

# Měření a simulace zatížení trakčních měření a vyhodnocení jejich činnosti

Václav Kolář<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Katedra obecné elektrotechniky, FEI, VŠB – Technická Univerzita Ostrava  
17. listopadu 15, 708 33, Ostrava-Poruba  
vaclav.kolar@vsb.cz

**Abstrakt.** Příspěvek obsahuje shrnutí některých výsledků dosavadní autorovy práce v rámci doktorského studia. Zabývá se měřením zatížení trakčních měření, také jeho počítačovou simulací a vyhodnocením. Měření byla prováděna na měřárnách Českých drah a jedním z hlavních cílů je vyhodnocení součinitelů zatížení známých v odborné literatuře jako  $c_s$ ,  $c_p$  a  $c_a$ .

**Klíčová slova:** trakce, měřárna, měření, simulace

## 1 Úvod

Ve své práci se zabývám měřením a vyhodnocením provozu trakčních měření. Trakční měřárna je elektrická stanice sloužící k napájení stejnosměrné elektrické trakce. Toto označení se používá u železniční trakce, tak i u pouliční elektrické dopravy, tedy trolejbusů a tramvají.

Já se ve své práci zabývám pouze trakcí železniční. V našem regionu a vlastně v celé severní části České republiky provozují ČD trakci stejnosměrnou s napětím 3 kV (v jižní části je to 25 kV střídavých). Nejbližší trakční měřárna se nachází v Ostravě Svinově, kde mi také ČD umožnily měření.

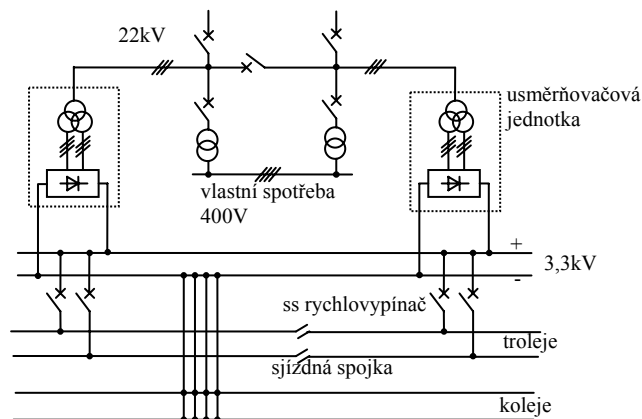
## 2 Trakční měřárny

Protože tento příspěvek je určen širšímu okruhu čtenářů, než jen těch, kteří se zabývají elektrickou trakcí, nebo obecně silnoproudou elektrotechnikou, nejprve velmi stručně popíšu trakční měřárny jako takové a uvedu některá specifika jejich provozu.

### 2.1 Popis trakční měřárny

Trakční měřárna napájí stejnosměrnou elektrickou trakci, v našem případě stejnosměrným napětím 3kV. Měřárny ČD bývají napájeny nejčastěji z distribuční sítě 22 kV, méně často 110 kV, tedy ze střídavé, trojfázové sítě. Měřárna v principu obsahuje transformátor a usměrňovač. (ČD používají 12-ti pulsní usměrňovače které ke své činnosti potřebuje transformátor trojvintuřový.) Transformátor spolu s

usměrňovačem tvoří takzvanou usměrňovačovou jednotku. Těchto je v měnírně více, aby společně byly schopny dodat potřebný výkon a také z důvodu rezervy pro případ poruchy. Kromě usměrňovačových jednotek obsahuje měnírna samozřejmě mnoho dalších zařízení - spínací přístroje, měření, ochrany a dálkové ovládání (většina měření je ovládána dálkově z dispečinku). Obrázek 1. ukazuje zjednodušené schéma trakční měírny napájející dvojkolejnou trať.



**Obr. 1.** Zjednodušené schéma trakční měírny

Pro představu, jmenovité výkony trakčních měíren se pohybují asi od 5 do 20 MW. Jmenovité napětí troleje je 3 kV, ale jmenovité napětí uvnitř měírny je záměrně vyšší, 3,3 kV (kvůli úbytkům na vedení).

## 2.2 Zatížení trakční měírny, součinitele $c_s$ , $c_p$ a $c_a$

Významným specifíkem provozu trakčních měíren je, že jejich zatížení je velmi nerovnoměrné, podle toho jaký je zrovna provoz na trati. Už samotná hnací vozidla (lokomotivy) odebírají proud velmi nerovnoměrně, při rozjezdu soupravy je výkon lokomotivy několik MW, při jízdě po rovině ustálenou rychlostí je o řád menší. Proto zatížení měíren kolísá v podstatě od nuly do plného zatížení.

Aby byla cena zařízení měírny ekonomicky únosná, nejsou dimenzována na trvalé zatížení maximálním výkonem, ale pouze na určitý jmenovitý výkon, s velkou krátkodobou přetížitelností. Většinou 100% zatížení trvale, 150% 2 hodiny a 200% 1 minutu.

U měírny rozeznáváme střední hodnotu výkonu  $P_a$ , efektivní hodnotu (střední kvadratickou)  $P_{ef}$  nebo  $P_{\sigma}$ , a maximální hodnotu  $P_{max}$ .

Pro vyjádření proměnlivosti zatížení trakční měírny byly stanoveny následující součinitele: součinitel špičkového výkonu  $c_s$ , součinitel přetížení  $c_p$  a součinitel využití jmenovitého výkonu  $c_a$ . Tyto součinitele jsou definovány podle vztahů 1 až 3. Velikost těchto součinitelů závisí na hustotě dopravy a velikosti úseku, který měírna napájí. Jestliže měírna napájí velký úsek s hustou dopravou, je celkové zatížení

rovnoměrňjší (jde o součet zatížení od mnoha vlaků). Když měnírna napájí malý úsek, s malou hustotou dopravy, je zatížení více nerovnoměrné (pokud se rozjíždí jeden vlak, vyvolá to relativně daleko větší špičku v zatížení).

Tyto součinitele tedy závisí na středním denním výkonu měnírny a používají se při návrhu nových měníren. Jejich hodnoty byly v minulosti určeny dlouhodobým měřením na měnírnách s různým středním výkonem a jsou udávány v literatuře.

$$c_s = \frac{P_{\max}}{P_a} \quad (1)$$

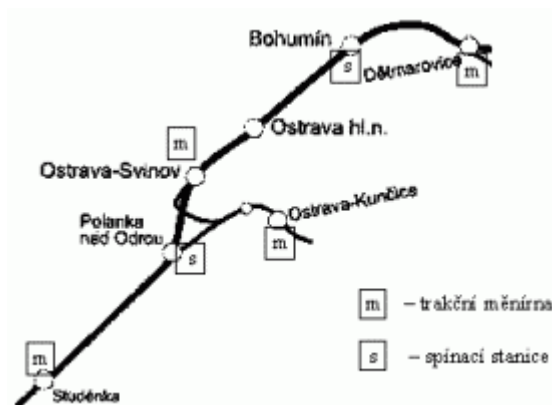
$$c_p = \frac{P_{\max}}{P_{ef}} \quad (2)$$

$$c_a = \frac{P_a}{P_{ef}} = \frac{c_p}{c_s} \quad (3)$$

### 3 Měření na trakční měnírně

Ve své práci jsem prováděl několik dlouhodobých měření (zhruba týdenních) na trakční měnírně. Tato měření jsem prováděl pomocí počítačové aparatury, sestávající z notebooku, měřicí karty a speciálně vyrobených vstupních převodníků, zajišťujících zesílení (nebo zmenšení) vstupních signálů a galvanické oddělení. Software pro měření byl vytvořen v systému Labview. K připojení měřicí aparatury do trakční měnírny jsem použil provozní měřicí transformátory proudu a napětí (pro měření na střídavé straně 22 kV) a provozní napěťový dělič a bočník (pro měření na stejnosměrné straně 3 kV).

Trakční měnírna v Ostravě Svinově, na které jsem měření prováděl, leží v podstatě uprostřed Ostravského železničního uzlu. Sousední měnírny jsou v Dětmarovicích, Studénce a Kunčicích. Jejich rozložení zachycuje mapka na obrázku 2.



Obr. 2. Mapka trakčních měníren v okolí Ostravy

## 4 Dosavadní výsledky měření

Z měření které jsem na trakční měřírny prováděl jsem vyhodnocoval různé veličiny, zde uvedu pouze ty nejdůležitější, součinitele  $c_s$ ,  $c_p$  a  $c_a$ . Měření byla celkem tři, výsledky udává tabulka 1. Pro srovnání jsou v této tabulce také hodnoty těchto součinitelů udávané v literatuře [1] pro měřírny s takovým středním výkonem, jaký jsem já naměřil.

	$c_s$	$c_p$	$c_a$
měření 1.	4,6	4,1	0,893
měření 2.	4,17	3,76	0,902
měření 3.	4,07	3,64	0,894
hodnoty v literatuře	2,8-4,9	1,3-2,1	0,33-0,55

Tab. 1. Výsledky měření na trakční měřírny a srovnání s literaturou

Z tabulky výsledků je vidět, že naměřené hodnoty se shodují s udávanými pouze u součinitele  $c_s$ , u součinitelů  $c_p$  a  $c_a$  jsou podstatné odchylky. Zatím nemám uspokojivé vysvětlení, čím je to způsobeno.

Jednou z možností je, že součinitele udávané v literatuře byly naměřeny ještě v době, kdy jezdily pouze lokomotivy s odporovou regulací, dnes už má zhruba polovina používaných lokomotiv regulaci pomocí tyristorových měničů. Je možné, že to má vliv na velikost špiček odebíraného proudu při změnách rychlosti lokomotivy, ale tato teorie je zatím neověřena.

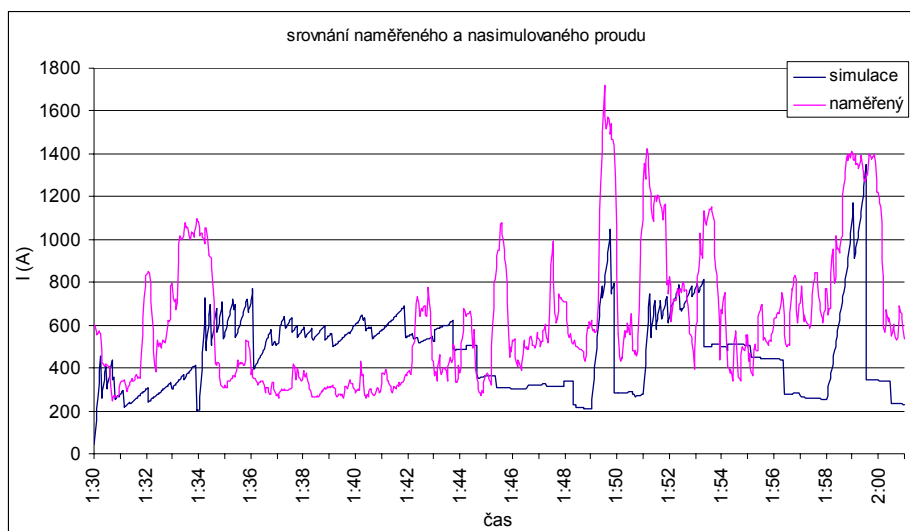
## 5 Simulace zatížení trakční měřírny

Zatížení trakční měřírny lze též nasimulovat, za předpokladu, že máme dostatečné vstupní podklady. Musíme znát údaje o vlakových soupravách, jejich hmotnosti, použité typy vozidel, součinitele jejich vozidlových odporů (tření), profil trati (stoupání, oblouky) a hlavně přesné údaje o jízdě vlakových souprav po trati.

Největší problém je se získáním podrobných informací o pohybu vlakových souprav po trati. V grafikonu dopravy jsou údaje kdy by měl vlak vyjet ze stanice a kdy dorazí do příští. Existují také předpisy, které udávají jakou rychlostí se má souprava pohybovat na kterém úseku trati. Ale do těchto údajů vstupují ještě nepředvídané faktory, jako zpoždění, nutnost neočekávané změny rychlosti kvůli momentální dopravní situaci, individuální technika jízdy strojvůdce (do jisté míry může ovlivnit rychlost rozjezdu apod.). Proto je simulace jízdy vlaků, jejich spotřeby a nakonec zatížení trakční měřírny dosti problematická.

Já jsem se pokusil nasimulovat pouze zatížení měřírny v krátkém časovém úseku (asi půl hodiny) a srovnat s naměřeným zatížením. Grafikony a údaje o vlakových soupravách, které byly v té době na trati mi poskytli pracovníci ČD. Pro samotnou

simulaci jsem vytvořil počítačové programy v jazyce Pascal. Jejich algoritmy zde nerozebírám, na obrázku 3. jsou uvedeny výsledky simulace a pro srovnání zároveň naměřený průběh zatížení měřirny.



**Obr. 3.** Srovnání naměřeného a nasimulovaného zatížení trakční měřirny

Z grafů na obr. 3. je vidět, že nasimulované a naměřené průběhy se v některých místech přibližně shodují, ale jinde vůbec. Je to dáno patrně výše zmíněnými neočekávanými vlivy (změny rychlosti, zrychlení), které nebyly podchyceny ve vstupních datech. Jejich podchycení většinou ani není možné, protože tyto vlivy předem, ale některé ani zpětně nemůžeme zjistit.

Jedna z možností, jak tento problém vyřešit, je použít pro simulaci např. metodu Monte Carlo. Potom by "náhodné" změny rychlosti, zpoždění a podobné vlivy byly v simulaci zahrnuty jako náhodné veličiny. Výsledkem by pak nebyl jeden konkrétní průběh zatížení trakční měřirny, ale množina průběhů které mohou nastat s určitou pravděpodobností. Tyto výsledky by se pak statisticky zpracovaly.

## 6 Dosavadní publikace dosažených výsledků

Výsledky, kterých jsem dosáhl v dosavadní práci v rámci doktorského studia jsem publikoval na několika vědeckých konferencích a seminářích, z nichž nejdůležitější dále uvádím:

- Měření harmonických na trakční měřirně. Mezinárodní vědecká konference Elektroenergetika 2000. Ostrava 2000. sborník: ISBN 80-7078-809-7
- Využití systému Labview při měření v elektrické trakci. Oborový den VŠ, klubu elektrotechniků v dopravě při ČVTS. Praha 2001. sborník: ISBN 80-02-01485-1.

- Simulace a měření zatížení trakční měnárny. Mezinárodní odborný seminář SEKEL 2003. Račkova dolina 2003. sborník: ISBN 80-8069-225-4

## **Reference**

1. Lanáková, Šindler. *Napájanie elektrických dráh*. ALFA Bratislava, 1989.

### **Annotation:**

*Measurement and simulation of the load of the traction rectifier substations*

There are recapitulated author's Ph.D. work results till today, in this paper. It deals with measurement and computer simulation of the load of the traction rectifier substation and its evaluation. Measurements have been realized in traction rectifier substation of the Czech Railways (ČD).