Dimenzování průřezu podle provozní teploty

Z rovnice ( 6.1 ) určíme  $I_n = \frac{I_z}{k_1 \cdot k_2 \dots k_i}$

$$I_z = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,85 \cdot 0,95} = 59,58 \text{ A}$$

- V **Tabulka 6.3** odečteme hodnotu přepočítávacího součinitele  $k$  ( $k = 1,06$ ) pro zadaný způsob uložení a upravíme hodnotu zatížení:

$$I_n = \frac{I_z}{k} = \frac{59,58}{1,06} = 56,21 \text{ A}$$

Podle **Tabulka 6.18** v příloze zjistíme, že vypočtenému proudu odpovídá nejbližší vyšší jmenovité zatížení kabelu 6 AYKCY o průřezu  $3 \times 25 \text{ mm}^2$  -  $I_{nv} = 87 \text{ A}$ .

b) V **Tabulka 6.7** odečteme hodnotu přepočítávacího součinitele  $k$  ( $k = 0,7$ ) pro zadaný způsob uložení a upravíme hodnotu zatížení:

$$I_n = \frac{I_z}{k} = \frac{59,58}{0,7} = 102,14 \text{ A}$$

Podle **Tabulka 6.18** v příloze volíme pro přívod kabel 6 AYKCY o průřezu  $3 \times 35 \text{ mm}^2$  s  $I_{nv} = 104 \text{ A}$

d) kontrola úbytku napětí – stačí provést pouze pro menší hodnotu průřezu

$$R = \rho \frac{l}{S} = 0,029 \frac{100}{25} = 0,116 \Omega$$

$$X = x_k \cdot l = 0,06 \cdot 0,1 = 0,006 \Omega$$

$$\Delta U = R \cdot I \cdot \cos \varphi + X \cdot I \cdot \sin \varphi = 0,116 \cdot 95,33 \cdot 0,85 + 0,006 \cdot 65,33 \cdot 0,53 = 9,61 \text{ V}$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U_n} \cdot \sqrt{3} = \frac{9,61 \cdot 100}{6 \cdot 10^3} \cdot \sqrt{3} = 0,28\% \leq 5\%$$

e) kontrola na tepelné účinky zkratových proudů

z **Tabulka 6.16** odečteme hodnotu  $k_e$  pro dobu zkratu  $t_k = 0,5 \text{ s}$  –  $k_e = 1,02$  a vypočítáme ekvivalentní oteplovací proud podle ( 6.34 )

$$I_{ke} = I_k'' \cdot k_e = 3,2 \cdot 1,02 = 3,264 \text{ kA}$$

z **Tabulka 6.9** odečteme hodnoty nejvyšší dovolené provozní teploty  $\upsilon_1$  a nejvyšší dovolené teploty při zkratu  $\upsilon_k$  podle typu izolace navrženého kabelu:

$$\upsilon_1 = 70^\circ \text{C}$$

$$\upsilon_k = 160^\circ \text{C}$$

$$S_{\min} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{\sqrt{\frac{c_0 (\vartheta + 20)}{\rho_{20}} \ln \frac{\vartheta + \vartheta_k}{\vartheta + \vartheta_1}}} = \frac{I_{ke} \cdot \sqrt{t_k}}{k} = \frac{3,264 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0,5}}{73,341} = 31,47 \text{ mm}^2$$

$$k = \sqrt{\frac{2,417(228 + 20)}{0,02941} \cdot \ln \frac{228 + 160}{228 + 70}} = 73,341$$

Zvolený průřez vyhovuje kontrole na tepelné účinky zkratového proudu pouze pro způsob uložení b). V případě a) je tedy nutno také použít průřez  $35 \text{ mm}^2$ , který je větší než  $S_{\min}$ .

**Příklad 6.2:** Navrhněte přípojnicový systém pro rozváděč 6 kV na sekundární straně transformátoru 22/6 kV o výkonu 6,3 MW. Dynamický zkratový proud  $I_{dyn} = 50 \text{ kA}$ . Vypínací čas zkratové spouště jističe je 0,3 s a teplota okolí  $30^\circ \text{C}$ .

a) Volba průřezu podle provozní teploty

$$I_z = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot 6} = 626,22 \text{ A}$$

Podle **Tabulka 6.21** volíme průřez přípojnic Cu 32x10 nenatřených, uložených svisle  $I_n = 808 \text{ A}$

b) Kontrola na tepelné účinky zkratových proudů

$$k = \sqrt{\frac{c_0(\vartheta + 20)}{\rho_{20}} \ln \frac{\vartheta + \vartheta_K}{\vartheta + \vartheta_1}} = \sqrt{\frac{3,5(234,5 + 20)}{0,01786} \ln \frac{234,5 + 300}{234,5 + 80}} = 162,64$$

Hodnoty teplot  $\vartheta_1 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$

$\vartheta_K = 300 \text{ }^\circ\text{C}$  z Tabulka 6.9

Za hodnotu ekvivalentního oteplovacího proudu  $I_{ke}$  dosadíme  $I_t$  z **Tabulka 2.3** podle zadané hodnoty  $I_{dyn}$ , tzn. budeme provádět kontrolu pro jmenovitou zkratovou odolnost.

$$S = \frac{I_{ke} \sqrt{t_k}}{k} = \frac{20 \sqrt{0,3}}{162,64} = 67,35 \text{ mm}^2 \leq S_{min} = 32 \cdot 10 = 320 \text{ mm}^2$$

Navržený průřez vyhovuje kontrole na tepelné účinky zkratových proudů.

c) Kontrola na dynamické účinky zkratových proudů

- vzdálenost podpěrek volíme podle šířky pole  $l = 0,8 \text{ m}$
- vzdálenost jednotlivých fází podle tabulky nejmenších vzdušných vzdáleností živých částí v rozvodných zařízeních **Tabulka 2.1** – minimální vzdálenost mezi fázemi a k zemi je pro  $U_n = 6 \text{ kV}$  (tzn. maximální provozovací napětí  $7,2 \text{ kV}$  viz Tabulka 1.1) je  $100 \text{ mm}$   
→ volíme  $a = 150 \text{ mm}$

síla působící mezi vodiči:

$$F_m = 2 \cdot k \cdot \frac{I_{km}^2}{a_m} \cdot l \cdot 10^{-7} = 2 \cdot 0,87 \cdot \frac{50^2 \cdot 10^6 \cdot 1}{0,15} \cdot 0,8 \cdot 10^{-7} = 2320 \text{ N}$$

kde  $k = 0,87$

$k_{1s}$  je stanoveno z **Obrázek 6.2** podle:

$$\frac{b}{d} = \frac{32}{10} = 3,2$$

$$\frac{a_{1s}}{d} = \frac{150}{10} = 15$$

rozměry  $b$  a  $d$  odpovídají rozměrům plochého vodiče podle vztažné osy ohybového namáhání (**Obrázek 6.3**) pro dané uložení.

$$I_{km} = I_{dyn} = 50 \cdot 10^3 \text{ A}$$

$$a_m = \frac{a}{k_{1s}} = \frac{0,15}{1} \text{ m}$$

$$\text{- ohybové namáhání vodiče fáze } \sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_m \cdot l}{8 \cdot Z} = 1,0 \cdot 0,73 \cdot \frac{2320 \cdot 0,8}{8 \cdot 0,53 \cdot 10^{-6}} = 319,5 \text{ MPa}$$

$\beta = 0,73$  stanovena podle **Tabulka 6.12**, pro uložení vodiče přes více polí

$V_\sigma \cdot V_r = 1,0$  pro trojfázový zkrat bez OZ z **Tabulka 6.15**

$$Z = \frac{1}{6} \cdot b \cdot d^2 = \frac{1}{6} \cdot 3,2 \cdot 1^2 = 0,53 \text{ cm}^3$$

- kontrola namáhání

$$\sigma_m \leq q \cdot R_{p0,2} = 1,5 \cdot 100 = 150 \text{ MPa}$$

$$319,5 \text{ MPa} \geq 150 \text{ MPa}$$

- zvolený průřez nevyhovuje kontrole na dynamické účinky zkrat. proudů

Zvolíme tedy stejný průřez, ale v uspořádání naležato  $I_a = 772 \text{ A}$  (takto uložený vodič má poněkud nižší proudovou zatížitelnost, protože se hůře ochlazuje, ale zvýší se jeho průřezový modul  $Z$ , tzn. výsledné namáhání bude menší):

$$Z = \frac{1}{6} \cdot b \cdot d^2 = \frac{1}{6} \cdot 1,3 \cdot 2^2 = 1,7 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_m \cdot l}{8 \cdot Z} = 1,0 \cdot 73 \cdot \frac{2320 \cdot 0,8}{8 \cdot 1,7 \cdot 10^{-6}} = 99,62 \text{ MPa}$$

- kontrola namáhání  $99,62 \text{ MPa} \leq 150 \text{ MPa}$
- tentokrát zvolený průřez kontrole vyhovuje

d) Výpočet vlastního kmitočtu vodiče

$$f_c = \frac{\gamma}{l^2} \sqrt{\frac{E \cdot J}{m'}} = \frac{3,56}{0,8^2} \sqrt{\frac{125 \cdot 10^9 \cdot 3,27 \cdot 10^{-9}}{2,848}} = 66,33 \text{ Hz}$$

kde  $\gamma = 3,56$  je koeficient uspořádání podpěr určený z **Tabulka 6.12**

$l = 0,8 \text{ m}$  vzdálenost podpěrek

$E = 125\,000 \text{ MPa}$  modul pružnosti v tahu pro měď

$m' = 2,848 \text{ kg/m}$  je hmotnost vodiče z **Tabulka 6.14**

$J = \frac{1}{12} d^3 b = \frac{1}{12} 0,032^3 \cdot 0,01 = 3,27 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$  je kvadratický moment průřezu vodiče

$$\frac{f_c}{f} = \frac{66,33}{50} = 1,33$$

tzn. koeficient  $V_\sigma$  má podle **Obrázek 6.6** hodnotu 1 stejně jako je tato uvedena v **Tabulka 6.15**  $V_\sigma \cdot V_r = 1,0$  pro trojfázový zkrat bez OZ, tzn. výpočet vlastního kmitočtu vodiče se nepotvrdila možnost snížení tohoto koeficientu pod hodnotu 1.

e) Výpočet síly na podpěrky

$$\text{- Vnitřní } F_d = V_F \cdot V_r \cdot \alpha \cdot F_m = 1,1 \cdot 1,2320 = 2552 \text{ N}$$

$$\text{- Vnější } F_d = V_F \cdot V_r \cdot \alpha \cdot F_m = 1,0 \cdot 4 \cdot 2320 = 928 \text{ N}$$

Koeficient  $V_F \cdot V_\sigma$  je určen z **Tabulka 6.15** podle:

$$\frac{\sigma_{tot}}{0,8 \cdot R_{p0,2}} = \frac{99,62}{0,8 \cdot 100} = 1,245 \Rightarrow V_F \cdot V_r = 1,0$$

S ohledem na dané uspořádání je nutné provést přepočítání síly  $F_d$ , která působí v ose vodiče, na hlavu podpěrky

$$F'_d = F_d \cdot \frac{h_i + h}{h_i}$$

- vnitřní

$$F'_d = 2320 \cdot \frac{130 + 15}{130} = 2587,7 \text{ N}$$

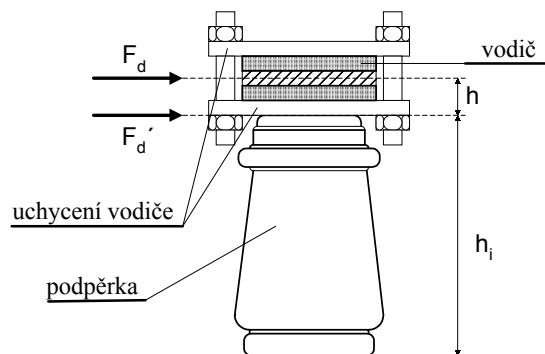
- vnější

$$F'_d = 928 \cdot \frac{130 + 15}{130} = 1035,1 \text{ N}$$

$h_i = 130 \text{ mm}$  - výška staniční podpěrky

Odečteno z **Obrázek 6.4** (výška staniční podpěrky označena  $V$ )

$h = 15 \text{ mm} = 0,5d + 10 \text{ mm}$



Volíme podpěrky IPA 4/75 s mechanickou pevností v ohybu  $4000 \text{ N}$ . Jako vnější podpěrky mohou být použity podpěrky s nižší mechanickou pevností

**Příklad 6.3:** Al vodiče protékané ss proudem jsou uchyceny na podpěrkách o pevnosti 4000 N podle nákresu. Průměr vodiče je 30 mm, výška podpěrky  $h_i = 130$  mm, vzdálenost vodičů  $a = 20$  cm, nárazový zkratový proud je  $I_{km} = 50$  kA. Navrhněte vzdálenost podpěrek tak, aby vyhověla pevnost vodičů i pevnost podpěrek. (Předpokládá se uložení přes více polí,  $V_r.V_F = 1$ ,  $Z = 0,1.d^3$ ,  $q = 1,7$ ).

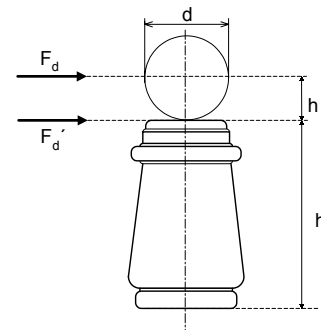
Řešení:

1. Kontrola ohybového namáhání vodičů

$$\sigma_m = V_\sigma.V_r.\beta.\frac{2.I_{km}^2.l^2.10^{-7}}{8.Z.a_m} \leq q.R_{p0,2} \Rightarrow$$

$$l \leq \sqrt{\frac{q.R_{p0,2}.8.Z.a_m}{V_\sigma.V_r.\beta.2.I_{km}^2.10^{-7}}} = \sqrt{\frac{1,7.45.10^6.8.0,1.(3.10^{-2})^3.0,2}{1.0,75.2.(50.10^3)^2.10^{-7}}} = 0,88m$$

$$\underline{\underline{l \leq 0,88m}}$$



2. Kontrola pevnosti podpěrek

$$F_d = V_F.V_r.\alpha.F_m$$

$$F_d \cdot \frac{h_i + h}{h_i} = V_F.V_r.\alpha.\frac{2.I_{km}^2.l.10^{-7}}{a_m} \frac{(h_i + h)}{h_i} \leq 4000N \Rightarrow l \leq \frac{4000.a_m.h_i}{V_F.V_r.\alpha.2.I_{km}^2.10^{-7}(h_i + h)}$$

$$l \leq \frac{4000.0,2.0,13}{1,1.2.(50.10^3)^2.10^{-7}.(0,13 + 0,05)} = 1,05m$$

$$\underline{\underline{l \leq 1,05m}}$$

Vzdálenost podpěrek musí vyhovovat oběma podmínkám tj. musí být menší nebo rovna 0,88 m.

### 6.7.1 Tabulky jmenovitých zatížení vodičů

**Tabulka 6.18:** Jmenovitý proud silových kabelů 6-AYKCY, 6-AYKCYDY (tab. 52-NK30 z [ 9])

Počet žil a jmenovitý průřez [ mm <sup>2</sup> ]	I <sub>nv</sub> [A]	θ <sub>p</sub> [°C]	I <sub>nz</sub> [A]
3 x 25	87	54	109
3 x 35	104		129
3 x 50	127		156
3 x 70	155		186
3 x 95	168	52	204
3 x 120	195		235
3 x 150	224		268
3 x 185	259		306
3 x 240	306		357

**Tabulka 6.19:** Jmenovitý proud silových kabelů 10-AYKCY, 10-CYKCY (tab. 52-NK33 z [ 9])

Počet žil a jmenovitý průřez [ mm <sup>2</sup> ]	10 - AYKCY			10 - CYKCY		
	$I_{nv}$ [A]	$\vartheta_p$ [°C]	$I_{nz}$ [A]			
3 x 16	72	54	89	93	54	114
3 x 25	91		111	117		143
3 x 35	109	53	132	141	53	170
3 x 50	133		158	172		204
3 x 70	160	52	188	206	52	242
3 x 95	191		221	246		285
3 x 120	217	51	249	279	51	320
3 x 150	244		279	314		358
3 x 185	275	50	310	353	50	398
3 x 240	316		355	405		453

**Tabulka 6.20:** Jmenovitý proud  $I_{nv}$  holých hliníkových plochých vodičů

Uspořádání	Jednoduchý vodič svisle uložený		Dvojnásobný vodič svisle uložený		Jednoduchý vodič vodorovně uložený		Dvojnásobný vodič vodorovně uložený	
	nenatřený	natřený	nenatřený	natřený	nenatřený	natřený	nenatřený	natřený
16x2	138	168	271	314	128	160	249	295
16x3	174	211	340	395	162	202	317	375
16x10	358	440	703	837	350	434	688	824
20x2	167	205	326	377	154	194	298	354
20x3	209	256	408	474	194	244	377	448
20x5	280	343	547	640	264	331	514	612
25x3	252	311	490	571	233	295	451	537
25x5	335	415	650	749	314	398	610	729
32x3	311	387	602	70	286	367	550	658
32x5	412	513	799	936	383	491	736	713
32x10	613	768	1194	1415	584	745	1134	136
40x3	376	473	726	850	344	448	661	794
40x5	496	624	960	1127	460	595	884	1063
40x10	734	925	1425	1689	694	894	1328	1569
50x5	600	760	1156	1369	55	724	1059	1280
50x10	882	1120	1705	2024	828	1078	1579	1877
63x5	731	935	1405	1659	672	890	1280	1555
63x10	1069	1367	2058	2448	997	1330	1895	2269
80x5	899	1161	1720	2041	823	1103	1561	1909
80x10	1307	1688	2507	2992	1213	1617	2296	2771
100x5	1091	1423	2082	2482	997	1352	1883	2317
100x10	1580	2059	3056	3748	1461	1969	2754	3351
100x16	2039	2660	3928	4784	1907	2560	358	4318
125x10	1914	2518	3646	4387	1764	2406	3329	4127
160x10	2371	3152	4499	5443	2178	3010	4090	5110
160x16	3038	4039	5776	7015	2814	3873	5278	6537
200x10	2882	3868	5448	6630	2641	3693	4937	6217



**Tabulka 6.21:** Jmenovitý proud  $I_{nv}$  holých měděných plochých vodičů

Uspořádání	Jednoduchý vodič svísele uložený		Dvojnásobný vodič svísele uložený		Jednoduchý vodič vodorovně uložený		Dvojnásobný vodič vodorovně uložený	
	nenatřený	natřený	nenatřený	natřený	nenatřený	natřený	nenatřený	natřený
16x2	182	222	357	414	169	211	328	389
16x3	229	278	448	521	214	266	418	495
16x10	472	580	927	1104	462	572	907	1087
20x2	220	270	430	497	203	256	393	467
20x3	276	338	538	625	256	322	497	591
20x5	369	452	721	844	348	437	678	807
25x3	332	410	646	753	307	389	595	708
25x5	442	547	857	988	414	525	804	961
32x3	410	510	794	92	377	484	725	868
32x5	543	677	1054	1234	505	648	971	940
32x10	808	1013	1575	1866	770	983	1496	179
40x3	496	624	957	1121	454	591	872	1047
40x5	654	823	1266	1486	607	785	1166	1402
40x10	968	1220	1879	2228	915	1179	1751	2069
50x5	791	1002	1525	1805	73	955	1397	1688
50x10	1163	1477	2249	2669	1092	1422	2082	2475
63x5	964	1233	1853	2188	886	1174	1688	2051
63x10	1410	1803	2714	3229	1315	1754	2499	2992
80x5	1186	1531	2268	2692	1085	1455	2059	2518
80x10	1724	2226	3306	3946	1600	2133	3028	3655
100x5	1439	1877	2746	3273	1315	1783	2483	3056
100x10	2084	2715	4030	4943	1927	2597	3632	4419
100x16	2689	3508	5180	6309	2515	3376	472	5695
125x10	2524	3321	4808	5786	2326	3173	4390	5443
160x10	3127	4157	5933	7178	2872	3970	5394	6739
160x16	4007	5327	7618	9252	3711	5108	6961	8621
200x10	3801	5101	7185	8744	3483	4870	6511	8199

## Seznam použité literatury

- [ 1 ] VERNER, J. *Elektrické stanice a vedení*. Vysoké učení technické v Brně, 1985.
- [ 2 ] ŠTROBLOVÁ, M., HEJTMÁNKOVÁ, P. *Elektrické sítě městské a průmyslové*. Západočeská universita v Plzni, 1994.
- [ 3 ] MERTLOVÁ, J., KOCMICH, M. *Elektrické stanice a vedení*. Vydavatelství Západočeské university, 1997.
- [ 4 ] HODINKA, M., FECKO, Š., NĚMEČEK, F. *Přenos a rozvod elektrické energie*. SNTL Praha, 1989.
- [ 5 ] FECKO, Š., ŽIARAN, J., VARGA, L. *Elektrické siete. Vonkajšie silové vedenia*. SVŠT v Bratislavě, 1990.
- [ 6 ] KRYCHTÁLEK, Z., PAUZA, J. *Elektrické stanice*. SNTL Praha, 1989
- [ 7 ] ČSN 33 3300 Stavba venkovních silových vedení
- [ 8 ] ČSN 33 3301 Stavba venkovních silových vedení do 52 kV
- [ 9 ] ČSN 33 2000-5-523 Elektrická zařízení Část 5 – Výběr a stavba elektrických zařízení Oddíl 523 – Dovolené proudy
- [ 10 ] ČSN 33 2000-4-473 Elektrická zařízení Část 4 – Bezpečnost. Oddíl 473 – Opatření k ochraně proti nadproudům
- [ 11 ] ČSN 33 2000-4-43 Elektrická zařízení Část 4 – Bezpečnost. Oddíl 43 – Ochrana proti nadproudům
- [ 12 ] ČSN 33 2000-4-41 Elektrická zařízení Část 4 – Bezpečnost. Oddíl 41 – Ochrana před úrazem elektrickým proudem
- [ 13 ] ČSN IEC 38 (33 0120) Normalizovaná napětí IEC.
- [ 14 ] ČSN 33 3040 Zkratové proudy – Výpočet účinků – Část 1: Definice a výpočetní metody.
- [ 15 ] ČSN 38 1754 Dimenzování elektrického zařízení podle účinků zkratových proudů.
- [ 16 ] ČSN 33 3020 Výpočet poměrů při zkratech v trojfázové elektrizační soustavě.
- [ 17 ] ČSN 34 1610 Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách.
- [ 18 ] ČSN EN 60439-1 (35 7107) Rozváděče nn Část 1: Typově zkoušené a částečně typově zkoušené rozváděče.
- [ 19 ] ČSN 33 3200 Elektrické stanice a rozvodná zařízení. Třídění a základní pojmy
- [ 20 ] ČSN 33 3210 Rozvodná zařízení. Společná ustanovení.
- [ 21 ] ČSN 34 7409 Systém značení kabelů a vodičů
- [ 22 ] ČSN 02 4210 Hliníková lana a hliníková lana s ocelovou duší pro elektrická vedení
- [ 23 ] HOLOUBEK, J. *Rozvodná zařízení a spínací prvky*. Vysoké učení technické v Brně, 1991.
- [ 24 ] Firemní katalogy Siemens, Kablo Kladno, ABB, Group Schneider