

Karel Hlava¹, Jaromír Hrubý²

Ztráty v napájecí soustavě

Klíčová slova: *spotřeba trakční energie, ztrátové složky, vliv počtu a polohy trakčních odběrů*

Složky spotřeby energie v elektrické trakci

Spotřeba elektrické energie v elektrické trakci je v zásadě dána **čtyřmi složkami**, a to:

- A) odběrem činné energie hnacími vozidly (pro trakční účely, vytápění a klimatizace vlakových souprav, restaurační vozy),
- B) odběrem činné energie pevnými předtápěcími zařízeními,
- C) spotřebou ostatních zařízení nutných pro provoz železniční dopravní cesty (napájení zabezpečovacích zařízení, elektrický ohřev výměn, ostatní netrakční technologická spotřeba z trakce atd.),
- D) součtem celkových činných ztrát energie, vznikajících v trakční napájecí soustavě.

Složka podle bodu A) tvoří největší podíl nákladů na elektrickou energii odebíranou v elektrické trakci. Jedná se zde o elektrickou energii odebíranou hnacími vozidly obou trakčních proudových soustav, a to nejen pro vlastní trakci, ale i pro napájení vlastní spotřeby vlakových souprav (topení, klimatizace, spotřeba restauračních vozů).

Elektricky vzato se jedná o energii protékající připojovacím bodem hnacího vozidla k trolejovému vedení, kterým je jeho sběrač. Je nesporné, že stejná energie se pak vrací zpětnou cestou (kolejnicemi a zemí) do napájecí stanice.

Vzhledem k tomu, že na soustavě 3 kV DC máme v měnících diodové trakční usměrňovače, nemůže trolejovým vedením mezi sousedními měnícími protékat vyrovnávací proud, i když měnírny této trakční soustavy pracují vesměs paralelně.

¹ Hlava Karel, Doc. Ing. CSc., 1930, ČVUT Praha, specializace elektrická trakce, emeritní vedoucí oddělení EMC ve VÚŽ a TÚDC, emeritní externí učitel Univerzity Pardubice, Dopravní fakulty Jana Pernera

² Hrubý Jaromír, Ing., 1958, VUT FE Brno, specializace technická kybernetika, měření, pracovník SŽDC s.o., SŽE Hradec Králové

Stejně tak nemůže protékat vyrovnávací proud mezi sousedními napájecími stanicemi AC soustavy (trakčními transformovny), protože trakční vedení traťových úseků je napájeno důsledně jednostranně. Provozovatel dráhy ani dodavatel elektrické energie nemá totiž zájem, a ani to nemůže z bezpečnostních a provozních důvodů připustit, provozovat na AC soustavě dvoustranné napájení analogicky jako na soustavě DC.

Spotřebu této složky energie lze stanovit buď výpočtem nebo měřením elektroměrem umístěným přímo na hnacím vozidle. Elektroměr je možno instalovat na hnacím vozidle nezávisle na provozované trakční proudové soustavě. Požadavky na jeho přesnost jsou uvedeny v [1].

Údaje elektroměru lze známými prostředky přenosové techniky přenést do centra a následně zpracovat výpočetní technikou.

Takto získané podklady o spotřebě elektrické energie jednotlivými hnacími vozidly lze využít dvěma způsoby, a to:

- jako podklad pro fakturaci energie spotřebované pro danou jízdu vlakové soupravy,
- pro rozbor energetické náročnosti celého komplexu jízdy dané vlakové soupravy, zahrnující jak vlastní techniku jízdy, tak i její dopravní zajištění, energetické vlastnosti použitého hnacího vozidla, vlastnosti vlakové soupravy z hlediska jejího jízdního odporu daného např. její konfigurací nehledě k vlivu sklonu traťového úseku.

Využití údajů elektroměrů pro účely fakturace se nabízí jako dobrá cesta pro zpřesnění vztahu mezi dodavatelem elektrické trakční energie a provozovatelem hnacího vozidla. ***Nutno však upozornit na složku D), které je věnována hlavní pozornost tohoto příspěvku.***

Rozbor energetické náročnosti jízdy dané vlakové soupravy může posloužit jako podklad k optimalizačním opatřením ze strany provozovatele železniční dopravy zaměřeným na snižování energetické náročnosti a tím i ke snížení nákladů.

Složky podle bodu B) a C) jsou měřitelné běžnými prostředky a jejich stanovení i následné početní zpracování by nemělo činit potíže.

Složky podle bodu D)

Tyto ztrátové složky jsou dány součtem celkových činných ztrát energie vznikajících v trakční napájecí soustavě a jsou dnes nejdiskutovanější složkou týkající se vztahů vlastníka železniční dopravní cesty a dopravců.



Je nesporné, že elektrickou energii pro trakci lze považovat za energii pro tento účel zvláště upravenou.

Trakční proudová soustava 3 kV DC: energie se přivádí z trojfázové soustavy 22 kV 50 Hz usměrněním na napětí 3 kV DC. Tato konverze je zatížena energetickými ztrátami a proto finanční náklady na tyto energetické ztráty je dodavatel elektrické energie oprávněn požadovat na odběrateli této energie.

Podobně je dodavatel elektrické trakční energie oprávněn přenést na uživatele této energie i ztráty vznikající v rozvodu usměrněného napětí 3 kV DC od měnirny po vozidlový sběrač.

U soustavy 3 kV DC je podstatné, zda transformátory usměrňovačů měnirny jsou napájeny vlastním transformátorem 110/22 kV, či přímo z napětí 22 kV ze sítě dodavatele elektrické energie. V obou případech se jedná o ztráty magnetizační (prakticky nezávislé na trakčním zatížení) a dále o ztráty ve vinutí (závislé na trakčním zatížení).

Odhadované ztráty v **transformátoru trakčního usměrňovače** mají dvě složky, a to:

- ztráty naprázdno 8,8 kW
- ztráty při jmenovitém usměrněném proudu 1500 A 18 kW

Přepočítáme-li uvedené hodnoty ztrát na typový výkon usměrňovače 5 MW, dostaneme pro:

- poměrné ztráty naprázdno 0,176 %
- poměrné ztráty při zatížení 1500 A 0,360 %

Další ztráty vznikají provozem **trakčních usměrňovačů**. Zde je výhodou důsledné používání kvalitních výkonových diod, jejichž činné ztráty již nevyžadují vnější energii pro jejich chlazení a jejichž elektrické vlastnosti omezily i počet diod zapojených v sérii. V každém případě je tato složka ztrát úměrná čtverci zatěžovacího proudu.

Odhadnuté ztráty v trakčním usměrňovači činí:

- pro usměrněný proud 1500 A 10 kW
- pro usměrněný proud 1000 A 8,4 kW



Přepočítáme-li uvedené hodnoty ztrát na typový výkon usměrňovače 5 MW, dostaneme pro:

- usměrněný proud 1500 A 0,200 %

Podobně jsou závislé i ztráty v reaktoru, sloužícím k omezení počátečního nárůstu zkratového proudu.

- Hodnotu těchto ztrát pro proud 1500 A odhadujeme jako 23 kW

Přepočítáme-li uvedené hodnoty ztrát na typový výkon usměrňovače 5 MW, dostaneme pro:

- usměrněný proud 1500 A 0,460 %

Z těchto hodnot vyplývají odhadnuté celkové měrné ztráty trakční usměrňovací jednotky v hodnotě cca 1 % při výkonu 5 MW.

Poznámka: Pro případy, kdy je trakční měnič připojena na napájecí síť 110 kV, je nutné ještě připočíst ztráty naprázdno a nakrátko transformátoru 110/23 kV.

Také činný odpor **rozvodu trakčního proudu** (trolejové vedení, kolejové zpětné vedení) vede ke vzniku ztrát energie. Zatímco doposud uváděné ztrátové složky je možno do jisté míry stanovit výpočtem, ztráty v trakčním rozvodu však závisí na:

- okamžité poloze hnacího vozidla vůči napájecímu bodu,
- počtu hnacích vozidel v napájeném úseku,
- velikosti odběru trakčního proudu,
- na délce napájeného úseku,
- způsobu napájení úseku (obvykle dvoustranné).

Díky dvoustrannému napájení trakčního vedení má okamžitá poloha hnacího vozidla přímý vliv na rozdělení trakční zátěže mezi sousední trakční měčírny i na časový průběh odebíraného proudu.

Měrný ohmický odpor vodičů trakčního vedení:

- trolejového drátu a nosného lana (150 mm² Cu) činí 0,088 Ω/km
- kolejového zpětného vedení (T) činí 0,0075 Ω/km

Pro ilustraci obtíží při určování ztrát v rozvodu trakčního proudu uvádíme následující číselný příklad. Vezmeme vzdálenost mezi měnírny **20 km**. V tom případě největší ztráty vzniknou, bude-li hnací vozidlo v polovině této délky, tedy **10 km** od jedné z měniren. Měrný odpor trakčního obvodu (trolejového vedení a vedení zpětného) vezmeme na základě výše uvedených údajů hodnotou **0,0955 Ω/km**. Dále budeme předpokládat trakční odběr z měnirny **1000 A**.

V další analýze pak rozdělíme tento trakční odběr do:

- jednoho hnacího vozidla umístěného 10 km od měnirny (**n = 1**),
- postupně do **n = 2** až **n = 6** míst rovnoměrně rozdělených v délce 10 km s tím, že jednotlivé odběry budou ve všech polohách hnacího vozidla stejné a rovné poměru $\frac{1000}{n}$.

Pro celkové ztráty energie v celém napájeném úseku a pro dané idealizované podmínky $P_{z,TV}$ lze odvodit obecně platný výraz

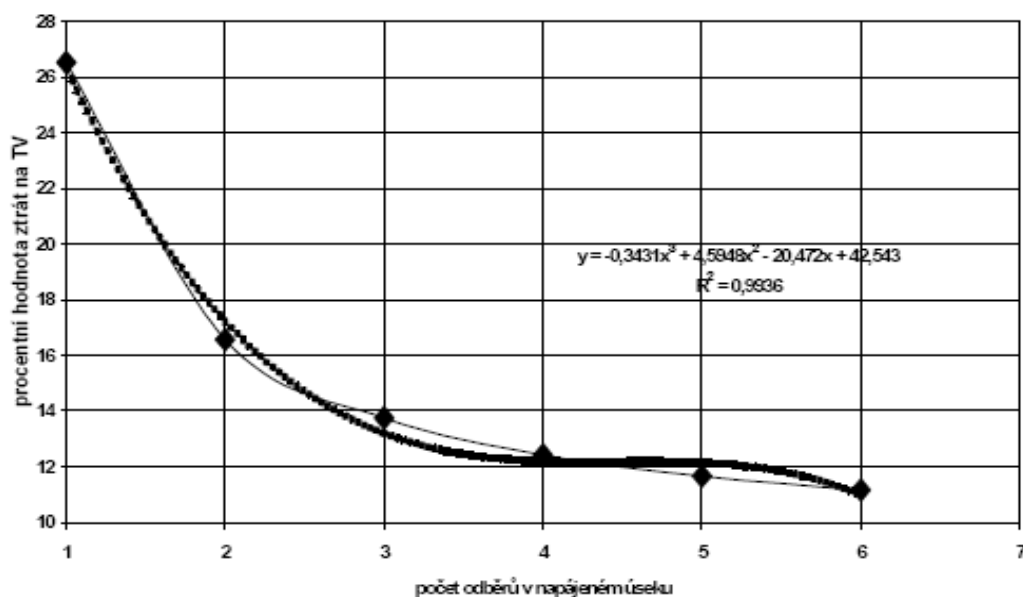
$$P_{z,TV} = \frac{\ell \cdot r \cdot I_{LOK}^2}{6} \cdot \frac{(n+1) \cdot (2 \cdot n + 1)}{n^2}$$

kde pro zvolené podmínky platí:

- délka napájeného úseku $\ell = 10 \text{ km}$
- měrný odpor trakčního obvodu $r = 0,0955 \text{ } \Omega / \text{ km}$
- celkový odebíraný trakční proud $I_{LOK} = 1000 \text{ A}$
- počet jednotlivých trakčních odběrů $n = \text{od } 1 \text{ do } 6$

Výsledky této analýzy jsou patrné z níže uvedeného diagramu. Je z něho jasně zřejmé, že energetické ztráty v trakčním rozvodu jsou závislé:

- při dané délce napájeného úseku v první řadě na prostorovém rozložení jednotlivých trakčních odběrů v napájeném úseku a na jejich počtu,
- na celkovém odebíraném trakčním proudu,
- na měrném odporu sestavy trakčního vedení.



Obr. 1 - Závislost procentních ztrát v rozvodu trakčního proudu na počtu odběrů DC soustavy

Z tohoto číselného příkladu je možno vyslovit **závěr**, že největší složkou procentních ztrát v napájecí soustavě 3 kV DC tvoří složka procentních ztrát v rozvodu trakčního proudu. Ve srovnání s touto hodnotou leží hodnota procentních ztrát v technologii trakčního usměrňovače v oblasti zanedbatelných hodnot.

Podle dostupných informací používají ŽSR pro trakční proudovou soustavu 3 kV DC hodnotu procentních ztrát v napájecí síti jako celku cca 18 %, což dobře odpovídá výše uvedenému diagramu pro 1 až 2 trakční odběry v napájeném úseku.

Podstatnou výhodou důsledně používaného dvanáctipulzního usměrnění je, že vlastník napájecí soustavy nemá potíže se splněním požadavku na kvalitní účinník trakčního odběru, ani na minimální deformaci sinusovky napětí napájecí sítě, či na symetrické zatížení této sítě, ani na splnění požadavku na impedanci napájecí soustavy vůči signálu HDO.

Trakční napětí 3 kV DC se dále používá s výhodou např. pro napájení statických měničů jako zdrojů pro ohřev výměn na zhlaví železničních stanic či jako zdroje pro staniční i traťové zabezpečovací zařízení. Spotřeba energie v obou těchto případech je snadno měřitelná a evidovatelná, avšak mění se případ od případu.

Napětí 22 kV vzaté z přípojníc trakčních měření se v poslední době zavádí i pro napájení traťových rozvodů (zabezpečovací zařízení, staniční budovy) jako náhrada zastaralých rozvodů 6 kV či napájení z místní sítě. I tato spotřeba je snadno měřitelná a evidovatelná a je rozdílná případ od případu.

Trakční proudová soustava 25 kV AC, 50 Hz: zde se opět jedná o elektrickou energii zvláště upravenou pro trakční účely, mezi jiným nejen pro její atypičnost danou jednofázovým zatížením napájecí sítě 110 kV, ale především nutností úpravy proudového spektra proudu odebíraného hnacími vozidly s diodovým trakčním měničem pomocí filtračně kompenzačního zařízení (FKZ) tak, aby byly splněny požadavky nadřazeného provozovatele distribuční soustavy 110 kV. Také takové úpravy vykazují nezanedbatelné ztráty, které dodavatel trakční energie je oprávněn přenést na uživatele této energie.

Podobně je dodavatel elektrické trakční energie oprávněn přenést na uživatele této energie i ztráty vznikající v rozvodu napětí 25 kV AC, 50 Hz, i když tyto ztráty jsou u AC soustavy podstatně menší než u soustavy 3 kV DC.

U soustavy 25 kV AC, 50 Hz se elektrická energie získává výhradně z hladiny 110 kV. Důvodem je jednak požadavek na zkratový výkon napájecí sítě, jednak splnění přípustné hodnoty napěťové nesymetrie způsobované dvoufázovým připojením trakčních transformátorů 110/27 kV. Jejich ztráty se opět dělí na magnetizační (na zátěži prakticky nezáležející) a na ztráty ve vinutí (závislé na čtverci zatěžovacího proudu).

Odhadnuté ztráty v **trakčním transformátoru** 110/27 kV činí:

- ztráty naprázdno 8 kW
- ztráty při jmenovitém zatížení 10 MVA 21 kW

Přepočítáme-li tyto ztráty na jmenovitý výkon **10 MW**, dostaneme pro hodnotu celkových procentních ztrát údaj **0,29 %**.

V důsledku používání dnes již technicky zastaralých lokomotiv s diodovým trakčním měničem, které se u zahraničních železničních správ v takové míře nikdy neprovozovaly, bylo trakční napájecí soustavu nutno ve všech napájecích stanicích této soustavy (s výjimkou TT Čebín vzhledem k její těsné blízkosti rozvodny 400/110 kV a s výjimkou TT Golčův Jeníkov z důvodů investičních) doplnit a dodnes provozovat filtračně kompenzační zařízení (FKZ). Účelem tohoto unikátního zařízení je:

- zlepšit účinník základní harmonické DPF příkonu hnacích vozidel a odebíraného napájecí stanicí z průměrné hodnoty 0,84 na požadovanou hodnotu nejméně 0,95 a to při všech v úvahu připadajících trakčních zatíženích či změnách konfigurace napájených traťových úseků,
- podstatně omezit průnik 3., 5. a případně i 7. proudové harmonické produkované hnacími vozidly s diodovým trakčním měničem do sítě 110 kV s cílem omezit zkreslení sinusovky napětí sítě 110 kV v připojovacím bodě trakční transformovny,

- zabránit, aby DPF odběru trakční transformovny přešel do kapacitního charakteru (především při chodu trakční transformovny trakčně naprázdno), přičemž indukční výkon dekompenzační větve musí vykompenzovat kapacitní výkon obou rezonančních větví, kapacitní výkon napájených úseků trolejového vedení včetně případných kabelových napájecích vedení, a to v případě, že na napájeném úseku není trakční odběr,
- zajistit při chodu napájecí stanice trakčně naprázdno i při daném trakčním zatížení, že vstupní impedance trakční napájecí soustavy jako celku neklesne pod dodavatelem předepsanou mezní hodnotu, platící individuálně pro daný napájecí bod, v zájmu zamezení nežádoucímu útlumu signálu HDO v okolní síti 110 kV.

Filtračně kompenzační zařízení (FKZ) obsahuje:

- dvojici LC větví, složených ze vzduchové rezonanční tlumivky doplněné v sérii kondenzátorovou skupinou s balančními ochranami a výkonovým vypínačem,
- dekompenzační větev, obsahující jednofázový snižovací transformátor s převodem od 27/5 kV do 27/10 kV (podle stupně vývoje fázového regulátoru, v současnosti již bez tohoto transformátoru), dekompenzační vzduchovou tlumivku a fázový regulátor typu COMPACT; fázový regulátor pracuje bezkontaktně a samočinně udržuje účinník základní harmonické ($\cos \varphi_1$, DPF) energie odebírané napájecí stanicí v jejím připojovacím bodě k síti 110 kV od jejího nulového trakčního zatížení až po provozovatelem trakce zadané trakční zatížení; softwarové nastavení fázového regulátoru je zvoleno hodnotou 0,98, aby skutečná hodnota účinníku v připojovacím bodě napájecí stanice spolehlivě ležela v požadovaných mezích 0,95 až 1,00, a to za všech stavů trakčního zatížení.

Popsaná technologie trakční transformovny vykazuje **ztrátové složky**, především v těchto výkonových prvcích:

- odhadnuté ztráty v **prvcích LC** větví FKZ jsou z větší části tvořeny činnými ztrátami v rezonančních tlumivkách a jsou dány materiálem jejich vinutí, tyto ztráty jsou trvalé a s trakčním odběrem narůstají vzhledem k tomu, že spektrum harmonických v proudu „diodových“ hnacích vozidel je úměrné jimi odebíranému činnému výkonu,
- protože tyto rezonanční tlumivky musí být přesně naladěny svými odbočkami na požadovanou indukčnost ve vztahu ke kapacitě příslušné kondenzátorové skupiny, nemohou být opatřeny železným magnetickým obvodem, takže ztráty v železe odpadají,

- činné ztráty v **tlumivkách 3. a 5. harmonické** jsou závislé na trakčním odběru, ztráty v těchto tlumivkách při jejich jmenovitém zatížení lze odhadnout hodnotou 35 kW, což vztaheno na trakční výkon 10 MW značí měrné ztráty v hodnotě 0,35 %,
- činné ztráty v **kondenzátorových skupinách** je možno při jejich jmenovitém zatížení odhadnout hodnotou 28 kW, což vztaheno na trakční výkon 10 MW značí měrné ztráty v hodnotě 0,28 %,
- celkové činné ztráty ve **snižovacím transformátoru** dekompenzační větve (pokud je ještě použit) odhadujeme na 37 kW, což pro výkon dekompenzační větve 6000 kW dává 0,6 %.
- ztráty **magnetizační** jsou prakticky nezávislé na trakčním odběru a jsou dány především hodnotou použitého trakčního napětí,
- činné ztráty ve **vinutích snižovacího transformátoru** jsou závislé na trakčním odběru trakční transformovny, avšak s inverzní závislostí, tj. při chodu trakční transformovny trakčně naprázdno jsou tyto ztráty největší, při chodu trakční transformovny s maximálním trakčním odběrem jsou nejmenší,
- ztráty **dekompenzační tlumivky**, která také nemá železný magnetický obvod z důvodů snížení jejích činných ztrát; vznikají pouze v jejím vinutí a lze je odhadnout hodnotou 42 kW, což pro 6000 kW dává 0,7 %,
- dalším zdrojem činných ztrát je **fázový regulátor typu COMPACT**, obsahující soupravy výkonových tranzistorů pro proudy stovek A, jeho ztráty lze odhadnout na hodnotou 7 kW, což pro 6000 kW dává 0,1 %.

Z těchto hodnot vyplývají odhadnuté celkové měrné ztráty trakční napájecí stanice AC v hodnotě cca 2,3 % při výkonu 10 MW.

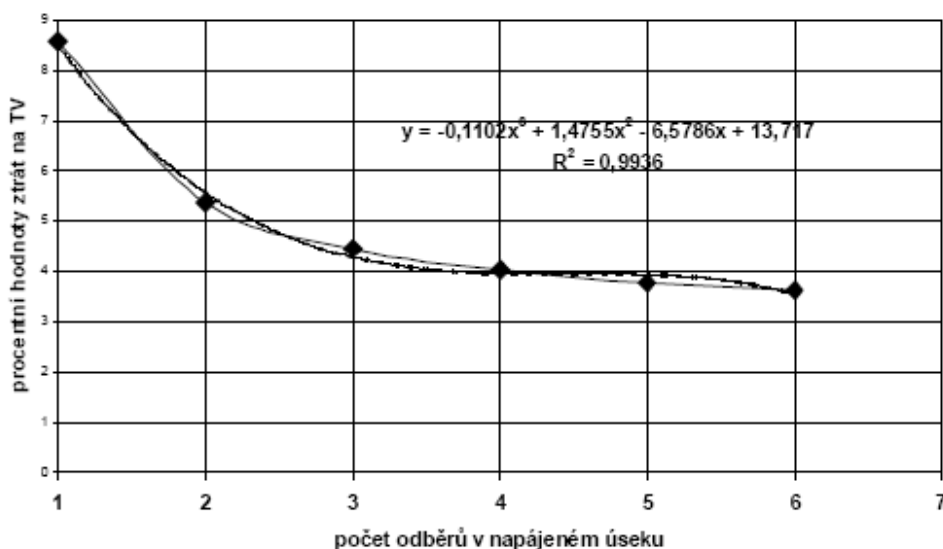
Ztráty v **rozvodu trakčního proudu** jsou totožné jako v případě soustavy 3 kV DC, zde je ale nutno zdůraznit, že proud základní harmonické odebíraný klasickým hnacím vozidlem AC, je přibližně o jeden řád menší než proud odebíraný na soustavě DC. Z toho vyplývá, že také činné ztráty ve vodičích TV budou podstatně menší a vzhledem k provozu hnacích vozidel se spíše uplatní úbytek napětí na indukčnosti smyčky TV.

Podobně jako u soustavy DC provedeme analýzu **ztrát v rozvodu trakčního proudu** AC soustavy, pouze s tím rozdílem, že na AC soustavě se používá jednostranné napájení a elektrické parametry trakčního vedení jsou rozdílné.

Vezměme délku napájeného úseku **30 km**. Měrný odpor trakčního obvodu (trolejového drátu **100 mm² Cu**) činí **0,18 Ω/km**. Dále budeme předpokládat trakční odběr z trakční napájecí stanice **400 A**, což představuje trakční výkon **11 MW**.

Výsledky této analýzy jsou patrné z níže uvedeného diagramu. Je z něho opět patrné, že energetické ztráty v trakčním rozvodu jsou i v tomto případě závislé:

- při dané délce napájecího úseku v první řadě na prostorovém rozložení jednotlivých trakčních odběrů v napájeném úseku a na jejich počtu,
- na celkovém odebíraném trakčním proudu,
- na měrném odporu trakčního vedení.



Obr. 2 - Závislost procentních ztrát v rozvodu trakčního proudu na počtu odběrů AC soustavy

Z tohoto číselného příkladu je možno vyslovit závěr, že největší složkou procentních ztrát v napájecí soustavě 25 kV AC, 50 Hz tvoří složka procentních ztrát v rozvodu trakčního proudu. K hodnotám uvedeným v tomto diagramu je pro AC soustavu nutno připočítat procentní ztráty v trakční napájecí stanici 2,3 %, čímž dostaneme pro 2 až 3 trakční odběry v napájeném úseku hodnotu **5,0 + 2,3 = 7,3 %**.

Podle dostupných informací používají ŽSR pro trakční proudovou soustavu 25 kV, 50 Hz, která ještě nemá FKZ ve všech napájecích stanicích, hodnotu procentních ztrát v napájecí soustavě jako celku cca 5,5 %.

Trakční napětí 25 kV AC, 50 Hz se používá s výhodou např. pro napájení statických měničů jako zdrojů pro ohřev výměn na zhlaví železničních stanic či jako



zdroje pro staniční i traťové zabezpečovací zařízení. Spotřeba energie v obou těchto případech je snadno měřitelná a evidovatelná. Napájení staničních budov z přilehlých napájecích stanic nepřichází v úvahu, protože nelze jednoduše zajistit trojfázové napětí.

Souhrnem lze konstatovat, že popsané ztrátové složky vytvářejí náklady vlastníka železniční dopravní cesty, který je oprávněn je promítnout do výsledné ceny trakční energie pro dopravce. Popsané skutečnosti nezahrnují problematiku napěťových výluk.

Poznámka: Pro bližší představu, za předpokladu přijetí střední hodnoty ztrát 7,3 % u AC trakce a 18% u DC trakce, se v současných podmínkách trakčního odběru v ČR jedná o celkem 173 400 MWh ztrát ročně.

Rozúčtování spotřeby elektrické energie mezi příslušné subjekty (dopravce) závisí na:

- metodice stanovení energie odebrané hnacími vozidly pro celou šíři trakčních odběrů,
- obchodní politice dodavatele elektrické energie především z hlediska respektování ztrát v trakčním rozvodu (v trakčním vedení a v napájecích stanicích), které uživatel trakční energie musí v alikvotní části dodavateli této energie hradit,
- posouzení postupu z hlediska požadavků národní energetické legislativy (energetický zákon 458/2000 Sb. v platném znění a jeho doprovodné vyhlášky).

Naskýtá se možnost změny v metodice rozúčtování spotřeby elektrické energie mezi příslušné subjekty:

Vydeme ze skutečnosti, že základem pro vyúčtování spotřeby nemůže být pouze množství trakční energie stanovené (naměřené) na sběrači hnacích vozidel, bez ohledu na metodu jejich stanovení.

Je nutno respektovat:

- ztráty v napájecích stanicích dané nutností dodávat „zušlechtěnou“ elektrickou energii (ztráty z transformace, ztráty trakčních usměrňovačů DC soustavy včetně reaktoru a ztráty FKZ trakčních transformoven AC trakční soustavy),
- ztráty v trakčním vedení závislé nejen na elektrických parametrech tohoto vedení, ale též na rozmístění hnacích vozidel v napájeném úseku,

- další odběry elektrické energie, které se bezprostředně netýkají trakčního odběru, jsou však pro provoz dráhy nezbytné.

Závěr

Pro objektivní kvantifikaci míry ztrát v trakčních proudových soustavách 3 kV DC a 25 kV AC 50 Hz je pro další postup nutné:

1. prokázat, že z hlediska
 - a) konfigurace napájecích bodů (trakční měnárna, trakční transformovna),
 - b) parametrů sestavy trakčního vedení v jednotlivých traťových úsecích
 - c) průměrného proudového zatěžování

je možné použít stejné procento ztrát zvláště pro DC a zvláště pro AC trakci, nebo je nutné vytvořit uvnitř oblastí DC a AC trakce traťové podoblasti, vyznačující se rozdílnou mírou ztrát. V tomto kontextu si je potřeba uvědomit, že výpočtová a administrativní náročnost přiřazení spotřeby jedoucího vlaku do oblastí spotřeby s různou mírou ztrát vzrůstá několikanásobně s počtem těchto oblastí.

2. vytvořit zjednodušený model trakční sítě, který by umožňoval aktualizaci míry ztrát v závislosti na průměrném proudovém zatížení jednotlivých napájecích úseků.
3. analyzovat vliv ztrát v dielektriku prvků TV (svodové ztráty).

Literatura:

- [1] HLAVA, Karel – HRUBÝ, Jaromír: Elektrická trakční energie. *Vědeckotechnický sborník Českých drah*, 2011, roč. 17, č. 31, ISSN 1214-9047