

Karel Hlava¹, Michal Satorí², Tomáš Krčma³
Univerzita Pardubice

Analýza poměrů při použití ukolejňovacího lana v železniční stanici

Klíčová slova: dotykové/přístupné napětí, podpěry trolejového vedení, poruchový proud

Byl podán návrh na použití ukolejňovacího lana, které by vodivě propojilo brány TV v obvodu železniční stanice. Cílem by bylo omezení vniknutí bleskového proudu do kolejových obvodů při úderu blesku do trakční podpěry, protože tyto trakční podpěry by nebylo nutno jednotlivě ukolejňovat.

Ukolejňovací lano musí splňovat tři požadavky, a to:

1. zajišťovat vypnutí zkratu na TV při objevení se trakčního napětí na trakční podpěře,
2. z hlediska bezpečnosti, aby v tomto případě nebylo překročeno dotykové/přístupné napětí v okolí všech ukolejňovacím lanem propojených trakčních podpěr,
3. z hlediska zabezpečovacího zařízení, aby bylo možno odstranit nutnost individuálního ukolejňování trakčních podpěr přes průrazky.

Z hlediska požadavku ad 3) je výhoda ukolejňovacího lana nesporná. Protože však ukolejňovací lano zasahuje do trakčního obvodu, je současně nutno respektovat i požadavek ad 1) i ad 2), kde oba tyto požadavky se dotýkají elektrické bezpečnosti v okolí elektrizované trati.

Zvláště se pak požadavky ad 1) i ad 2) uplatní při použití ukolejňovacího lana v obvodu železniční stanice, jak je v návrhu předpokládáno, tj. při vodivém propojení staničních brán TV ukolejňovacím lanem s tím, že ukolejňovací lano by bylo se zpětným kolejnicovým vedením propojeno pouze v jednom (krajním) bodě přes střed stykového transformátoru.

Předpoklady analýzy

Následná analýza vychází z těchto předpokladů, zvolených po dohodě se zadavatelem jako modelových:

- | | |
|---|-------------------------|
| • elektrická trakční soustava | AC 25 kV 50 Hz |
| • délka staničního TV | 1000 m |
| • vzdálenost brán TV ve stanici | 50 m |
| • počet brán v železniční stanici | 20 |
| • ukolejňovací lano je tvořeno dvěma vodiči | FeZn 70 mm ² |
| • měrný odpor této dvojice vodičů | 1,43 Ω/km |

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

² Ing. Michal Satorí, 1978, Univerzita Pardubice, DFJP, specialista Elektrizace železnic, externí doktorand UP DFJP

³ Ing. Tomáš Krčma, 1982, Univerzita Pardubice, DFJP, specialista Elektrizace železnic, externí doktorand UP DFJP

- zemní odpor jedné brány (parametricky) 5 Ω , 9 Ω , 12 Ω
 - zemní odpor strojených zemničů
na začátku a na konci ukolejňovacího lana 10 Ω
 - zkratový proud na vstupu do ukolejňovacího lana 1000 A
 - indukční složka impedance ukolejňovacího lana
se zanedbává
-

Výpočetní řešení analýzy

Pro výpočetní řešení byla zvolena metoda elektrické simulace pomocí PSpice ver.9.1.

Byl sestaven netlist, popisující ukolejňovací lana jako sériové řazení dvaceti Π -článků, kde jeden článek modeluje 50 m ukolejňovacího lana spolu s příslušným zemním odporem brány.

Do tohoto elektrického obvodu zakončeného na obou koncích zemním odporem strojených zemničů je na jednom z konců lana zaveden poruchový proud 1000 A.

V jednotlivých styčných bodech sousedních Π -článků pak použitý SW umožňuje odečítat hodnoty vzniklých napětí proti zemi, jejichž úrovně jsou omezeny předpisy o elektrické bezpečnosti platnými pro pevná trakční zařízení.

Podélný odpor dvojice ukolejňovacích lan byl při simulaci brán jako konstantní hodnota 0,0715 Ω vzhledem k použitému typu lan a jejich materiálu.

Zemní odpor brán byl brán parametricky s nejnižší hodnotou 5 Ω , dále 9 Ω a jako mezní hodnotou 12 Ω .

Na obou koncích ukolejňovacího lana je přepokládán strojený zemnič se zemním odporem 10 Ω .

Použitý netlist umožňuje volbu libovolně jiných číselných hodnot vstupních parametrů ukolejňovacího lana i volbu místa, kde do ukolejňovacího lana vstupuje poruchový proud.

Výstupní soubory simulační analýzy

Elektrické poměry v simulovaném obvodu jsou popsány grafickou formou v diagramech uvedených na konci tohoto příspěvku:

- **Obr. 1** popisující napětí na jednotlivých bránách proti zemi při zemním odporu brány 5 Ω a vstupu poruchového proudu do ukolejňovacího lana na jeho začátku
- **Obr. 2** dtto, ale pro zemní odpor brány 12 Ω
- **Obr. 3** dtto, ale pro zemní odpor brány 9 Ω

V těchto diagramech jsou navíc zakresleny regresní křivky pro následné početní vyhodnocení vlivu zemního odporu brán včetně jejich analytického vyjádření a součinitele R^2 představujícího stupeň přesnosti náhrady skutečného průběhu regresní exponenciálou.

Přehledný diagram pro vyšetření vlivu zemního odporu brán na napětí, které na bránách vznikne proti zemi, je uveden jako:

- **Obr. 4** soustřeďující do společného diagramu křivky udávající napětí na bránách pro všechny tři zvolené hodnoty jejich zemních odporů, již bez regresních křivek
- **Obr. 5** obsahuje závislost hodnoty napětí v bodě vstupu poruchového proudu do začátku ukolejňovacího lana na zemním odporu brán
- **Obr. 6** podává závislost zmenšování napětí na jednotlivých bránách proti zemi, jako exponentu regresního analytického výrazu pomocí exponenciální rovnice, na zemním odporu brán (činitel útlumu).

Dále byla stejným způsobem analyzována situace, kdy se místo vniku poruchového proudu do ukolejňovacího lana měnilo. Mimo výše popsaný stav vniku poruchového proudu do lana na jeho jednom konci byly studovány ještě tři další zvolené body, a to:

- Místo přibližně ve středu délky ukolejňovacího lana, tedy u 10. brány,
- Místo přibližně ve $\frac{1}{4}$ délky ukolejňovacího lana, tedy u 5. brány,
- Místo přibližně ve $\frac{3}{4}$ délky ukolejňovacího lana, tedy u 16. brány.

Napětí na jednotlivých bránách TV pro místo vniku poruchového proudu do lana u 10. brány je uvedeno pro všechny zvolené zemní odpory brán (12, 9 a 5 Ω) je na diagramu **Obr. 7**.

Výsledná napětí na jednotlivých bránách pro místo vniku poruchového proudu u 1., 5., 10. a 16. brány jsou uvedena pro 5 a 12 Ω zemního odporu brán na diagramech:

- **Obr. 8** pro zemní odpor 5 Ω
- **Obr. 9** pro zemní odpor 12 Ω

Samostatný diagram závislosti napětí 1. brány na pořadovém čísle napájené brány pro zemní odpory brán 5 a 12 Ω včetně regresních křivek a jejich analytického vyjádření je uveden jako **Obr. 10**.

Podobně pro napětí 5., 10. a 16. brány na pořadovém čísle napájené brány pro zemní odpory brán 5 a 12 Ω včetně regresních křivek a jejich analytického vyjádření platí trojice diagramů

- **Obr. 11** pro napětí na 5. bráně
- **Obr. 12** pro napětí na 10. bráně
- **Obr. 13** pro napětí na 16. bráně

Příklad využití výpočetních diagramů

Porucha izolace TV proti zemi necht' nastane na bráně, kde je připojen začátek ukolejňovacího lana.

Nechť poruchový proud vstoupí do ukolejňovacího lana v předpokládané hodnotě 2500 A.

Pak napětí proti zemi na jednotlivých bránách udává v závislosti na jejich zemním odporu diagram **Obr. 4**. V tomto diagramu:

- zvolíme křivku odpovídající odhadnuté střední hodnotě zemního odporu brán dané železniční stanice, případně vhodně interpolujeme mezi nakreslenými průběhy,
- diagramem zjištěné hodnoty napětí jednotlivých brán proti zemi vynásobíme poměrem hodnoty předpokládaného poruchového proudu ke vztážené hodnotě tohoto proudu 1000 A,
- takto upravené hodnoty jednotlivých napětí porovnáme s dovolenými hodnotami, platícími pro veřejně přístupné prostory
- pokud by se vstupní parametry reálného zařízení odchylovaly od simulací předpokládaných hodnot, je možné odvozený SW aplikovat beze změny pouze s dosazením odchylných parametrů (např. podélný odpor ukolejňovacího lana, počet brán, zemní odpory brán a strojených zemničů, odpor připojení ukolejňovacího lana na střed stykového transformátoru).

Dovolené hodnoty dotykového napětí neživých částí trakčního vedení jsou uvedeny v normě EN 50122-1 v závislosti na době působení. Vzhledem k běžným dobám do vypnutí zkratu na jednofázové elektrické trakční soustavě lze počítat s hodnotami od 225 V (pro vypínací dobu 500 ms) do 497 V (pro vypínací dobu 300 ms).

Závěry

Připojené diagramy prokazují, že nejnepříznivější hodnoty napětí brán proti zemi vykazuje největší předpokládaný zemní odpor brán (zde 12 Ω), a to jak z hlediska hodnot těchto napětí včetně hodnot počátečních (v místě vniku poruchového proudu do ukolejňovacího lana podle diagramu **Obr.5** „Napětí na začátku lana“), tak i na ostatních vzdálenějších bránách (díky malé hodnotě činitele útlumu těchto napětí podle diagramu **Obr. 6** „Činitel útlumu napětí na bránách“).

Vliv strojených zemničů (zvolených hodnotou 10 Ω) se na průběh napětí na bránách ztlačně neprojevil. Stejně tak se ve srovnání se zemními odpory brán neprojevilo ani připojení ukolejňovacího lana na zemní soustavu vlastní budovy železniční stanice, kam by se dokonce mohlo dostat i jedno z napětí brán v závislosti na umístění staniční budovy, což by bylo jistě nežádoucí.

Z porovnání vypočítaných napěťových hodnot na trakčních podpěrách s hodnotami dovolených dotykových napětí plyne, že z důvodu nutné ochrany osob před úrazem elektrickým proudem není možné ukolejňovací lana aplikovat jako paušální řešení ve všech železničních stanicích.

Pro určení vhodnosti jejich použití bude třeba pro konkrétní stanici stanovit rozhodné parametry, tj. zkratové proudy, dobu do vypnutí zkratu, zemní odpor základů bran a jejich umístění a následně provést výpočet dotykových napětí naznačeným postupem.

Literatura:

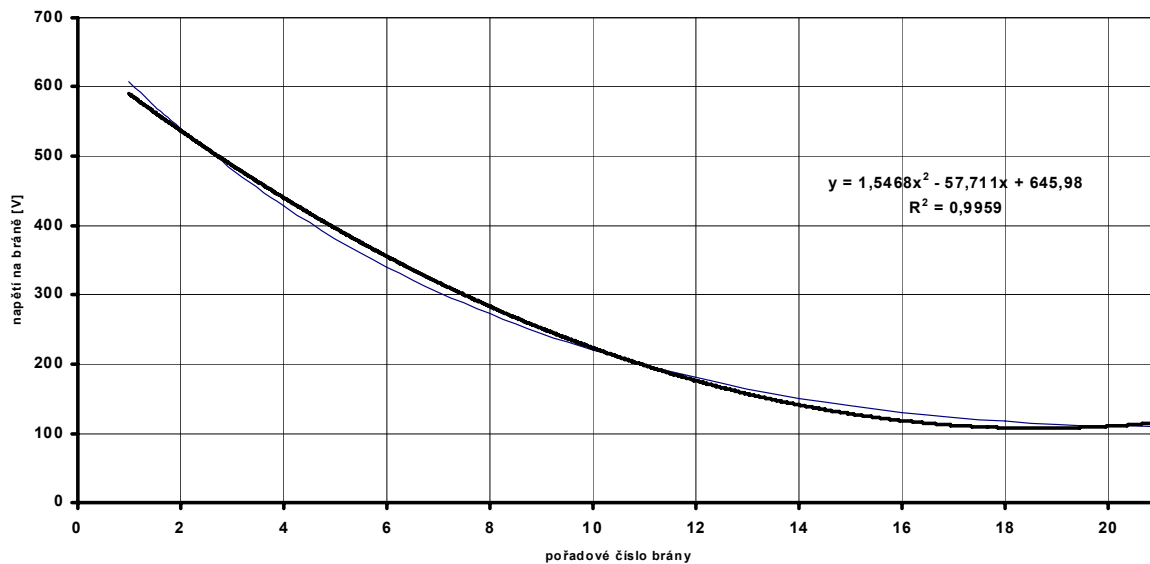
- [1] Verzich V.: Koordinace ochrany trakčního vedení a zařízení napájených z TV před přepětím a zkratem – 2. část
Sborník Společnosti dopravy-VTK Elektro Olomouc „Nová elektrická zařízení železniční infrastruktury 2007-2008, str.53-81
- [2] Hlava K.: Elektromagnetická kompatibilita (EMC) drážních zařízení. Skriptum Univerzity Pardubice 2004
- [3] ČSN EN 50122-1: Drážní zařízení - Pevná trakční zařízení - Část 1: Ochranná opatření vztahující se na elektrickou bezpečnost a uzemňování

Praha, březen 2009

Lektoroval: Ing. Vladivoj Výkruta, CSc.,
Elektrizace železnic

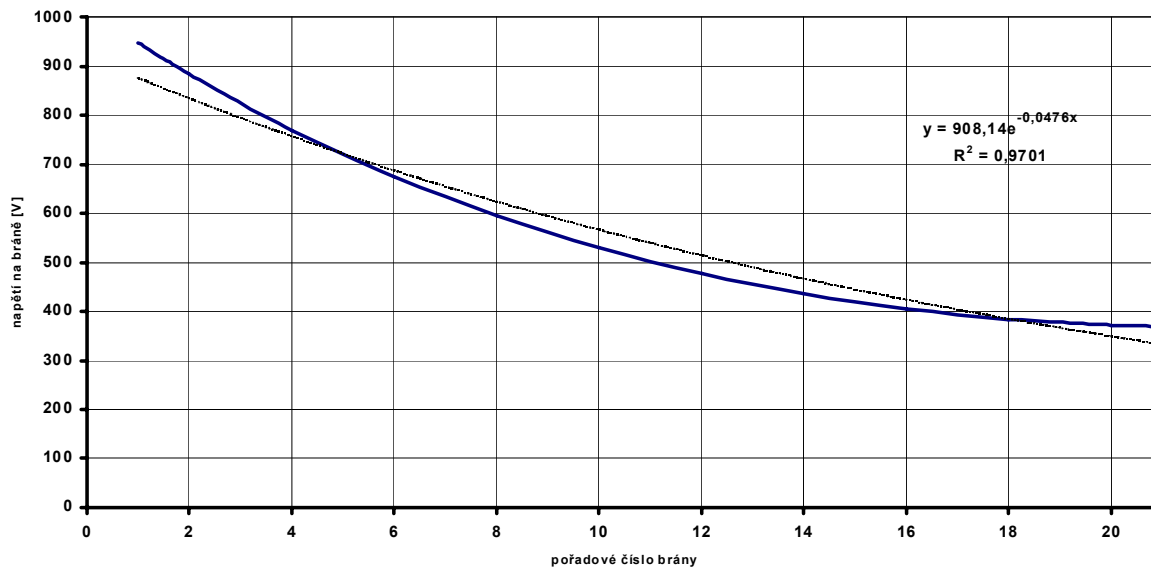
Obrázky

Napětí na jednotlivých bránách pro vstupní proud 1000 A a zemní odpor brán 5 Ohmů



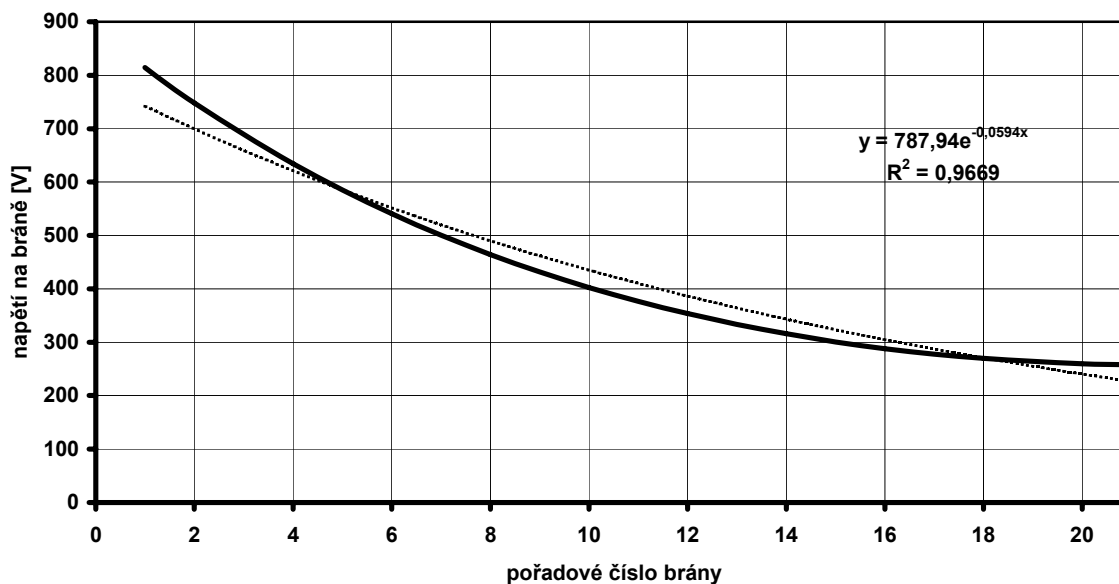
Obr. 1

Napětí na jednotlivých bránách TV pro vstupní proud 1000 A a zemní odpor brán 12 Ohmů



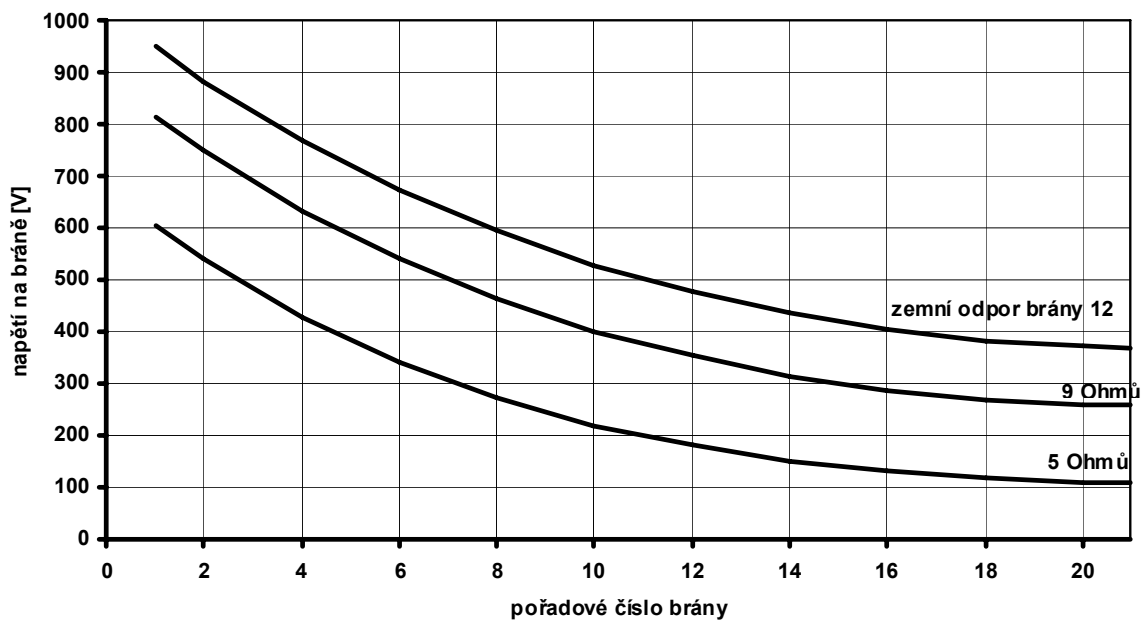
Obr. 2

Napětí na jednotlivých bránách pro vstupní proud 1000 A a zemní odpor brán 9 Ohmů



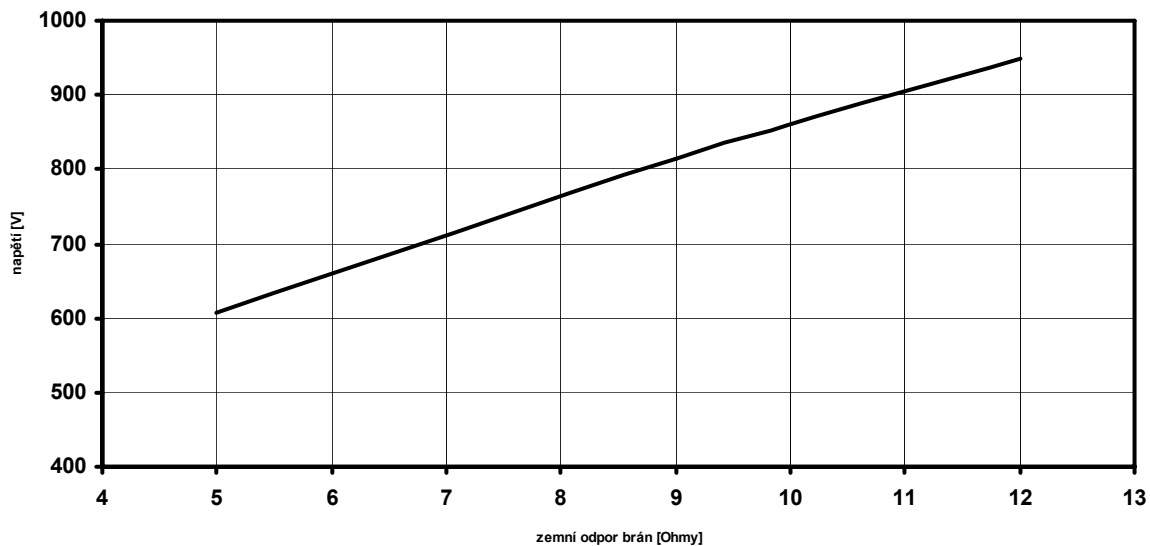
Obr. 3

Napětí na jednotlivých bránách TV pro vstupní proud 1000 A a zemní odpor brán 5, 9 a 12 Ohmů
napájení v místě 1. brány



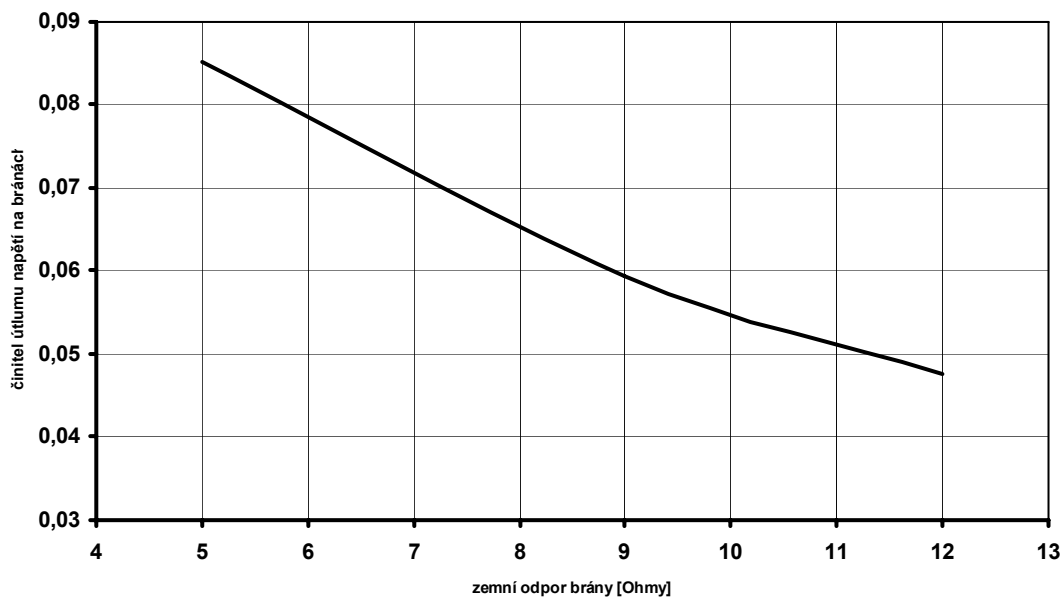
Obr. 4

Závislost napětí na začátku ukolejňovacího lana na zemním odporu brán



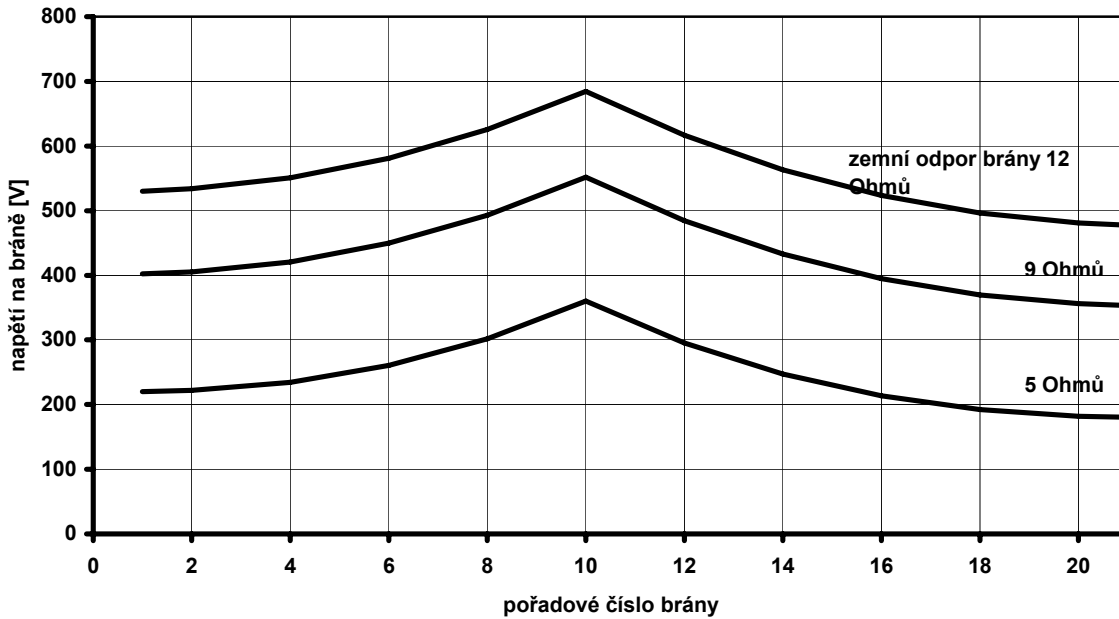
Obr. 5

Závislost činitele útlumu napětí na jednotlivých bránách na jejich zemním odporu



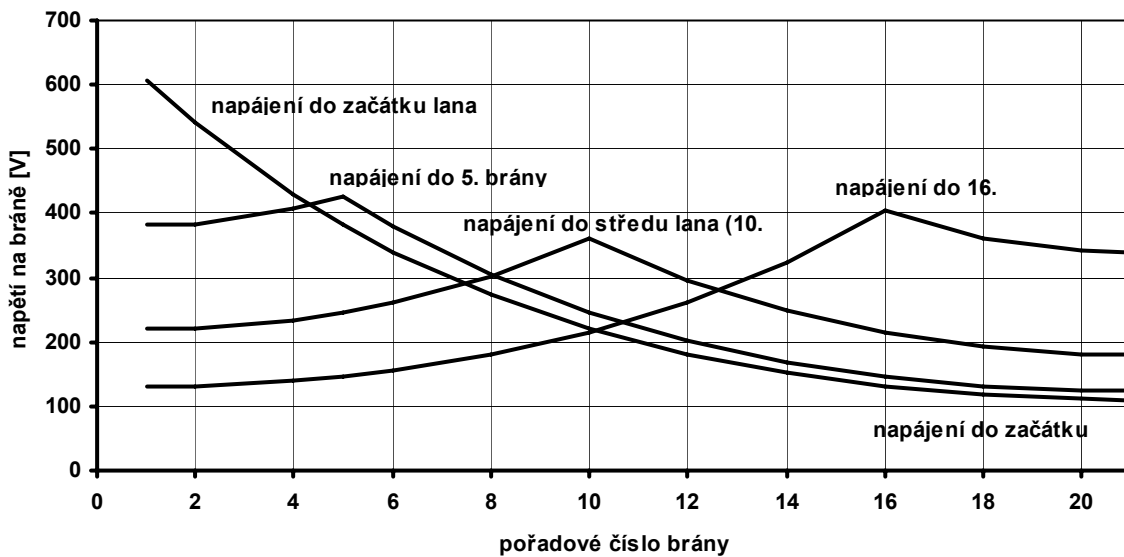
Obr. 6

Napětí na jednotlivých bránách TV pro vstupní proud 1000 A a zemní odpor brán 5, 9 a 12 Ohmů
napájení v místě 10. brány



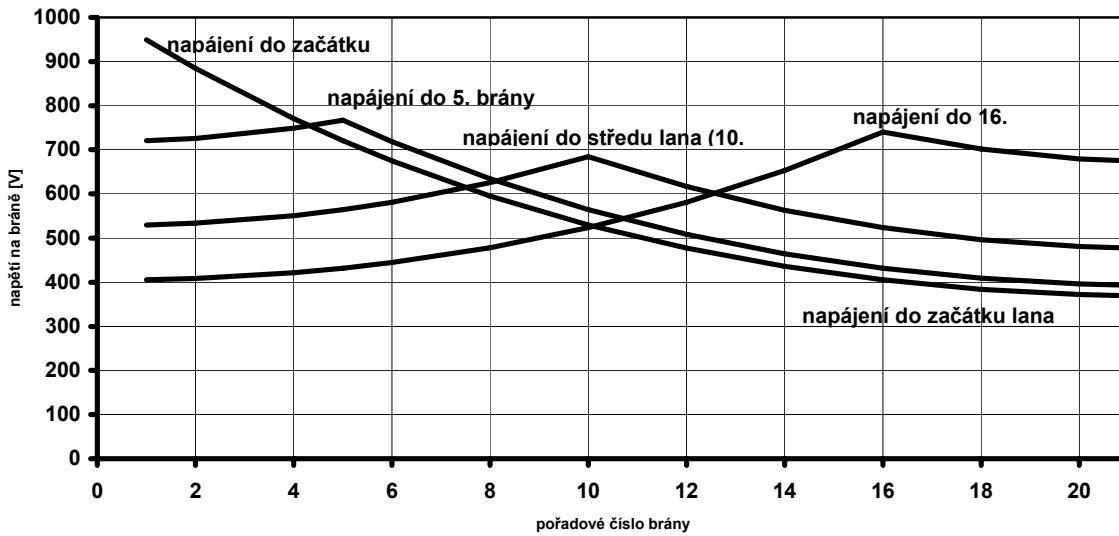
Obr. 7

Napětí na jednotlivých bránách pro vstupní proud 1000 A a zemní odpor brán 5 Ohmů
v závislosti na místě napájení



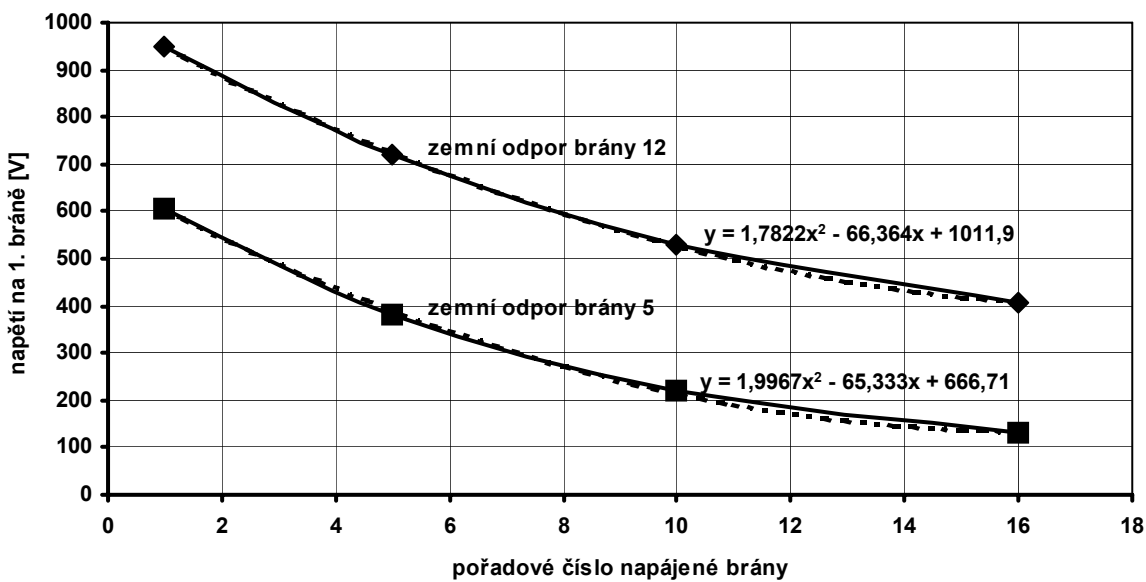
Obr. 8

Napětí na jednotlivých bránách pro vstupní proud 1000 A a zemní odpor brán 12 Ohmů
v závislosti na místě napájení



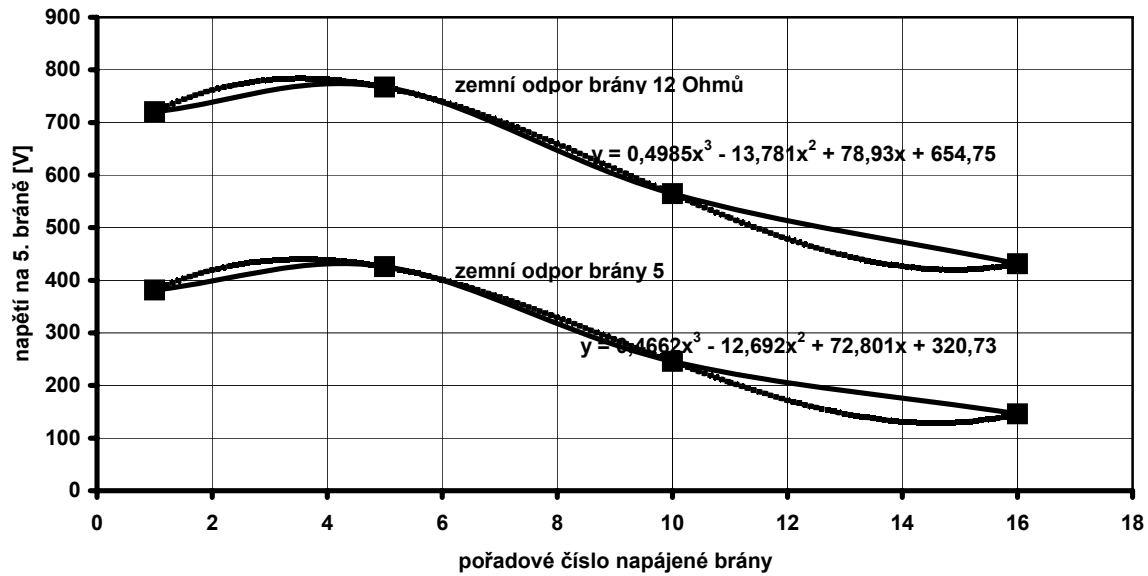
Obr. 9

Závislost napětí na 1. bráně na pořadovém čísle napájené brány proudem 1000 A
pro zemní odpor brány 5 a 12 Ohmů



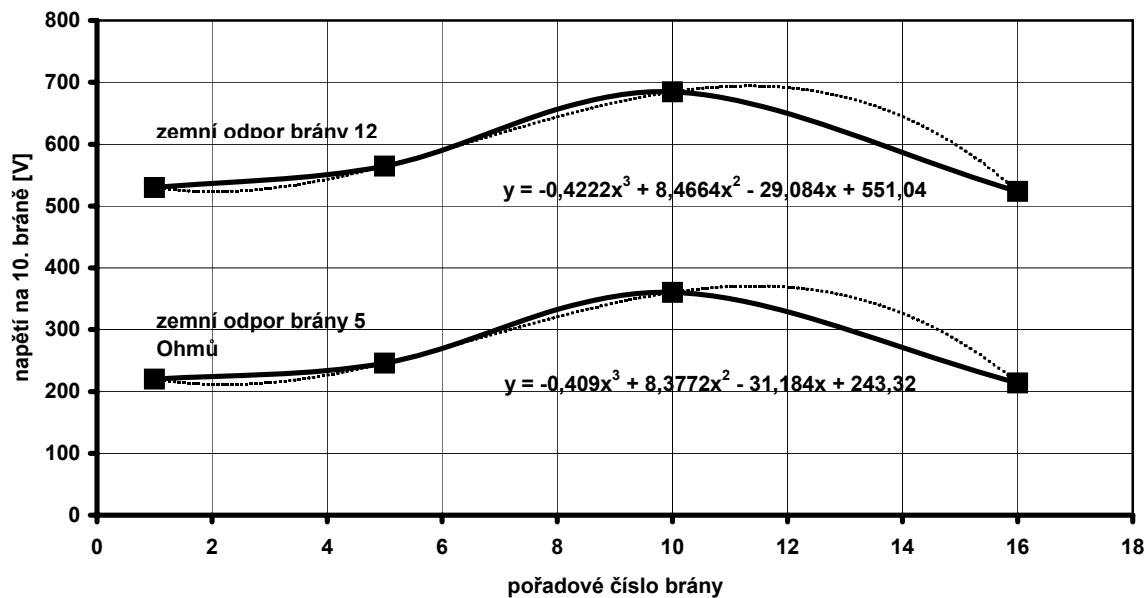
Obr. 10

Závislost napětí na 5. bráně na pořadovém číslu napájené brány proudem 1000 A
pro zemní odpor brány 5 a 12 Ohmů



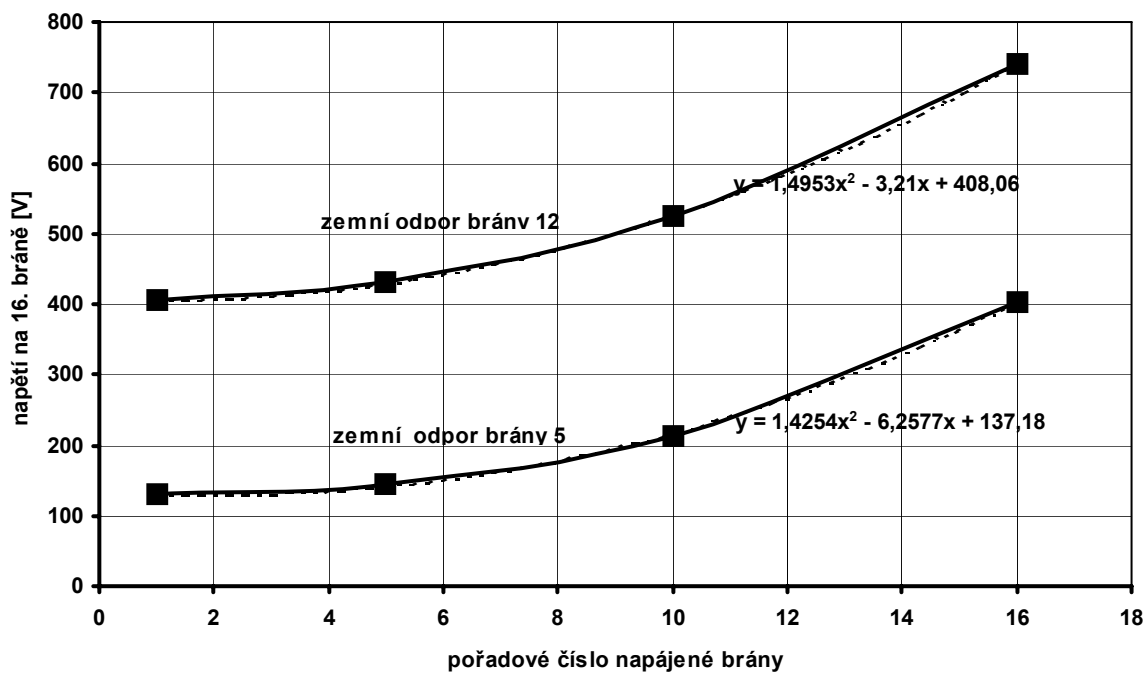
Obr. 11

Závislost napětí na 10. bráně na pořadovém číslu napájené brány proudem 1000 A
pro zemní odpor brány 5 a 12 Ohmů



Obr. 12

Závislost napětí na 16. bráně na pořadovém čísle napájené brány proudem 1000 A
pro zemní odpor brány 5 a 12 Ohmů



Obr. 13