



ENERGETICKÁ BILANCE DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ

Radek Procházka
(prochazka@fel.cvut.cz)

Elektroenergetika 2 (A1B15EN2)

POJMY

- energetická bilance
 - souhrn potřeb el. energie v rámci stavebního objektu
- instalovaný (jmenovitý) výkon P_i
 - udává, kolik el. energie jsou maximálně schopny odebrat
- soudobý výkon (výpočtové zatížení) P_v
 - skutečné (reálné) zatížení
 - zohledňuje poměrné zatížení současně připojených spotřebičů

VÝPOČTOVÉ ZATÍŽENÍ

- rozhoduje:
 - o velikosti napájecího zdroje
 - o návrhu vodičů pro rozvod
 - o výkonech spínacích přístrojů
 - o výkonech měřicích a ochranných přístrojů (nastavení ochran)
 - o velikosti kompenzačních prostředků
- musíme rozlišovat rozsah řešení:
 - jeden spotřebič?
 - průmyslový areál, městská část, bytové sídliště?

KOEFICIENT NÁROČNOSTI

- návrh zdroje musí vycházet ze skutečnosti:
 - ve skupině je malá pravděpodobnost, že by všechny spotřebiče pracovaly najednou
 - nepatrná pravděpodobnost, že by tyto spotřebiče byly současně využity na plný jmenovitý výkon
- činitel současnosti
 - poměr výkonu současně připojených spotřebičů a celkového instalovaného výkonu

$$k_s = \frac{\sum P_{is}}{\sum P_i}$$

KOEFICIENT NÁROČNOSTI

- činitel zatížitelnosti
 - poměrné zatížení současně připojených spotřebičů dané skupiny

$$k_z = \frac{\sum P_s}{\sum P_{ns}}$$

- činitel náročnosti
 - určuje reálné zatížení

$$\beta = \frac{k_s \cdot k_z}{\eta_m \cdot \eta_s}$$

účinnost spotřebičů při
daném využití

účinnost napájecí
soustavy

VÝPOČTOVÉ ZATÍŽENÍ

- homogenní skupina spotřebičů
 - spotřebiče srovnatelných výkonů:

$$P_s = \beta \cdot P_i = \beta \cdot \sum P_n$$

- P_V : výpočtové zatížení (reálné maximum celé skupiny n-spotřebičů)
- nehomogenní skupina spotřebičů
 - hlavně spotřebiče, které se od ostatních výrazně (řádově) liší
 - kontrola na tři největší spotřebiče

$$P_s = a \cdot P_x + b \cdot P_i$$

VÝPOČTOVÉ ZATÍŽENÍ (BYTY)

- soudobosti pro skupinu bytů

$$\beta_n = \beta_\infty + \frac{(1 - \beta_\infty)}{\sqrt{n}}$$

Bytů ve skupině n	β	Bytů ve skupině n	β	Bytů ve skupině n	β
2	0,77	13	0,42	24	0,36
3	0,66	14	0,41	25	0,36
4	0,60	15	0,41	26	0,36
5	0,56	16	0,40	27	0,35
6	0,53	17	0,39	28	0,35
7	0,50	18	0,39	29	0,35
8	0,48	19	0,38	30	0,35
9	0,47	20	0,38	40	0,33
10	0,45	21	0,37	50	0,31
11	0,44	22	0,37	80	0,29
12	0,43	23	0,37	100	0,28

VÝPOČTOVÉ ZATÍŽENÍ (DTS)

- zatížení na kabelový vývod z DTS:

Počet SP5 na vývodu	Soudobost β_n	Počet SP5 na vývodu	Soudobost β_n
2	0,75	11	0,41
3	0,64	12	0,40
4	0,58	13	0,39
5	0,53	14	0,38
6	0,50	15	0,37
7	0,47	16-17	0,36
8	0,45	18-19	0,35
9	0,43	20	0,34
10	0,42		

- pro byty (RD) s el. vytápěním (akumulace, přímotopy) nutno volit $\beta_n = 0,7 \div 0,9$

VÝPOČTOVÉ ZATÍŽENÍ (nebytové)

- běžné nebytové odběry:
 - zdravotnická střediska, polikliniky:

P_i (kW)	P_{maxn}=f(ord)	ordinací	5	10	20	30	40
3,5/ord	2,5.ord	P _{maxn} (kW)	12,5	25	50	75	100

- restaurace:

P_i (kW)	P_{maxn}=f(m)	počet míst	50	100	150	200	250
0,5/místo	0,4.m	P _{maxn} (kW)	20	40	60	80	100

- hotely:

P_i (kW)	P_{maxn}=f(l)	počet lůžek	100	250	500	750	1000
0,7/lůžko	0,5.l	P _{maxn} (kW)	50	125	250	375	500

VÝPOČTOVÝ PROUD

- Trojfázová spotřeba:

$$I_s = \frac{1000 \cdot P_s}{\sqrt{3} \cdot U_{3S} \cdot \cos \varphi} \text{ (A)}$$

- Jednofázová spotřeba:

$$I_s = \frac{1000 \cdot P_s}{U_f \cdot \cos \varphi} \text{ (A)}$$

- Stejnoseměrná spotřeba:

$$I_s = \frac{1000 \cdot P_s}{U} \text{ (A)}$$

PŘ: BYTOVÝ DŮM

Energetická bilance bytového domu:

- bytové jednotky
- nebytové prostory
- společná spotřeba objektu

Objekt X	Instalovaný příkon P_i (kW)	Soudobost β (-)	Soudobý příkon P_s (kW)
25× bytová jednotka (kat. B, á 11,0 kW)	275	0,36	99
2× nebytový prostor (á 7 kW)	14	0,77	11
1× společná spotřeba objektu	10	0,6	6
1× provozovna restaurace (vč. gastroprovozu)	63	0,6	38
Celkem (kW)	362		154

Meziskupinová soudobost:

$\beta = 0,85$

Maximální soudobý příkon:

130 kW

Pojistky osazené v přípojkové skříni:

315 A

PŘ: ADMINISTRATIVNÍ BUDOVA

	z napájecí sítě (N)			z UPS (U)	z UPS (UP)	z DA (D)
	Instalovaný příkon P_i (kW)	Koeficient soudobosti β (-)	Soudobý příkon P_s (kW)	Soudobý příkon P_s (kW)	Soudobý příkon P_s (kW)	Soudobý příkon P_s (kW)
Počítačová pracoviště (342 pracovišť á 0,85kW)	291	0,85	247	116	-	131
Ostatní zásuvkové obvody	190	0,30	57	-	-	15
Osvětlení	70	0,90	63	-	-	30
Venkovní osvětlení	4	1,00	4	-	-	-
Topné kabely	15	1,00	15	-	-	-
Datová technologie	25	1,00	25	25	-	25
Slaboproudé rozvody (STO)	12	1,00	12	6	-	6
Slaboproudé rozvody (SK)	96	1,00	96	80	-	160
Telefonní rozvody (O2)	27	0,90	24	18	-	18
Vytápění	10	0,80	8	-	-	-
Vzduchotechnika (vč. zvlhčovačů)	260	0,85	221	-	-	-
Chlazení	230	0,65	150	-	-	25
Zdravotechnika	43	0,80	34	-	-	11
Měření a regulace	2	1,00	2	2	-	2
Výtahy	39	0,80	31	-	-	24
Zařízení spojená s PBŘS	28	1,00	28	-	28	28
Rezerva	100	0,60	60	-	15	25
Celkem (kW)			1 078	247	43	500
Meziskupinová soudobost β :		0,90				
Maximální soudobý příkon P_s (kW)			970			

PŘ: ZDRAVOTNICKÉ STŘEDISKO

- Zadání:
 - 70x PC, záloha: PC z UPS, PC+monitor z DA
 - 26x zdravotnické pracoviště, záloha: 1/3 odběru z UPS i DA
 - **SLA**: 15kW, záloha UPS+DA
 - **ÚT**: 8kW, bez požadavku zálohy
 - **VZT+CHL**: 100kW, z DA: 11kW
 - **ZTI**: 5kW, v souběhu 4kW, záloha: 1kW z DA
 - **MaR**: 2kW, záloha: 1kW z DA
 - **Výtahy**: 32kW, $\beta=0,8$, záloha: 15kW z DA
 - **PBŘ**: 5kW
- Jaká je rezerva na stávajícím TRF 400kVA?

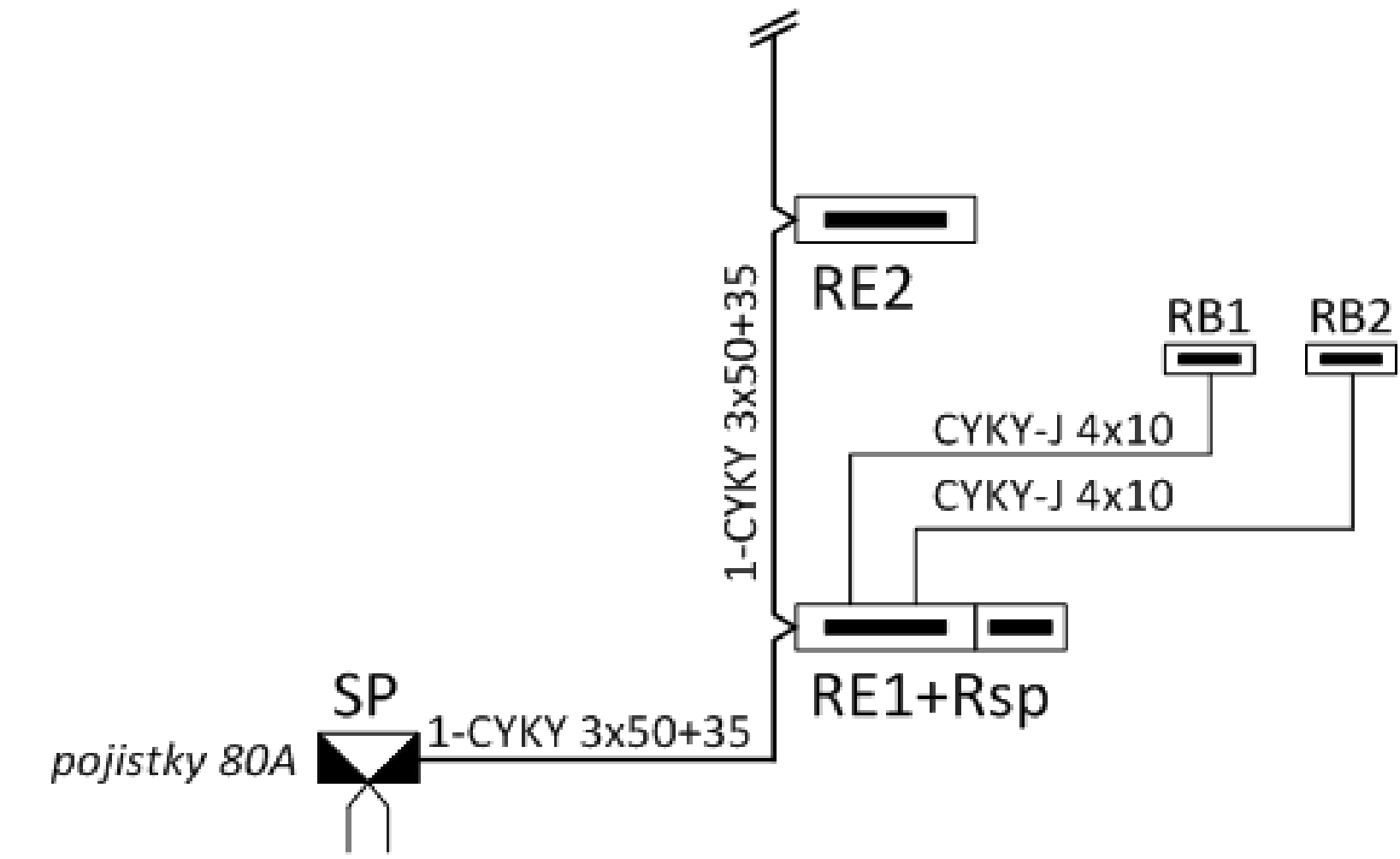
PŘ: ZDRAVOTNICKÉ STŘEDISKO

	z napájecí sítě (S)			z UPS (U)	z DA (D)
	Instalovaný příkon P_i (kW)	Koeficient soudobosti β (-)	Soudobý příkon P_s (kW)	Soudobý příkon P_s (kW)	Soudobý příkon P_s (kW)
Počítačová pracoviště (70 pracovišť á 0,4kW)	30	0,85	26	15	21
Zdravotnická pracoviště	91	0,70	64	31	31
Osvětlení	50	0,70	35	-	3
Slaboproudé rozvody	15	1,00	15	14	14
Vytápění	8	0,70	6	-	-
Vzduchotechnika, chlazení	100	0,70	70	-	11
Zdravotechnika	5	0,75	4	-	1
Měření a regulace	2	1,00	2	-	1
Výtahy	32	0,80	26	-	15
Zařízení spojená s PBŘS	5	1,00	5	1	5
Rezerva	60	0,60	36	10	25
Celkem (kW)	398		287	71	127
Meziskupinová soudobost β :	0,90				
Maximální soudobý příkon P_s (kW)			258	64	114
Výpočtový proud I_p (A)			393		
Poměrné zatížení traťa 400 kVA (%)			68		

SILOVÉ ROZVODY

- při dimenzování el. rozvodu se bere za základ:
 - výpočtové zatížení P_v
 - výpočtový proud I_v
 - úbytek napětí $\Delta U_{\%}$

HLAVNÍ DOMOVNÍ VEDENÍ



HLAVNÍ DOMOVNÍ VEDENÍ (HDV)

- pro HDV se používá celistvých izolovaných (jednožilových) vodičů, popř. kabelů
- průřez HDV se volí s ohledem na očekávané zatížení (výpočtové zatížení)
- průřez HDV musí být takový, aby dovolené proudové zatížení vodičů bylo vyšší než výpočtový proud
- HDV se jistí v přípojkové skříni, popř. hlavním rozvaděči
- HDV musí být umístěno a provedeno tak, aby:
 - byl ztížen nedovolený odběr
 - jeho výměna byla možná bez stavebních zásahů

KABELY PRO HDV

- celoplastové kabely 1-YY

Počet a průřez žil (mm ²)	Průměr (mm)	Poloměr ohybu (mm)	Zatížitelnost (A)	
			Vzduch	Země
1x25	12	180	144	208
1x35	13	200	176	250
1x50	14	215	214	296
1x70	16	240	270	365
1x95	18	270	334	438
1x120	19	300	389	501
1x150	21	315	446	563
1x185	24	360	516	639

KABELY PRO HDV

- celoplastové kabely 1-CYKY

Počet a průřez žil (mm ²)	Průměr (mm)	Poloměr ohybu (mm)	Zatížitelnost (A)	
			Vzduch	Země
3x25+16	27	325	105	188
3x35+16	27	330	129	159
3x50+25	29	350	157	188
3x70+35	32	390	199	232
3x95+50	36	440	246	280
3x120+70	38	470	285	318
3x150+70	42	505	326	359
3x185+95	49	590	374	406

DIMENZE HDV

- minimální průřezy dle ČSN 33 2130/Z2:

Počet a průřez vodičů HDV (mm ²)		Stupeň elektrizace bytů	
		A	B
Al	Cu	Počet bytů na HDV	
4x16	4x10	≤7	≤3
4x25	4x16	8÷10	4÷5
3x35+25	3x25+16	11÷14	6÷7
3x50+35	3x35+25	15÷19	8÷10
3x70+50	3x50+35	20÷26	11÷14
3x95+70	3x70+50	27÷32	15÷19
	3x95+50	33÷46	20÷27

DIMENZOVÁNÍ VODIČŮ - OBECNĚ

- Návrh:
 - volba druhu vodiče
 - pro dané prostředí
 - pro dané podmínky
 - způsob uložení vodiče
 - stanovení průřezu vodiče
 - pro určitý výkon
 - při daném uložení

ZÁSADY PŘI NÁVRHU VODIČŮ

- teplota vodičů v provozu v dovolených mezích
- hospodárný průřez
- dostatečná mechanická pevnost
 - jmenovité zatížení
 - montáž
- úbytek napětí na vodičích v dovolených mezích
- odolnost proti účinkům zkratových proudů

1) Dovolená provozní teplota

- nejvyšší teplota vodiče, při které může vodič trvale pracovat
- vlivy na teplotu vodiče:
 - proudové zatížení
 - okolní teplota
 - přímé sluneční záření
- jmenovitá proudová zatížitelnost I_{NV} :
 - velikost trvalého proudového zatížení při základním způsobu uložení

1) Dovolená provozní teplota

- základní uložení vodičů:
 - vodorovné, v klidném vzduchu, o teplotě 30°C
 - vodorovné, v zemi s měrným tepelným odporem 0,7 K.m.W⁻¹, v hloubce 70 cm s teplotou půdy 20°C
- dovolené proudové zatížení I_{DOV} (pro nejhorší tepelné podmínky na trase vedení):

$$I_{DOV} = (k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n) \cdot I_{NV}$$

- určení průřezu vodiče podle provozní teploty:

$$A \geq \frac{I_{DOV}}{J}$$

1) Dovolená provozní teplota

- dimenze kabelu podle zatížení a uložení:

Průřez kabelu	Způsob uložení kabelu**)			
	A	B	C	D
	I _p (A)			
1,5	10	10	10	25
2,5	16	16	16	32
4	20	25	25	40
6	32	32	32	50
10	40	40	40	63
16	50	63	50	80
25	63	80	63	125
35	80	100	80	125
50	100	125	100	160
70	125	160	125	200
95	160	200	160	250
120	160	225	200	315

**) uložení:

A - v izolační stěně

B - v trubce na stěně

C - na stěně

D - v zemi

2) Hospodárný průřez

- průřez vodiče má být takový, aby se vodič v provozu nezatěžoval větším proudem, než odpovídá hospodárné proudové hustotě
- **doba plných ztrát** τ_z – doba, za kterou vyrobíme činné ztráty za rok při zatěžování max. proudem
- pro hospodárný průřez platí (pro $\tau_z > 1000$ hod/rok a životnost min. 10 let provozu):

$$A = k \cdot I_V \cdot \sqrt{\tau_z}$$

3) Úbytek napětí

- počítá se pro daný průřez a danou délku
- zatěžováním vodičů vznikají úbytky napětí, závislé na parametrech vodičů a na velikosti zatěžovacího proudu (důležité hlavně pro paprsková vedení)

- úbytek napětí:

- jednofázová soustava:
$$\Delta U = \frac{2 \cdot \rho \cdot l}{A} \cdot I \cdot \cos \varphi = \frac{2 \cdot \rho \cdot l}{A} \cdot \frac{P}{U_f}$$

- třífázová soustava:
$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot l}{A} \cdot I \cdot \cos \varphi = \frac{\rho \cdot l}{A} \cdot \frac{P}{U_s}$$

3) Úbytek napětí

- dovolené úbytky napětí:
 - mezi přípojkovou skříní a domovním rozvaděčem (za elektroměrem):
 - světelný a smíšený odběr: 2 %
 - odběr jiný než světelný: 3 %
 - od domovního rozvaděče ke spotřebičům:
 - světelné obvody: 2 %
 - obvody pro vařiče a topidla: 3 %
 - ostatní obvody: 5 %

4) Mechanická pevnost vodičů

- odolnost mechanickému namáhání při montáži a různých podmínkách provozu
- vodiče v budovách jsou kromě montáže vystaveny pouze působení vzájemných sil mezi vodiči → volíme minimální průřez vodičů pro napětí do 1kV
- pro venkovní vedení VN a VVN: lana AlFeX (X = 3, 4, 6, 8, ... je poměr Al/Fe – čím menší X, tím je lano pevnější) – dle klimatických podmínek (síla větru, námraza, vlastní tíhová síla vodiče)

5) Odolnost proti zkratu

- zkratové proudy mohou být několikanásobně větší, než proudy jmenovité
- účinky zkratových proudů:
 - silové (dynamické) – hlavně u pevně uložených vodičů
 - tepelné – u volně uložených nebo zavěšených vodičů

5) Odolnost proti zkratu

- silové účinky zkratových proudů:

- síla mezi 2 vodiči: $F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$

- intenzita el. pole ve vzdálenosti x od vodiče:

$$H = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot x}$$

- max. síla kolmo k ose vodiče:

$$F = \mu_0 \cdot \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot x} \cdot I \cdot l = 2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I^2}{x} \cdot l$$

- max. síla na 1 metr vodiče: $f_K = 2 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{I_{KM}^2}{x}$

5) Odolnost proti zkratu

- tepelné účinky zkratových proudů:
 - jsou dány působením časově proměnných zkratových proudů po dobu trvání zkratu
 - teplo vyvinuté ve vodičích: $Q = f(R(T), i_k^2(t))$
 - zkratový proud můžeme nahradit ekvivalentním oteplovacím proudem I_{Ke} :

$$I_{Ke} = k_e \cdot I_K''$$

- průřez vodiče, vyhovující tepelnému namáhání

$$A = \frac{I_{Ke} \cdot \sqrt{t_K}}{K}$$