

# Statistika zatížení distribučních transformátorů, ztráty na transformátorech

Jan SOUČEK

## 1. Úvod

Distribučních transformátorů je v České republice ve všech sítích vn značné množství. Při plánované výměně se povětšinou volí stejný výkonový stupeň transformátoru bez ohledu na skutečný průběh zatížení, protože ve většině případů ani tento průběh není znám. Z toho mohou vyplývat nepřiměřené ztráty energie i cena transformátoru. Díky tomu, že se v distribučních trafostanicích začaly více nasazovat přístroje pro dlouhodobé měření, bylo možné provést statistiku využití těchto transformátorů a srovnání v případě dimenzování podle skutečných hodnot.

## 2. Experimentální síť

Zkoumaná síť obsahuje celkem 96 trafostanic o jmenovitých výkonech především 250 kVA a 400 kVA (rozdělení v **tab. 1**). Celkový instalovaný výkon je 29 MVA a přenášený činný výkon ve sledovaném období je v průměru 4,3 MW. Všechny stanice byly vybaveny univerzálními monitory MEG40 pro dlouhodobé měření na sekundární straně transformátoru a záznam průběhů napětí, proudů a výkonů [4]. Monitory byly nastaveny pro záznam pětiminutových průměrných hodnot, z nichž vychází další výpočet.

## 3. Výpočet

Zatížení transformátoru se určí jako podíl skutečného a jmenovitého zdánlivého výkonu [1] a to podle vztahu:

$$\beta = \frac{S}{S_n}, \quad (1)$$

kde  $\beta$  [-] je zatížení transformátoru,  
 $S$  [kVA] je odebíraný zdánlivý výkon,  
 $S_n$  [kVA] je jmenovitý zdánlivý výkon.

Pro ztrátový výkon pak platí:

$$P_z = P_0 + P_k \cdot \beta^2, \quad (2)$$

kde  $P_z$  [W] je ztrátový výkon,  
 $P_0$  [W] jsou ztráty transformátoru naprázdno,  
 $P_k$  [W] jsou ztráty transformátoru nakrátko.

Zatížení se spočte pro všechny pětiminutové hodnoty za sledované období a z nich potom určíme průměrné zatížení, pětiminutové a patnáctiminutové maximum.

Při uvážení kvadratické závislosti a toho, že vstupem pro výpočet je soubor pětiminutových hodnot, dostaneme vztah pro určení průměrného ztrátového výkonu úpravou vztahu (2) do tvaru:

$$P_z = P_0 + P_k \frac{\sum_{i=1}^I \beta_{5min,i}^2}{I} \quad (3)$$

kde  $\beta_{5min,i}$  [-] je pětiminutová hodnota zatížení o indexu  $i$ ,  
 $I$  [-] je celkový počet pětiminutových hodnot za sledované období.

Ztráty energie pak určíme jako:

$$W_z = P_z \cdot T_p \quad (4)$$

kde  $W_z$  [Wh] jsou ztráty energie,  
 $T_p$  [h] je doba provozu.

Při nižším požadavku na přesnost je možné použít i vztahu (2) při dosazení průměrné hodnoty zatížení. Rozdíl výpočtu v této konkrétní síti a v daném období je většinou do 3 %, maximálně pak 8 %, v závislosti na diagramu zatížení.

Podle cenového rozhodnutí ERÚ č. 4/2010 [3] se výpočet ztrát na transformátoru při měření na sekundární straně (pro měření typu C – známá roční spotřeba a naměřené či sjednané maximální zatížení) provádí podle následujících vztahů:

$$T_{max} = \frac{W}{P_{max}} \quad (5)$$

kde  $T_{max}$  [h] je doba využití maxima,  
 $W$  [kWh] je elektrická energie,  
 $P_{max}$  [kW] je špičkový výkon (naměřené maximum).

Dále se určí doba plných ztrát:

$$T_{\Delta} = T_p \left[ 0,2 \frac{T_{max}}{T_p} + 0,8 \left( \frac{T_{max}}{T_p} \right)^2 \right] \quad (6)$$

kde  $T_{\Delta}$  [h] je doba plných ztrát.

Ztráty výkonu a energie se potom určí jako:

$$P_{zTmax} = P_0 + P_k \left( \frac{S_{max}}{S_n} \right)^2 \quad (7)$$

$$W_z = P_0 \cdot T_p + P_k \left( \frac{S_{max}}{S_n} \right)^2 T_{\Delta} \quad (8)$$

kde  $P_{zTmax}$  [h] je maximální ztrátový výkon,  
 $S_{max}$  [h] je maximální naměřený odběr.

Pro srovnání byl použit normovaný postup výpočtu pro měření typu C a pak výpočet pomocí pětiminutových hodnot z měření. Rozdíl uvedených metod pro určení ztrát energie činí v průměru 2 %, v některých případech až 7 %.

## 4. Statistika zatížení transformátorů

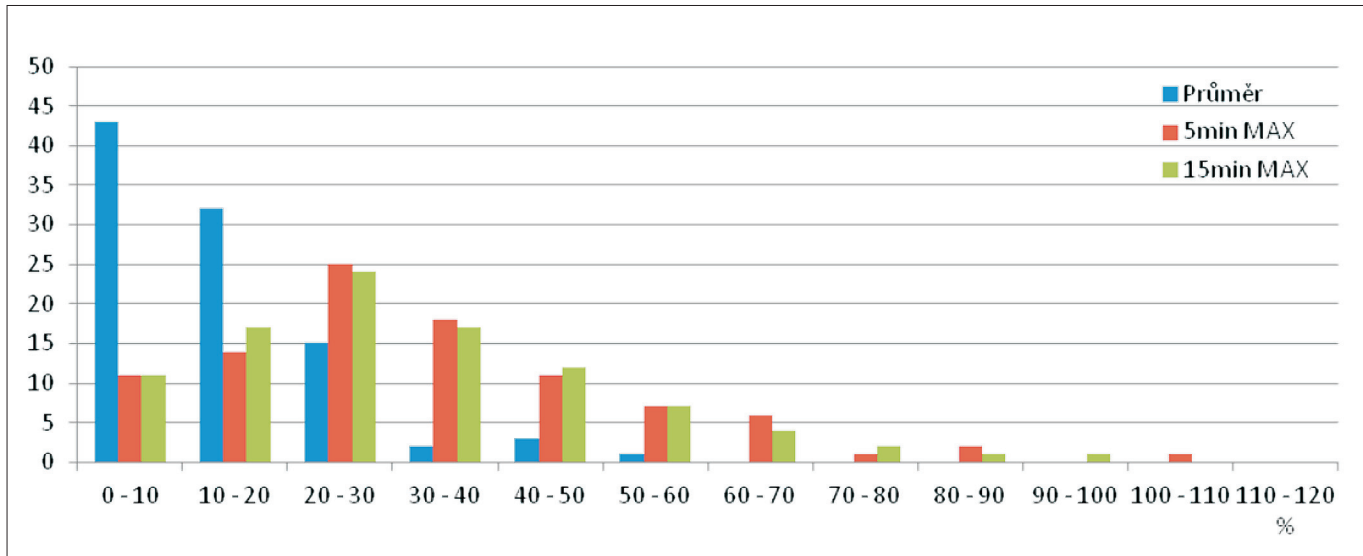
Z hlediska velkého objemu dat (8640 pětiminutových hodnot za měsíc; 96 transformátorů) bylo pro výpočet voleno období jednoho měsíce a to leden 2011.

Rozdělení zatížení trafostanic je patrné z histogramu na **obr. 1**. Na svislé ose je počet transformátorů a na vodorovné pak jejich procentní zatížení. Modře je rozložení pro průměrné zatížení za sledované období, červeně pro pětiminutová a zeleně pro patnáctiminutová maxima.

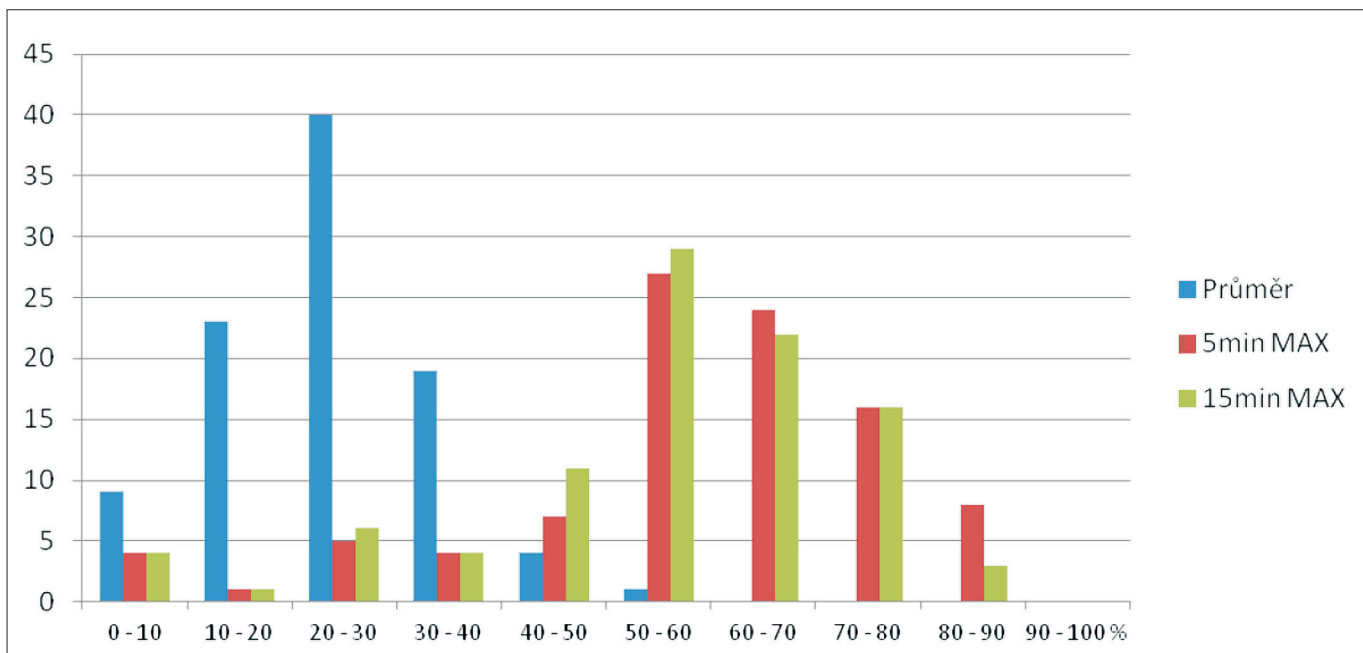
Průměrné zatížení většiny transformátorů je do 30 %, přičemž právě tato hodnota je hranicí, kdy je ve většině případů z hlediska ztrát vhodné přejít na nižší výkonový stupeň transformátoru. V maximech také většina transformátorů nedosahuje velkého zatížení. Naproti tomu jeden transformátor je v pětiminutovém maximu dokonce přetížen.

Výkonové ztráty všech transformátorů pak činí 89 kW a ztráty energie jsou 64 MWh za jeden měsíc.

Při dimenzování podle naměřených dat pak můžeme dosáhnout značně rozdílného rozdělení. Pro tento hypotetický scénář byly použity průměrné hodnoty ztrát naprázdno a nakrátko transformátorů od různých výrobců a různého provedení. U každého



Obr. 1. Histogram zatížení transformátorů v síti



Obr. 2. Histogram zatížení transformátorů v síti po předimenzování

transformátoru byla zvolena nejvýhodnější varianta z hlediska ztrát tak, aby v maximech nebyl přetížen. Výsledky jsou na obr. 2.

Z grafu je patrné, že využití transformátorů je rozhodně vyšší. Výkonové ztráty poklesly na 62 kW, ztráty energie pak na 44,6 MWh. Rozdíl činí 28 %.

Dále je nutné podotknout, že v dané síti se nachází velké množství starých transformátorů s poměrně velkými výkony naprázdno a nakrátko, a proto další snížení ztrát umožňuje novější konstrukce transformátorů.

Rozložení výkonů transformátorů v síti ukazuje tab. 1. Při předpokladu, že mezi jednotlivými třídami je rozdíl pořizovacích nákladů asi 25 %, je patrné, že dimenzování podle skutečných hodnot může přinést výrazné finanční úspory i z hlediska nákupní ceny.

Tab. 1. Rozdělení výkonových stupňů transformátorů ve zkoumané síti

Výkonový stupeň	50kVA	100kVA	160kVA	250kVA	400kVA	630kVA
Stávající počet	0	5	8	46	33	4
Po předimenzování	18	20	31	20	6	1

S přihlédnutím k tomu, že výpočet je proveden z hodnot za jeden měsíc, je možné, že se za delší časový úsek vyskytnou průměrná zatížení a maxima vyšší. Tím by se musela volba transformátoru přehodnotit. Nicméně výpočet byl proveden pro zimní měsíc a dá se předpokládat, že v létě spotřeba spíše poklesne.

## 5. Dvojice transformátorů

Ve zkoumané síti se nachází 8 paralelních dvojic transformátorů a na šesti místech jsou v provozu oba současně. Zatížení přitom

## MĚŘENÍ ELEKTRICKÉ ENERGIE

pouze u jedné dvojice v maximech dosahuje 42 %, u dalších pak ještě méně. Celkové ztráty činí 16 kW (11,5 MWh). Při odpojení jednoho transformátoru v každé dvojici pak je možné snížit ztráty na 13 kW, tedy 9,4 MWh. Rozdíl činí asi 18 %.

### 6. Závěr

Z výpočtu pomocí naměřených hodnot na transformátorech v síti je patrné, že v dané lokalitě je značné množství výkonově nevyužitých transformátorů. Z toho pak vznikají zbytečné finanční ztráty jak z hlediska ztrát energie, tak i pořizovací ceny. Pokud se při plánované výměně transformátoru přihlídnou ke skutečnému průběhu zatížení, je možné tyto ztráty výrazně snížit.

### Literatura

- [1] CHMELA, M. : Ekonomika a řízení. VUT Brno: 2007
- [2] Vyhláška MPO č. 153/2001 Sb., kterou se stanoví podrobnosti určení účinnosti užití energie při přenosu, distribuci a vnitřním rozvodu elektrické energie
- [3] Cenové rozhodnutí ERÚ č. 4/2010 příloha č. 1– Výpočet ztrát při umístění měření na sekundární straně transformátoru
- [4] Uživatelská příručka k univerzálnímu monitoru MEG40

**Ing. Jan Souček** – v MEG – Měřicí Energetické Aparáty, a. s., pracuje na pozici technik vývoje.

### Přírůstek fotovoltaických elektráren

Ke konci roku 2010 činil celkový instalovaný výkon fotovoltaických elektráren 17 600 MW, v roce 2010 přibýlo 7400 MW výkonu (předpokládáno bylo 9400 MW).  
*Energie & Management č. 9/2011, s. 3*

### Energetická politika Německa

Při rozsáhlé diskusi o energetické politice se kromě obvyklého volání po obnovitelných zdrojích energie zdůrazňuje i decentralizace a vytváření menších oblastních soustav. V této souvislosti je ceněna úloha tepláren jako vyrovnávacího a stabilizačního prvku. Uvádí se také možnost provozu motorových tepláren v režimu odpovídajícímu zatížení elektrické sítě s akumulací tepelné energie a jejím následným, časově posunutým využitím. Nároky na nadřazenou přenosovou síť mají být decentralizovanými soustavami zmenšeny a objevují se také názory, že požadavky na 3600 km nových přenosových sítí jsou přehnané.

*Energie & Management č. 9/2011, s. 1*

### Program k ukončení provozu jaderných elektráren a změn v zásobování energií

V Německu se zpracovávají programy urychleného ukončení provozu jaderných elektráren. Počítá se přitom mj. i s výstavbou plánovaných 10 větrných parků v příbřežních vodách a cca 20 plynovými elektrárnami, které by měly do 5 let dodávat proud do sítě. Greenpeace má plán na opuštění jaderné energie do roku 2015, ale rovněž na ukončení výroby elektriny v uhelných elektrárnách do roku 2040.

K vyrovnání kolísavého výkonu větrných a slunečních elektráren je zapotřebí 16 plynových elektráren, z nichž většina se již staví. Souběžně by mohl být zvýšen podíl KVET a podíl OZE do roku 2020 cca na 40 %. Plán Greenpeace počítá do roku 2030 každoročně se 750 novými větrnými agregáty a s instalací 1500 větrných elektráren v příbřežních vodách v období let 2016 – 2030. V tomto období počítá plán i s 500 000 novými nástřešními solárními elektrárnami a s ročním přírůstkem 70 nových geotermálních centrál. Greenpeace počítá s tím, že bude třeba 1700 km nových přenosových sítí – tedy nikoliv 3600 km, se kterými počítá Německá energetická agentura.

*Energie & Management č. 9/2011, s. 17*

„Kdo měří, ví,  
kdo ví, měří.“

**MEGA**

Měřicí  
Energetické  
Aparáty