

## VPLYV UZEMNENIA NA FUNKCIU PRÚDOVÉHO CHRÁNIČA V POĽNÝCH PODMIENKÁCH

Ing. Rudolf HUNA,

kpt. Ing. Patrik MACALÁK, ŠPE - CV, AOS gen. M. R. Štefánika, Demänová 393, 031 06 Liptovský Mikuláš 6

### ÚVOD

Technický rozvoj vo všetkých odboroch elektrotechniky si vynucuje nové prístupy k zaistovaniu požiadaviek bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci na elektrických inštaláciách/zariadeniach. Zvyšujú sa nároky na efektívne využívanie elektrickej energie, prehľbujú sa poznatky o účinkoch elektrického prúdu na ľudský organizmus a zdokonaľujú sa prostriedky ochrany pracovníkov pred jeho nepriaznivými faktormi. Odporúčania IEC (Medzinárodná komisia pre elektrotechniku) a CENELEC-u (Európska komisia pre normalizáciu v elektrotechnike) poukazujú na skutočnosť, že napr. využitím prúdových chráničov, ako doplnkovej ochrany pred možným zásahom elektrickým prúdom pri **základnej ochrane (ochrana pred priamym dotykom)** a **ochrane pri poruche (ochrana pred nepriamym dotykom)** je možné výraznejšie znížiť počet úrazov všetkých pracovníkov/zamestnancov a zvýšiť ochranu majetku pred možným vznikom požiaru z elektrických inštalčných systémov/zariadení.

*V článku je naznačený vplyv odporu uzemnenia v poľných/dočasných podmienkach na funkciu prúdového chrániča (RCD) a na ich povinné používanie vo všetkých typoch mobilných prostriedkov elektrických. Prúdový chránič predstavuje podľa čl. 411.3.3 STN 33 2000-4-41 doplnkovú ochranu pred zásahom elektrickým prúdom pre všetky elektrické zariadenia/inštalácie do 32 A používaných vo vonkajších priestoroch.*

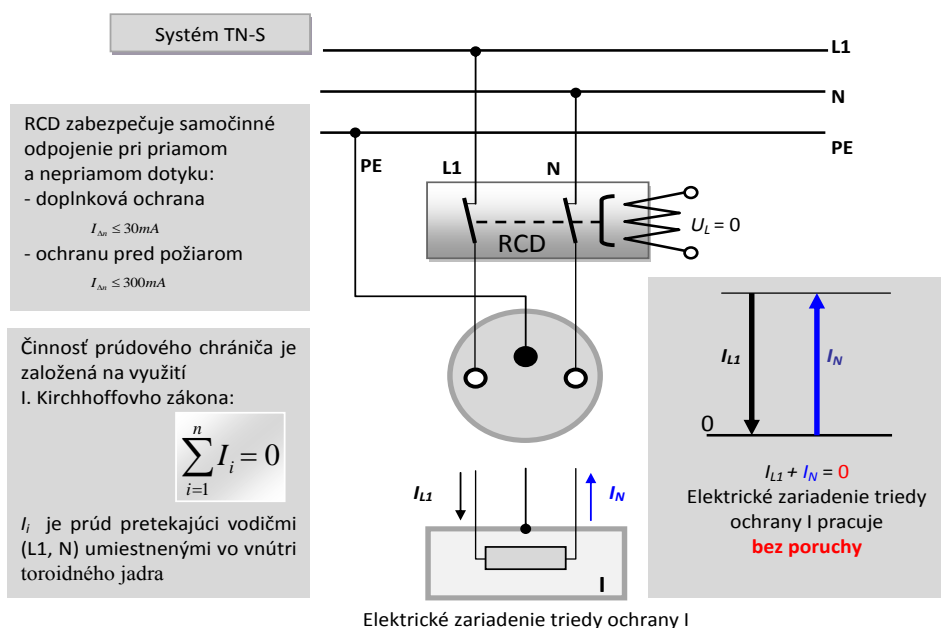
### 1. TERMÍNY A DEFINÍCIE

- **prúdový chránič (residual current operated circuit-breaker):** mechanický spínací prístroj navrhnutý na zapínanie, vedenie a vypínanie prúdu pri normálnych pracovných podmienkach a na rozpojenie kontaktov, ak rozdielový prúd dosiahne stanovenú hodnotu pri špecifikovaných podmienkach;
- **prúdový chránič bez vstavanej nadprúdovej ochrany - RCCB (residual current operated circuit-breaker without integral overcurrent protection):** prúdový chránič, ktorý nie je navrhnutý na vykonávanie funkcií ochrany proti preťaženiam a/alebo skratom;
- **prúdový chránič so vstavanou nadprúdovou ochranou - RCBO (residual current operated circuit-breaker with integral overcurrent protection):** prúdový chránič, ktorý je navrhnutý na vykonávanie funkcií ochrany proti preťaženiam a/alebo skratom;
- **rozdielový prúd ( $I_{\Delta}$ ) (residual current ( $I_{\Delta}$ )):** vektorový súčet okamžitých hodnôt prúdov, ktoré tečú hlavným obvodom RCD (vyjadrený v efektívnej hodnote);
- **rozdielový pracovný prúd ( $I_{\Delta n}$ ) (residual operating current):** hodnota rozdielového prúdu, ktorá spôsobí činnosť RCD pri stanovených podmienkach;
- **rozdielový nepracovný prúd ( $I_{\Delta n}$ ) (residual current nonworking):** hodnota rozdielového prúdu, pri ktorej (vrátane nižších hodnôt) chránič za predpísaných podmienok nevypne. Je určený hranicou  $0,5 I_{\Delta n}$ . (Hodnoty pracovného a nepracovného prúdu sú nastavované výrobcom v rozsahu  $0,65$  až  $0,80 I_{\Delta n}$ ).
- **rozdielový skratový výdržný prúd (residual short-circuit withstand current):** maximálna hodnota rozdielového prúdu, pri ktorej sa zabezpečuje činnosť RCCB pri stanovených podmienkach; po prekročení tejto hodnoty sa môže RCCB nezvratne poškodiť;
- **predpokladaný prúd (prospective current):** prúd, ktorý by tiekol obvodom, ak by sa každý hlavný pól RCCB a prípadného prístroja istiaceho proti nadprúdu nahradil vodičom so zanedbateľnou impedanciou;
- **maximálny predpokladaný dynamický prúd (striedavého obvodu) (maximum prospective peak current (of an a.c. circuit)):** predpokladaný dynamický prúd, ktorý vznikne v takom okamihu skratu, pri ktorom prúd dosahuje najvyššiu možnú hodnotu;

- **skratová (zapínacia a vypínacia) schopnosť (short-circuit (making and breaking) capacity):** hodnota striedavej zložky predpokladaného prúdu, vyjadrená svojou efektívnou hodnotou, ktorú je RCCB schopný zapnúť, prenášať v priebehu jeho času rozpojenia a vypnúť pri špecifikovaných podmienkach;
- **zapínacia schopnosť (making capacity):** hodnota striedavej zložky predpokladaného prúdu, ktorú je RCCB schopný zapnúť pri stanovenom napätí a predpísaných podmienkach použitia a správania;
- **vypínacia schopnosť (breaking capacity):** hodnota striedavej zložky predpokladaného prúdu, ktorú je RCCB schopný vypnúť pri stanovenom napätí a predpísaných podmienkach použitia a správania;
- **rozdielová zapínacia a vypínacia schopnosť (residual making and breaking capacity):** hodnota striedavej zložky predpokladaného rozdielového prúdu, ktorú môže RCCB zapnúť, prenášať v priebehu svojho času rozpojenia a vypnúť pri špecifikovaných podmienkach použitia a správania;
- **podmienený skratový prúd (conditional short-circuit current):** hodnota striedavej zložky predpokladaného prúdu, ktorú RCCB chránený vhodným prístrojom istiacim proti skratu (v norme sa pre neho používa skratka SCPD) zapojeným v sérii, môže zniesť pri špecifikovaných podmienkach použitia a správania;
- **podmienený rozdielový skratový prúd (conditional residual short-circuit current):** hodnota striedavej zložky predpokladaného rozdielového prúdu, ktorú môže RCCB chránený vhodným SCPD zapojeným v sérii, zniesť pri špecifikovaných podmienkach použitia a správania;
- **$U_x$ :** min. hodnota sieťového napätia, pri ktorej RCCB funkčne závislý od sieťového napätia sa ešte uvádza do činnosti pri špecifikovaných podmienkach a pri poklese sieťového napätia;
- **$U_y$ :** min. hodnota sieťového napätia, pod ktorou RCCB funkčne závislý od sieťového napätia sa samočinne uvádza do činnosti pri neprítomnosti akéhokoľvek rozdielového prúdu;
- **uzemňovač (earth electrode):** vodivá časť, ktorá sa môže uložiť v zemi alebo v špecifickom vodivom médiu, napríklad v betóne, ktorý je v elektrickom kontakte so zemou;
- **základový uzemňovač uložený v betóne (concrete-embedded foundation earth electrode):** uzemňovač uložený v betóne alebo v základoch budovy, ktorý je vo všeobecnosti tvorený uzavretou slučkou;
- **základový uzemňovač uložený v zemi (soil-embedded foundation earth electrode):** uzemňovač uložený v zemi pod základom budovy, ktorý je vo všeobecnosti tvorený uzavretou slučkou;
- **ochranný vodič (protective conductor):** vodič slúžiaci na zaistenie bezpečnosti, napríklad na ochranu pred zásahom elektrickým prúdom;
- **vodič ochranného pospájania (protective bonding conductor):** ochranný vodič zabezpečujúci ochranné pospájanie;
- **uzemňovacia sústava (earthing arrangement):** súbor všetkých elektrických spojov a predmetov, ktoré sú súčasťou uzemnenia elektrickej siete, elektrickej inštalácie alebo elektrického zariadenia.

## 2. PRINCÍP ČINNOSTI PRÚDOVÉHO CHRÁNIČA

Z hľadiska možného zásahu pracovníka/operátora elektrickým prúdom v systéme napájania TN-C-S, TN-S, TT na elektrických inštaláciách v mobilných prostriedkoch je možné využiť ochranný prístroj – prúdový chránič (RCD), ktorý zabezpečí vo veľmi krátkom čase (milisekundy) jeho ochranu. Ochrana prúdovým chráničom predstavuje **doplňkovú ochranu prúdovým chráničom s rozdielovým vypínajúcim prúdom  $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$**  (STN 33 2000-4-41: čl. 411.3.3). Princíp činnosti prúdového chrániča (obr. 2), vychádza z vyhodnotenia rozdielového prúdu t. j. porovnáva celkový prúd v jednom smere ( $I_{L1}$ ) s celkovým prúdom v smere opačnom ( $I_N$ ). Keď je rozdiel väčší, ako je stanovená hranica dôjde k odpojeniu napájania systému. V súvislosti s funkciou prúdového chrániča je potrebné mať na zreteli, že prúdový chránič nie je obmedzujúcim prvkom t. z., že neobmedzuje hodnotu prúdu cez neho prechádzajúceho, ale len čas jeho priechodu. Čas priechodu prúdu je daný časom vypnutia. Rozdielový vypínací prúd je závislý len na impedančných pomeroch obvodu a jeho napájacím napätím. Vlastná impedancia prúdového chrániča je zanedbateľná oproti celkovej impedancii poruchovej slučky. Prúdový chránič, ako jediný dokáže vyhodnotiť veľký rozsah rozdielových prúdov (jednotky/stovky mA).

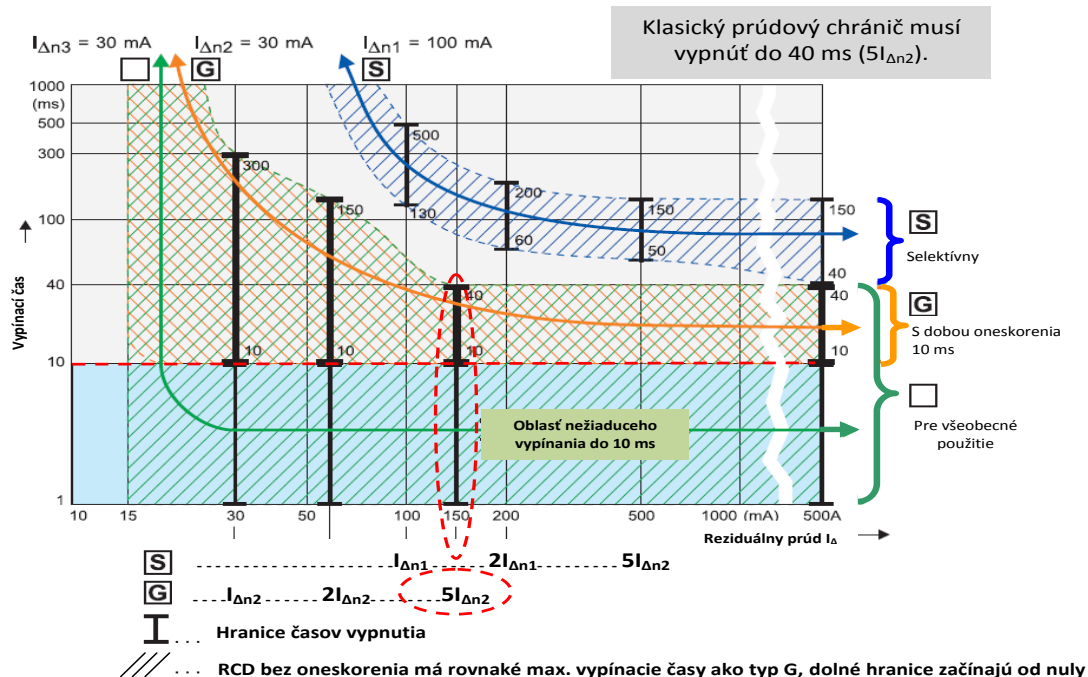


Obr. 1 Princíp činnosti prúdového chrániča (RCD) v systéme napájania TN-S

Pre systémy napájania TN, TT v mobilných prostriedkoch sa odporúča čas vypnutia do 200 milisekúnd. Najdôležitejší z hľadiska odpojenia prúdového chrániča v trojfázových sústavách 230 V/400 V/50-60 Hz (TN, TT, IT) je **čas odpojenia** v normálnom aj nebezpečnom prostredí. Keď sa uvažuje s impedanciou ľudského tela 1750  $\Omega$  (STN 33 2000-5-51 tab. NBB.1) – (ľudské telo – podlaha/zem) je hodnota prúdu prechádzajúca ľudským telom 131,4 mA.

$$I_T = \frac{U_f}{Z_T} = \frac{230}{1750} = 0,1314 \text{ A} \quad [1]$$

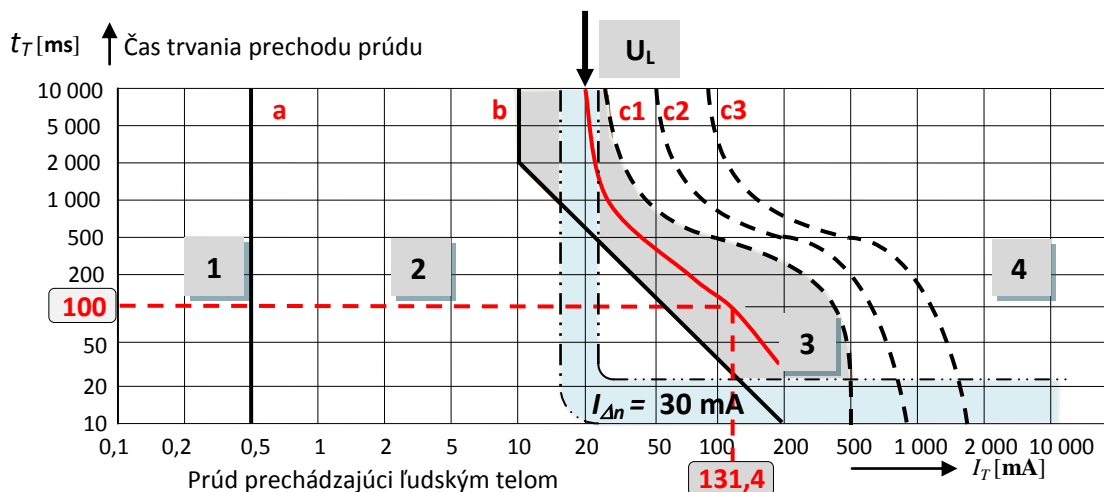
Je to menšia hodnota, ako 500 mA (**hranica c1 – oblasť 3** výrazne sa zvyšuje pravdepodobnosť vzniku komorových fibrilácií so zástavou dýchania – zásah, obr. 3). Klasický prúdový chránič vyrobený podľa STN EN 61008-1 a STN EN 61009-1 musí tento prúd odpojiť v čase menšom, ako 100 ms (150 mA musí odpojiť do 40 ms – tab. 2). Vypínacie časy prúdových chráničov sú znázornené na obr. 2, 3.



Obr. 2 Vypínacie časy prúdových chráničov

Z obr. 3 vyplýva, že sa vždy nachádzame pod krivkou  $U_L$ , ktorá predstavuje dohodnutú hranicu, kedy by mal byť prúd prechádzajúci ľudským telom vždy odpojený. V priestoroch, kde sa uvažuje s väčšou vlhkosťou (poľné podmienky) a inými nepriaznivými podmienkami, je potrebné uvažovať s nižšou impedanciou ľudského tela a tu sú požiadavky na ochranu pred zásahom elektrickým prúdom prísnejšie. Jedná sa o obvody SELV, PELV a o používanie prúdových chráničov, ako doplnkovej ochrany.

Pri ochrane pred možným zásahom elektrickým prúdom je rozhodujúci čas odpojenia, čo má veľmi dôležitý význam z hľadiska pôsobenia elektrického prúdu na ľudský organizmus. Na obr. 3 sú znázornené účinky striedavého prúdu na ľudský organizmus v závislosti na veľkosti prúdu a času pôsobenia.



Obr. 3 Účinky striedavého prúdu na ľudský organizmus – medzné krivky

Vplyv prúdu je možné rozdeliť do zón (obr. 3), ktoré je možné ohraničiť **PRAHOM VNÍMANIA** elektrického prúdu, ktorý je spojený so znesiteľnými pocitmi (mravčenie, brnenie v svalstve) ovládanými ešte vôľou človeka. Sú to prúdy okolo (0,5 – 2) mA. Na obr. 3 sú vymedzené *zónou 1* a ohraničené hodnotou 0,5 mA, pri ktorej nevznikajú v tkanive spontánne reakcie. Pri prúde okolo 10 mA dochádza ku kŕčom svalstva a postihnutá osoba má problémy sa sama vyslobodiť z prúdového obvodu (obr. 3, *zóna 2*, **krivka b**). Telové prúdy v tejto zóne spravidla nevyvolávajú žiadnu patofyziologickú zmenu. *Zóna 3* predstavuje prechodovú oblasť, kde prúdy môžu vyvolať kŕče svalov, ktoré človek nedokáže ovládať a dochádza k ťažkostiam s dýchaním.

**HRANICA FIBRILÁCIE** - elektrický striedavý prúd, ktorý nepriaznivo ovplyvňuje činnosť svalov nezávisle od ľudskej vôle aj srdca. Pri takomto telovom prúde zlyháva pravidelná srdcová činnosť a vznikajú fibrilácie. Uvedený stav spôsobujú prúdy 25 – 30 mA (**krivka  $U_L$** ), *zóna 3* (tab. 1). **Krivka c1** znázorňuje 5 %, **krivka c2** 50 % a **krivka c3** viac ako 50 % pravdepodobnosti vzniku fibrilácie. Čím je zásah elektrického prúdu kratší, tým väčší prúd človek znesie. Uvedené rozdelenie platí pre trvalú hodnotu telového prúdu. Krátkodobé zásahy môžu byť neškodné, i pri oveľa vyšších hodnotách, ale len vtedy, keď nezasiahnu vulnerabilnú fázu činnosti srdca.

Tab. 1 Účinky striedavého prúdu na ľudský organizmus – prehľad

Zóna	Pásmo	Fyziologické účinky	
1	do 0,5 mA, priamka <b>a</b>	obyčajne žiadny účinok	
2	0,5 mA až <b>krivka b</b>	obyčajne žiadne škodlivé fyziologické účinky	
3	<b>krivka b</b> až <b>krivka c1</b>	obyčajne žiadne poškodenie organizmu, pravdepodobnosť svalových kŕčov, dýchacie problémy vrátane porušenia rytmu srdca a komorových fibrilácií, prechodné zástavy srdcovej činnosti bez komorových fibrilácií sa zvyšujú s nárastom prúdu a časom jeho trvania	
4	<b>krivka c1</b> až <b>krivka c2</b>	výrazne sa zvyšuje pravdepodobnosť vzniku komorových fibrilácií so zástavou dýchania	do 5 % ľudskej populácie
	<b>krivka c2</b> až <b>krivka c3</b>		do 50 % ľudskej populácie
	za <b>krivkou c3</b>		nad 50 % ľudskej populácie

**Menovitý rozdielový prúd  $I_{\Delta n}$**  je základným určujúcim parametrom prúdového chrániča, predstavuje hodnotu rozdielového vypínacieho prúdu pri ktorej prúdový chránič vypne. Prúdový chránič **musí podľa odporúčania normy vypnúť** v rozsahu 0,5 – 1 násobku menovitého reziduálneho prúdu a **nesmie vypnúť** keď je reziduálny prúd menší, ako  $0,5 \times I_{\Delta n}$ . Klasický prúdový chránič pre všeobecné použitie s  $I_{\Delta n} = 30$  mA, musí reagovať na reziduálne prúdy v rozsahu 15 – 30 mA. Nesmie vypnúť pri prúdoch menších, ako 15 mA. Odporúčané časy sú uvedené v tab. 2.

Tab. 2. Odporúčané časy vypnutia prúdových chráničov podľa STN EN 61008-1 - výber

TYP prúdového chrániča RCD	Normalizované hodnoty – celkové časy vypínania [s] a časy nepôsobenia [s] pri rozdielovom ( $I_{\Delta}$ ) rovnajúcom sa:				
	$I_{\Delta n}$	$2 I_{\Delta n}$	$5 I_{\Delta n}$	5A, 10 A, 20 A, 50 A, 100 A, 200 A, 500 A	
Pre všeobecné použitie	0,3	0,15	0,04	0,04	Max. časy vypínania
S oneskorením min. 10 ms	0,3	0,15	0,04	0,04	
Selektívne oneskorenie min. 40 ms	0,13	0,06	0,05	0,04	Min. časy nepôsobenia

Prúdový chránič zapojený, ako ochranný prvok v striedavej napájacej sústave má svoje uplatnenie aj vtedy, keď impedancia poruchovej slučky nevyhovuje automatickému odpojeniu pri poruche. Zvýšená hodnota impedancie poruchovej slučky spôsobí, má za následok, že poruchový/skratový prúd ochranný istiaci prvok nevypne v odporúčanom čase.

To znamená, že impedancia poruchovej slučky výrazne obmedzuje skratový prúd z hľadiska nadprúdu. Hodnota takéhoto skratového prúdu predstavuje rádovo niekoľkonásobok rozdielového prúdu RCD. S ohľadom na požiadavku odpojenia v časoch do 0,4/5 sekúnd v distribučnej sústave sú vypínacie časy RCD kratšie, ale to neznamená, že by mal byť RCD jedinou ochranou, ako z hľadiska ochrany pred nadprúdom - skratom a ochranou pred zásahom elektrickým prúdom – pred priamym/nepriamym dotykom.

Takýto rozdielový prúd sa stáva skratovým prúdom. Jednofázový skrat proti zemi predstavuje klasický poruchový rozdielový vypínací prúd. Vzhľadom na to, že prúdový chránič dokáže v rýchlom čase odpojiť takýto jednofázový skrat, môže impedancia poruchovej slučky pri zapojení prúdového chrániča s  $I_{\Delta n} = 30$  mA predstavovať hodnotu napr. v sieti TT až 1666, 66  $\Omega$ .

$$Z_s = \frac{U_D}{I_{\Delta n}} = \frac{50}{0,03} = 1666,66\Omega \quad [2]$$

Z uvedeného vyplýva, že prúdové chrániče nachádzajúce sa v mobilných prostriedkoch v poľných podmienkach zabezpečia ochranu pred zásahom elektrickým prúdom aj pri vysokých hodnotách odporu uzemnenia.

### 3. REZISTIVITA ZEMINY/PODLOŽIA

Pred výstavbou mobilných prostriedkov v poľných podmienkach je potrebné overiť funkciu prúdového chrániča z hľadiska potreby prevádzky techniky a ochrany operátorov, či hodnota rezistivity uzemnenia zeminy/podložia spĺňa podmienky jeho vypnutia. Na základe overenia funkcie je povinný prevádzkovateľ prijať opatrenia, ktoré v danej lokalite z hľadiska odporu uzemnenia vždy zabezpečia jeho funkciu. Veľmi dôležitým faktorom, ktorý sa podieľa na funkcii RCD je zloženie zeminy/podložia a ročné obdobie. Podložie/zemina je zriedkakedy homogénna a rezistivita zeminy sa bude meniť jej geografickou hĺbkou.

Na rezistivitu zeminy vplýva vlhkosť alebo množstvo vody v zemine. Obsah vlhkosti sa mení podľa ročného obdobia, mení sa podľa povahy vrstiev v podloží a hĺbky stálej vodnej hladiny. V tab. 3 sa nachádzajú najčastejšie typy pôdneho fondu/zeminy a ich vplyv na jej rezistivitu.

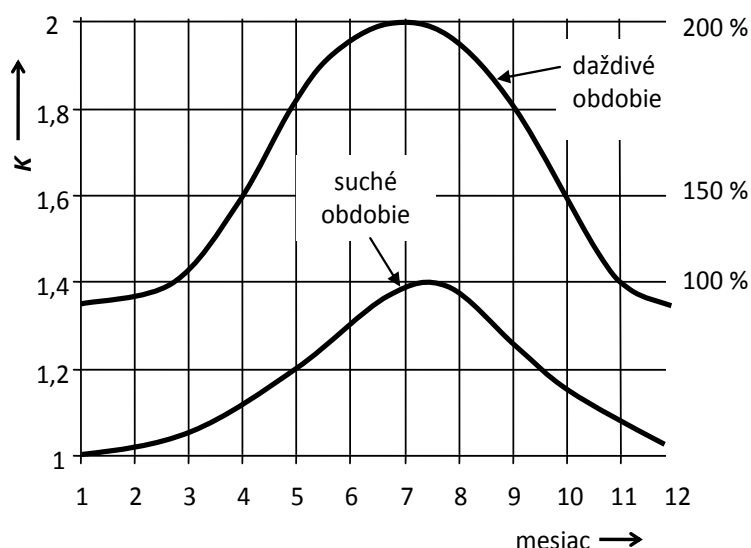
Rezistivita je pevne vzťahnutá ku vlhkosti a vlhkosť je prítomná všade v zemine/pôde, preto je možné predpokladať, že so zmenou teploty sa bude meniť aj rezistivita zeminy/podložia. Tieto zmeny môžu dosahovať až 50% jej hodnoty.

Tab. 3 Rezistivita zeminy podľa druhu podložja/uzemňovača a prepočítaný odpor uzemnenia - výber

Typ zeminy/podložja (výber)	Rezistivita zeminy/podložja $\rho_E [\Omega m]$	Odpor uzemnenia $[\Omega]$					
		Uzemňovač - hĺbka [m]			Uzemňovací pás - dĺžka [m]		
		3	6	10	5	10	20
Vlhký humus, močiar	30	10	5	3	12	6	3
Poľnohospodárska pôda	100	33	17	10	40	20	10
Piesková hlina	150	50	25	15	60	30	15
Vlhký piesok	300	66	33	20	80	40	20
Suchý piesok	1000	330	165	100	400	200	100
Betón 1:5	400	-	-	-	160	80	40
Vlhký štrk	500	160	80	48	200	100	50
Suchý štrk	1000	330	165	100	400	200	100
Kamenistá zem	30000	1000	500	300	1200	600	300
Skala	$10^7$	-	-	-	-	-	-

### 3.1 Vplyv ročného obdobia na zmeny rezistivity zeminy/podložja

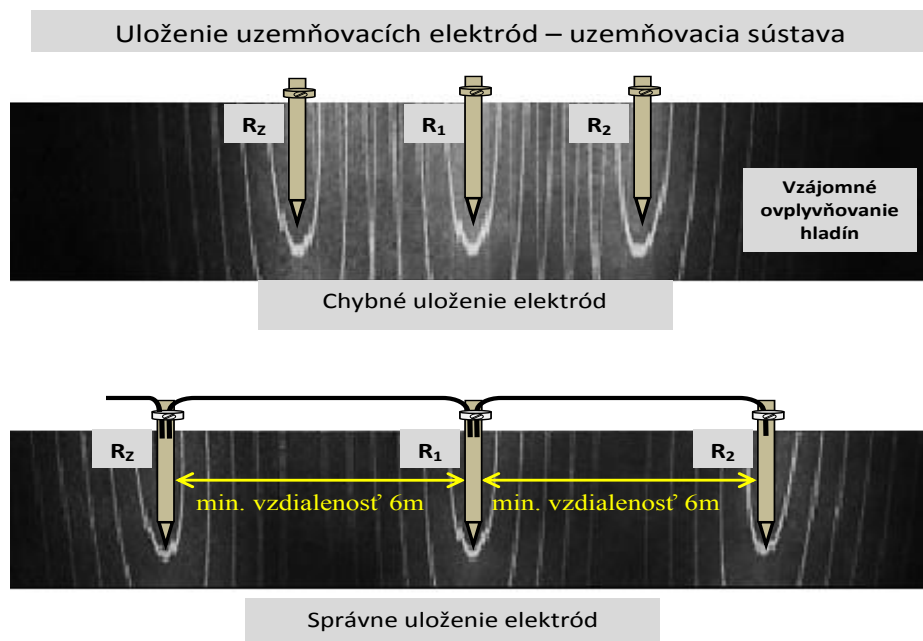
Rezistivita zeminy závisí od zloženia pôdneho fondu/podložja, vlhkosti a teploty. Mení sa počas roka všade tam, kde zmeny ročného obdobia prinášajú zo sebou zmeny vlhkosti a teploty pôdy načo by sa nemalo zabúdať pri uzemňovaní mobilných prostriedkov v poľných podmienkach, ako dočasný spôsob uzemnenia. Preto by uzemňovacie systémy mali byť navrhnuté a realizované tak, aby zabezpečili funkciu prúdového chrániča pri všetkých klimatických podmienkach/zmenách. Zemina a voda sú všeobecne viacej stabilné vo väčšej hĺbke (nad 3 m) a preto sa odporúča, aby uzemňovače boli uložené v čo najväčšej hĺbke, až pod úroveň vodnej hladiny. Uzemňovače by sa mali inštalovať v takých hĺbkach, kde je zabezpečená stabilná teplota, napr. tam, kde nedochádza pri veľkých mrazoch k zamrznutiu zeminy podložja. Zemina s nízkou rezistivitou je z dôvodu prítomnosti vody a solí často korózna, čím sa môže narúšať celkové uzemnenie a spoje. V prípade zvýšenia odporu uzemnenia je potrebné vykonať opatrenie na jeho zníženie (napr. nekorodujúcim géloom - kap. 3.3).

Obr. 4 Závislosť korekčného koeficienta  $K$  na ročnom období

### 3.2 Vplyv nerovnorodosti zeminy/podložja

Zemina/podložie  $\rho$  smerom do hĺbky nie je rovnorodá ale sa skladá z rôznorodých vrstiev s rôznou rezistivitou. To má vplyv na celkový odpor uzemnenia, ktorý sa chce v praxi dosiahnuť. Najčastejšie sa v zemine vyskytuje pôda v dvoch vodorovných vrstvách. Ak je spodná vrstva pôdy lepšie vodivá (napr. v dôsledku väčšej vlhkosti pôdy vo väčšej hĺbke), pri vertikálnej uzemňovacej elektróde je výhodnejšie použiť dlhšiu elektródu. Naopak, ak je spodná vrstva menej vodivá (napr. skalnaté podložie pod vrstvou zemitej pôdy), odpor uzemnenia zvislej uzemňovacej elektródy je väčší ako pri predpokladanej konštantnej rezistivite, preto nemá význam použiť dlhšiu elektródu. V takom prípade je výhodnejšie namiesto dlhej uzemňovacej elektródy použiť **viac paralelných uzemňovacích elektród**. V ílovitej, trvalo vlhkej pôde alebo jemnej hline je uzemnenie kvalitné, na rozdiel od piesčitej štrkovitej či kamenistej pôdy. Prúdová hustota a tým aj zmena potenciálu sú najväčšie pri uzemňovacej elektróde. Niekedy postačuje vykonať úpravu zeminy/podložja na krátky čas (mobilné prostriedky elektrické) solným roztokom. Soľ, ale zväčšuje koróziu uzemňovacích elektród, vstupuje do zemného fondu, čím zhoršuje ekológiu krajiny - životné prostredie. V takýchto prípadoch je výhodnejšie použiť navesenie kvalitnej ílovitej, alebo hlinitej zeminy. Uzemňovacia

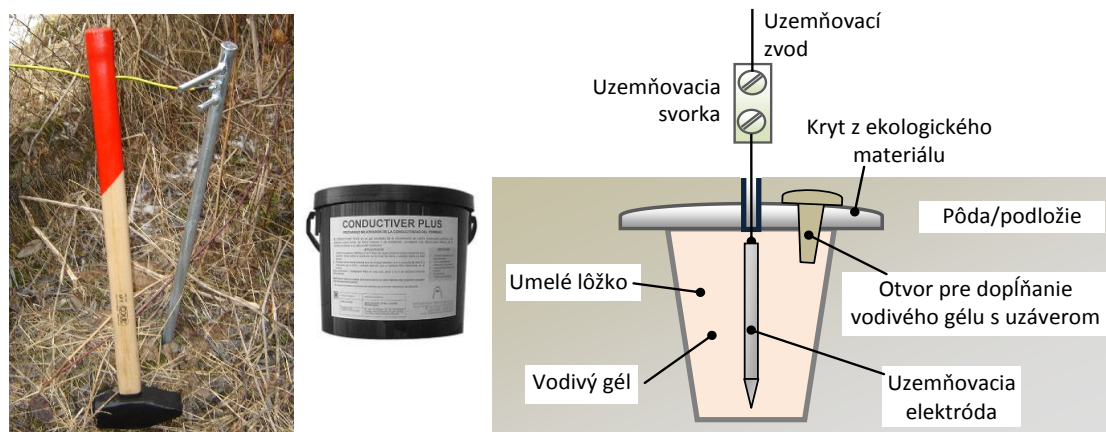
elektróda je takto obalená vo všetkých smeroch natesno vodivou zeminou, čím sa dosiahne kvalitné uzemnenie.



Obr. 5 Uloženie uzemňovacích tyčových elektród - ich vzájomné ovplyvňovanie

### 3.3 Znižovanie rezistivity zeminy/podložia

Na zachovanie trvale nízkych hodnôt odporu uzemnenia pre dočasné objekty - mobilné elektrické prostriedky je možné využívať **nekorodujúci ekologický gél**, a to hlavne tam, kde je trvalý predpoklad zmeny hodnoty odporu uzemnenia počas ročného obdobia. Gél zvyšuje kvalitu pôdneho fondu s dôrazom na zlepšenie jeho vodivosti a celkového uzemnenia. Jedná sa o nekorodujúci elektrolyt, ktorý je možné pri zhoršenom odpore uzemnenia pravidelne dopĺňať do umelého lôžka, v ktorom je uložená uzemňovacia elektróda (obr. 6).



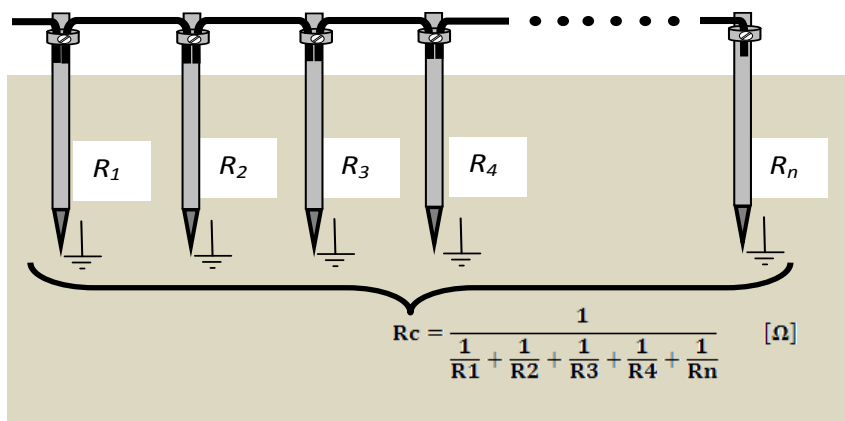
Obr. 6 Nový typ dočasnej uzemňovacej elektródy a prostriedok na znižovanie rezistivity podložia/zeme napr. Conductiver Plus

#### Charakteristika gélu:

- je schopný vytvárať čiastočne ionizované elektrolyty s vysokým nábojom a veľkou kapacitou zadržiavania vody a vytvárania gélovej hmoty;
- je termostabilný v rozsahu od - 60 °C do +60 °C;
- zostáva v pôde po dlhé obdobie vďaka väzbám s časticami pôdy, je ekologický;
- zvyšuje vodivosť pôdy (cca 200 % pre zrážkový úhrn 700 litrov/m<sup>2</sup> na obdobie presahujúce jeden rok);
- nepôsobí korozívne na uzemňovacie elektródy, preniká do zeme a vytvára homogénnu masu s kontaktným povrchom.



Uzemnenie predstavuje veľmi dôležitý parameter z hľadiska prevádzkovania všetkých elektrických inštalácií a zariadení, ktoré používa človek pri svojej pracovnej činnosti. Kto využíva uzemnenie, nesmie zabúdať, že: **“Uzemnenie je vodivé spojenie všetkých vodivých neživých častí z potenciálom zeme”**. Z toho vyplýva, že v prípade poruchy akýchkoľvek elektrických inštalácií a zariadení v mobilných prostriedkoch musí byť zabezpečená ochrana človeka a majetku. V praxi je preto potrebné dosiahnuť čo najmenšie hodnoty rezistivity uzemnenia. V prípade pochybnosti /nie je zabezpečená funkcia prúdového chrániča overením, je potrebné prakticky vykonať zmenu uzemňovacej sústavy (obr. 7) a to tak, že sa paralelne navzájom pospája niekoľko uzemňovačov.



Obr. 7 Vytvorenie tyčovej uzemňovacej sústavy napr. pre potreby v poľných podmienkach

Ak po vytvorení novej uzemňovacej sústavy a overení funkcie RCD nedôjde k jeho vypnutiu je potrebné pokiaľ veliteľ trvá na tom, že nemôže dôjsť v mierových podmienkach k zmene stanovišťa mobilného prostriedku prakticky overiť meraním hodnotu uzemnenia/podložia v súlade s STN 33 2000-5-54, STN 33 2000-6, STN 34 1398 a STN EN 62305-3.

## 4. MERANIE UZEMNENIA

### 4.1 Príklad priameho merania uzemnenia pri používaní mobilného prostriedku

V poľných podmienkach postačuje používať jednoduchšie a lacnejšie meracie prístroje na stanovenie odporu uzemnenia jednotlivých uzemňovačov s odporom uzemnenia väčším ako 0,5 Ω. Meracie prístroje sú založené na mostikovej metóde merania - priame meranie odporu uzemnenia. Ak v dôsledku rušenia alebo sféry vplyvu nie je možné mostík meracieho prístroja vyrovnať, nemožno takéto prístroje použiť. Meracie prístroje pracujú so striedavým napätím cca 75 V a frekvenciou 48 až 128 Hz.

Pomocné elektródy (uzemňovače) sa rozmiestňujú v takej vzdialenosti od meraného uzemňovača, aby ich vzájomné ovplyvňovanie bolo čo najmenšie. Táto podmienka je splnená vtedy, keď elektródy (uzemňovače) sú rozmiestnené v jednej priamke, podľa možnosti kolmo na dlhší rozmer uzemňovača, vo vzdialenostiach podľa obr. 8. Odpor  $R_Z$  (uzemňovač Z), odpor pomocnej prúdovej sondy  $R_P$  (sonda P), odpor pomocnej napäťovej sondy  $R_S$  (sonda S) predstavujú ideálnu zem. Prúd  $I$  preteká zo zdroja prúdu cez odpor meracieho prístroja (MP), odporom  $R_Z$  (uzemňovač Z), odporom  $R_P$  (sonda P). Na odpore  $R_Z$  vzniká úbytok napätia  $U_Z$ , ktorý sa zmeria pomocou napäťovej sondy S (odpor  $R_S$ ). Prúd  $I$  vytvára na odpore  $R_n$  (odpor MP) úbytok napätia  $U_n$ . Potom platí:

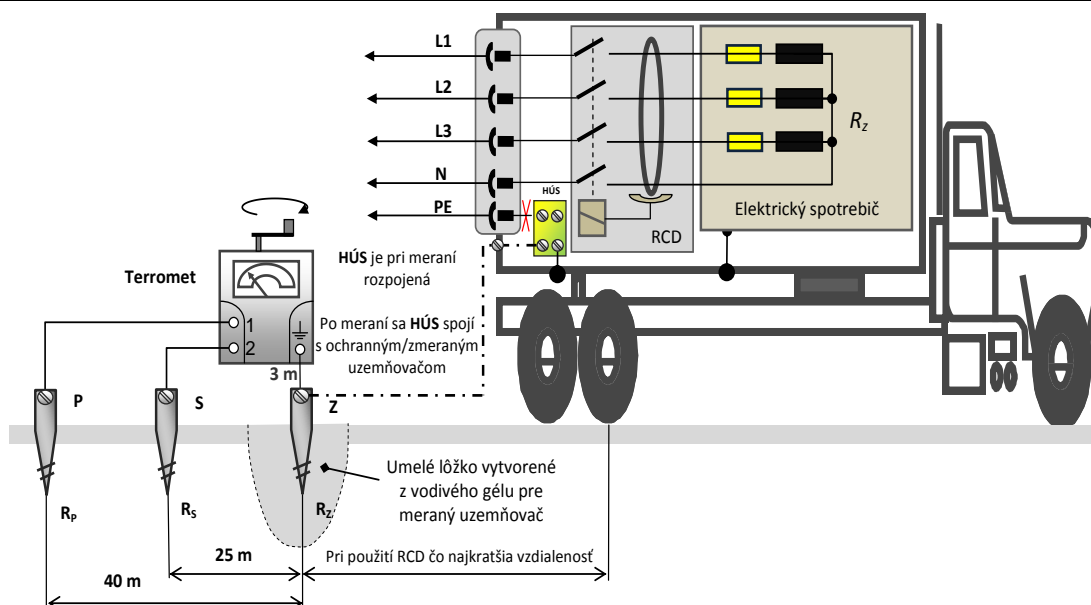
$$U_n = I \cdot R_n \rightarrow I = \frac{U_n}{R_n} \quad U_Z = I \cdot R_Z \quad R_Z = \frac{U_Z}{I} = U_Z \cdot \frac{R_n}{U_n} \quad \Omega ; \quad [3]$$

Pri meraní je prúd  $I$  konštantný a MP je na priamo očiachovaný v [Ω].

#### Pre meranie na jednoduchých uzemňovačoch (STN 33 2000-5-54):

- dĺžka (vzdialenosť) pomocnej prúdovej sondy **P** od meraného uzemňovača  $R_Z$  - 40 m; ( $P \leftrightarrow R_Z$ ),
- dĺžka (vzdialenosť) pomocnej napäťovej sondy **S** od meraného uzemňovača  $R_Z$  - 25 m;  $S \leftrightarrow R_Z$ ,

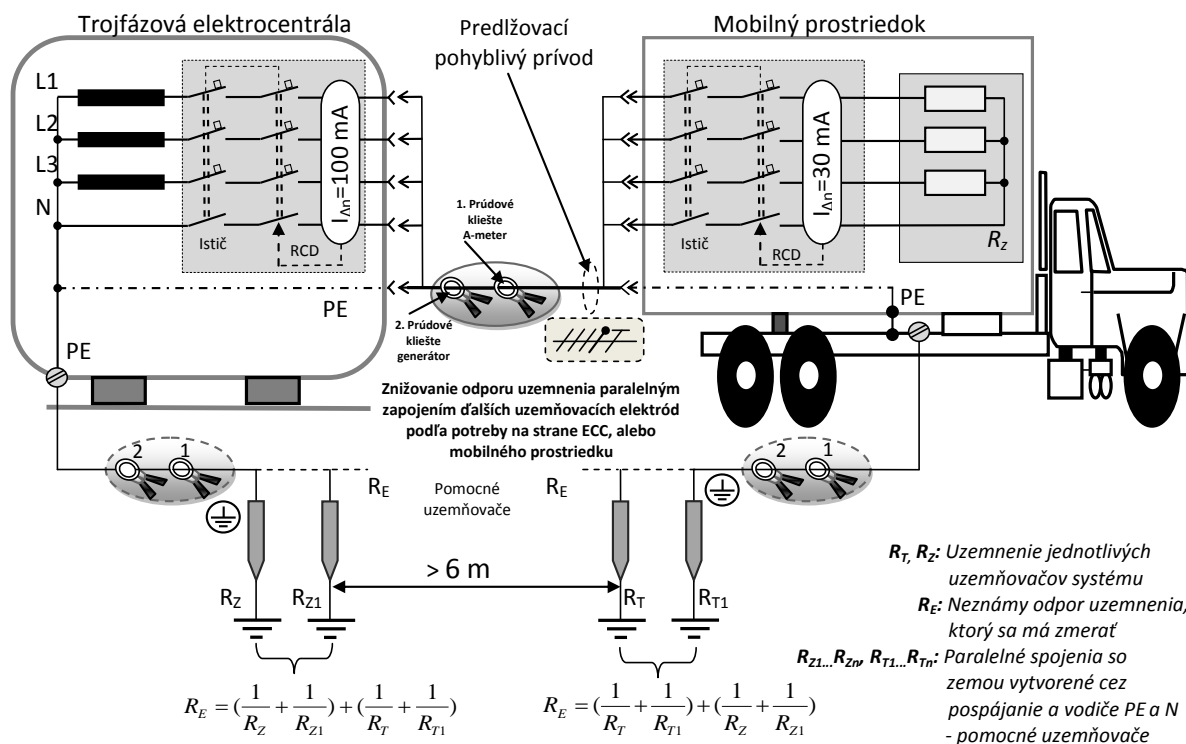




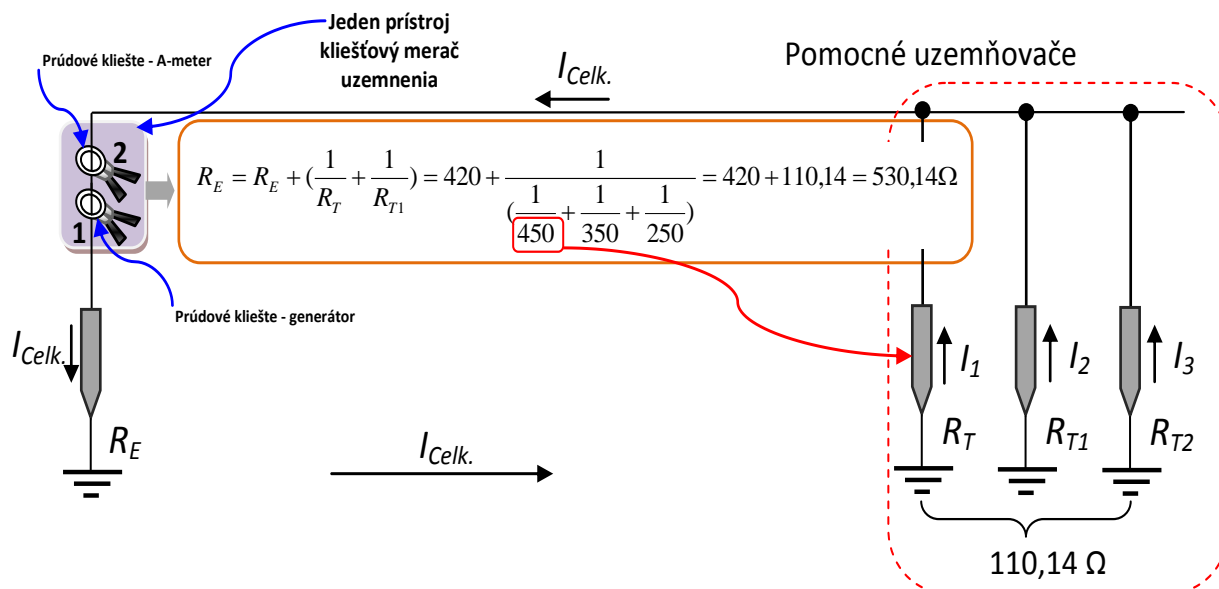
*Obr. 8 Príklad priameho merania odporu uzemnenia mobilného prostriedku v poľných podmienkach Terrometom*

#### 4.2 Meranie odporu uzemnenia/uzemňovacej slučky pomocou prúdových klieští

Prvé kliešte **(1)** indukujú meracie napätie  $U$  do slučky, druhé kliešte **(2)** merajú prúd v slučke. Výsledná hodnota paralelných odporov ( $R_E$ ) je zvyčajne zanedbateľná a výsledný odpor sa rovná nameranému odporu slučky alebo je mierne nižší. Každé kliešte sa môžu jednotlivo spojiť s meracím prístrojom alebo sa môžu kombinovať do jedných špeciálnych klieští. Uvedená metóda je priamo aplikovateľná na sústavy TN a na uzemňovacie sústavy systémov TT. Aby sa vyhlo možným rizikám spôsobenými prúdmi vytvorenými z rozdielov medzi neutrálnym vodičom N a zemou, sústava napájania musí byť počas pripájania a odpájania vypnutá - odpojené sú všetky pracovné vodiče (L1, L2, L3, N).



Obr. 9 Meranie odporu uzemňovacej slučky pomocou prúdových klieští poľných podmienkach



$R_E$ : neznámy odpor uzemnenia, ktorý sa má zmerať;

$R_T, \dots, R_{T2}$ : paralelné spojenia so zemou - uzemňovacie elektródy - pomocné uzemňovače.

Obr. 10 Meranie odporu uzemňovacej slučky pomocou kliešťového merača uzemnenia - príklad

Merací prístroj „obopína“ meranú uzemňovaciu elektródu  $R_E$ . Celkový merací prúd  $I_{Celk.}$  prechádza cez meranú uzemňovaciu elektródu  $R_E$  (neznámy odpor uzemnenia) a ďalej sa rozdeľuje medzi ostatné paralelne zapojené uzemňovacie elektródy (pomocné elektródy pre meranie) – môže to byť napr. pomocná uzemňovacia sústava, ktorú využíva mobilný prostriedok ( $R_T, R_{T1}, R_{T2}, \dots$ ). V tomto zapojení je potrebné vziať do úvahy, že výsledný obvod/slučka uzemnenia sa skladá z meranej uzemňovacej elektródy  $R_E$  spätnej cesty cez jednotlivé pomocné uzemňovacie elektródy  $R_T, R_{T1}, R_{T2}, \dots$  a rezistivitu zeminy/podložia. Samostatná uzemňovacia elektróda  $R_E$  bude mať vyššiu hodnotu uzemnenia, ako paralelné zapojenie pomocných uzemňovacích elektród  $R_T, R_{T1}, R_{T2}, \dots$ . Na obr. 10 je znázornený praktický **príklad**, kedy je kliešťová metóda merania uzemnenia efektívna z dôvodu nízkeho odporu spätnej slučky. Používa sa pri meraní odporu uzemnenia paralelne zapojených uzemňovačov, pričom uzemňovače tvoria časť slučky.

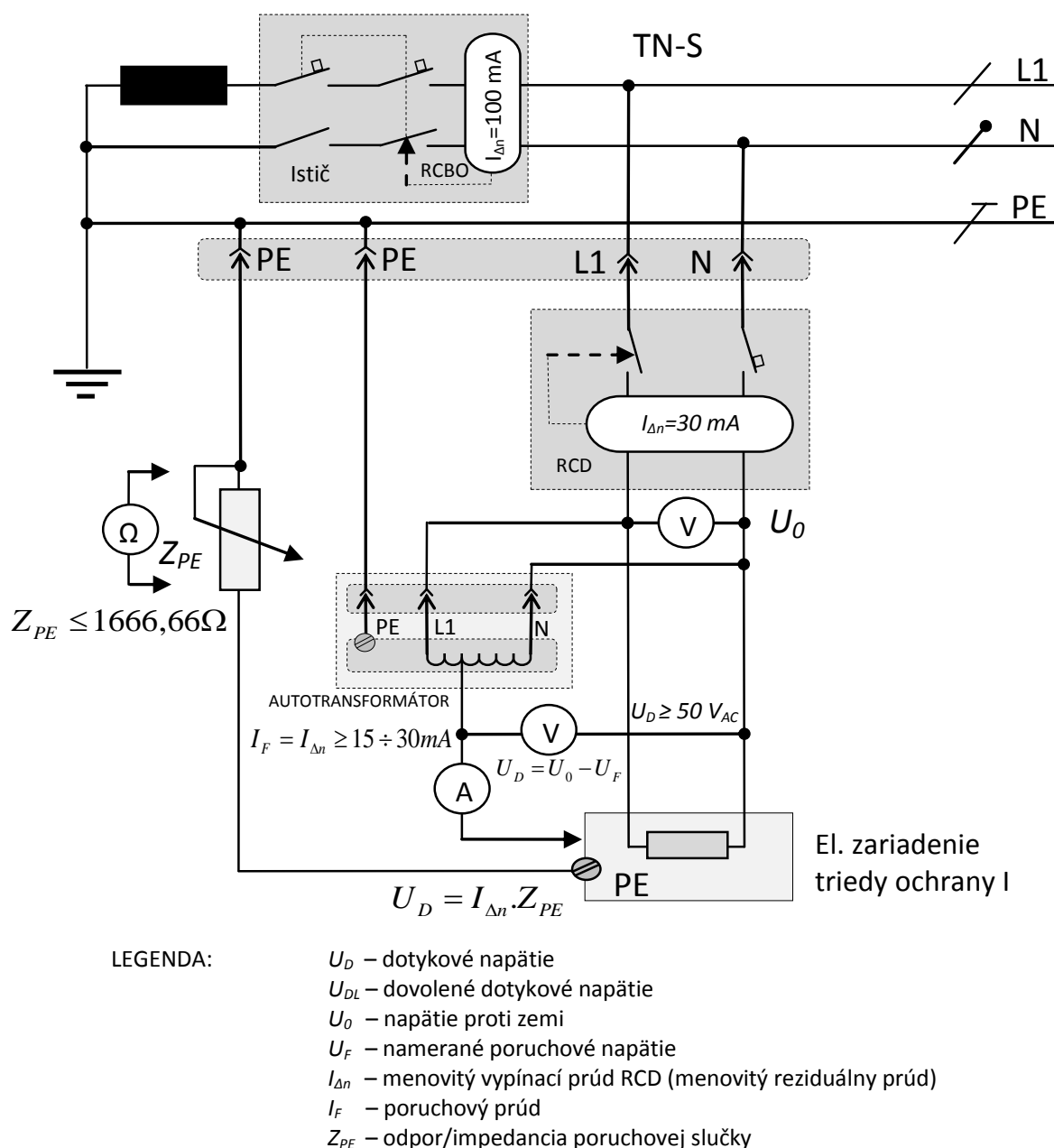
$$R_E = \frac{U_L}{I_{Celk.}} = R_E + \frac{1}{\frac{1}{R_T} + \frac{1}{R_{T1}} + \frac{1}{R_{T2}}} \quad [\Omega];$$

Keď majú pomocné uzemňovacie elektródy v poľných podmienkach odpor cca **450  $\Omega$**  potom hodnota odporu uzemnenia/slučky pri meraní na uzemňovacej elektróde  $R_E$  pri takto stanovených hodnotách je:

$$R_E = 420 + \frac{1}{\frac{1}{450} + \frac{1}{350} + \frac{1}{250}} = 420 + 110,14 = 530,14 \Omega \quad (\text{viď obr. 10})$$

Čím je viac paralelných spätých ciest tým je menší odpor spätnej slučky a tým je presnejší výsledok merania, ktorý sa viac približuje k metóde merania uzemnenia pomocou merania úbytku napätia. Pre techniku je dôležité, aby porozumel obmedzeniam uvedenej metódy merania odporu uzemnenia/uzemňovacej slučky, aby nesprávnym použitím kliešťového meracieho prístroja nedošlo k nesprávnej alebo zavádzajúcej interpretácii výsledkov merania. V uvedenom príklade je funkcia prúdového chrániča s rozdielovým vypínacím prúdom  $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$  v poľných podmienkach zabezpečená, lebo odpor uzemnenia neprekročí hodnotu  $1666,66 \Omega$ . **Kliešťový merač** nie je možné používať pri samostatných (izolovaných) uzemňovačoch, tam kde neexistuje spätná cesta, resp. slučka. Všeobecne pri meraní odporu uzemnenia platí pravidlo (napr. ak je niektorá časť uzemňovacieho systému ovplyvňovaná uzemňovacou elektródou, ktorej odpor uzemnenia chceme odmerať – obr. 9), výsledná hodnota merania môže byť menšia, ako skutočná hodnota odporu uzemnenia. Pri malej hodnote odporu spätnej slučky sa odčítané hodnoty približujú k výsledkom získaným pri meraní metódou merania úbytku napätia na samostatnom zemnom spojení. Vysoká hodnota odporu spätnej slučky znamená väčšiu nameranú hodnotu odporu uzemnenia. [11]

## 4.3 Overenie funkcie prúdového chrániča (RCBO) v laboratórnych podmienkach meraní



Obr. 11 Kontrola funkcie RCD v laboratórnych podmienkach so zmenou impedancie slučky a dovoleného dotykového napätia v systéme TN-S

Pri kontrole prúdového chrániča (RCD) meraní musia byť splnené dve podmienky z hľadiska jeho vypnutia pri vyvolanej poruche:

1. Prúdový chránič (RCD) musí vždy vypnúť v rozsahu  $50 \div 100 \%$  menovitej hodnoty rozdielového vypínacieho prúdu  $I_{\Delta n}$ .
2. Nie je prekročená hranica trvalého dotykového napätia  $U_{DL}$  odporúčaná pre dané zariadenie (50/25 V) AC.

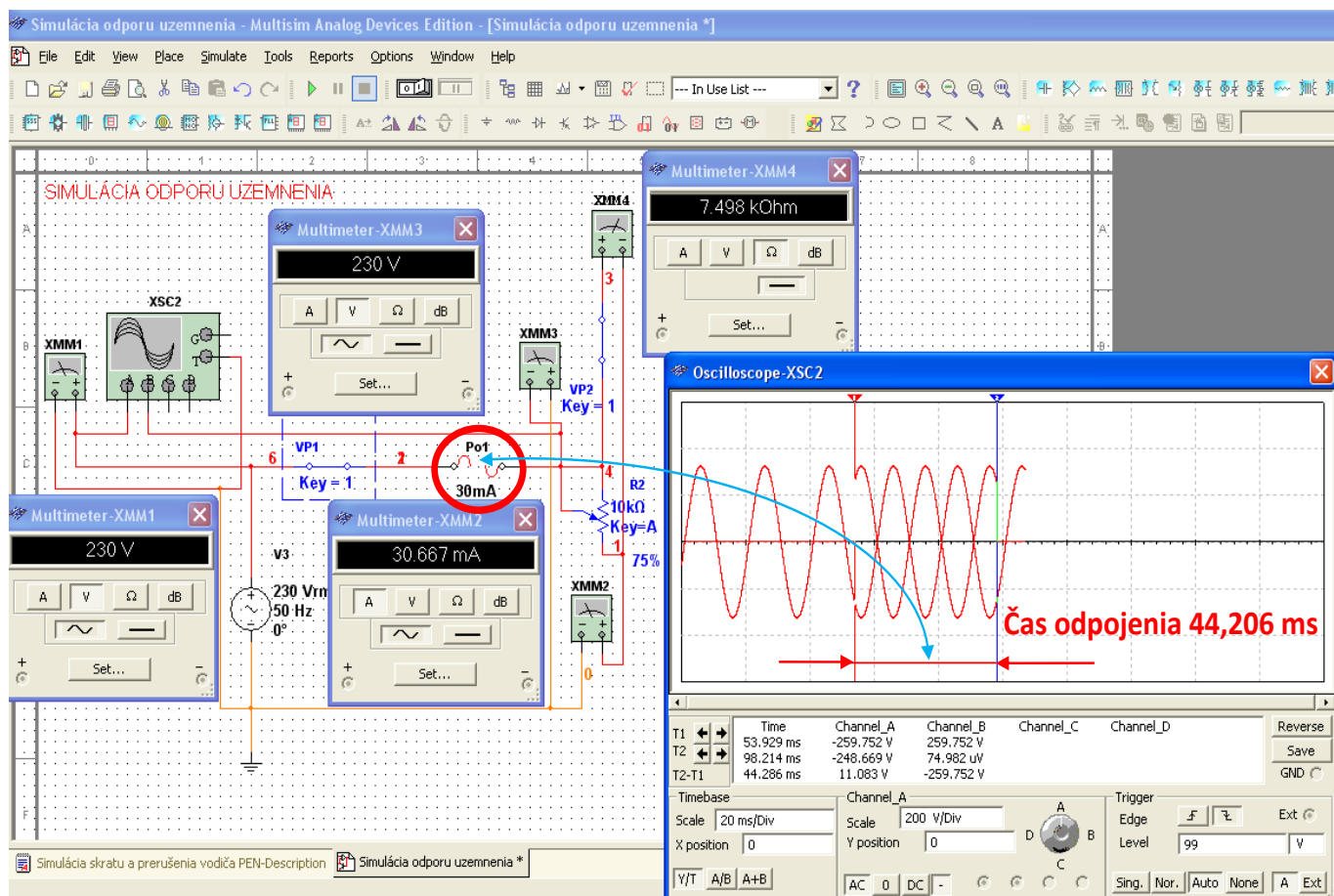
Pre rýchle odpojenie pri poruche je **dôležitý čas odpojenia RCD**. Napr. pri citlivosti chrániča s rozdielovým vypínacím prúdom  $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ , by nebolo kritické, keby RCD vypol pri 20 mA, 25 mA, alebo napr. pri 99,9 %  $I_{\Delta n}$ , lebo telový prúd (obr. 4) **pri dotyku so živou časťou** je omnoho vyšší (131,4 mA), ako hodnota  $I_{\Delta n}$ . Tento poruchový prúd pri dotyku osoby so živou časťou vzrastie skokom, čo zodpovedá náhlemu výskytu poruchového/rozdielového prúdu i v praxi a overovanie by sa malo pri meraní realizovať tiež definovaným rozdielovým vypínacím prúdom  $I_{\Delta n}$ .

V laboratórnych podmienkach bola overená funkčnosť jednofázového prúdového chrániča s nadprúdovou ochranou typu Moeller PFL6 16/TN/B 003. Podľa schémy zapojenia obr. 11 bolo v testovanom obvode použité napájacie AC napätie  $50 \div 230$  V z autotransformátora TR 2,5, v. č. 117485, 0-380 V/950 VA/50 Hz. Namerané výsledky zodpovedajú teoretickým predpokladom a výpočtom a názornému zobrazeniu pomocou programu MULTISIM.

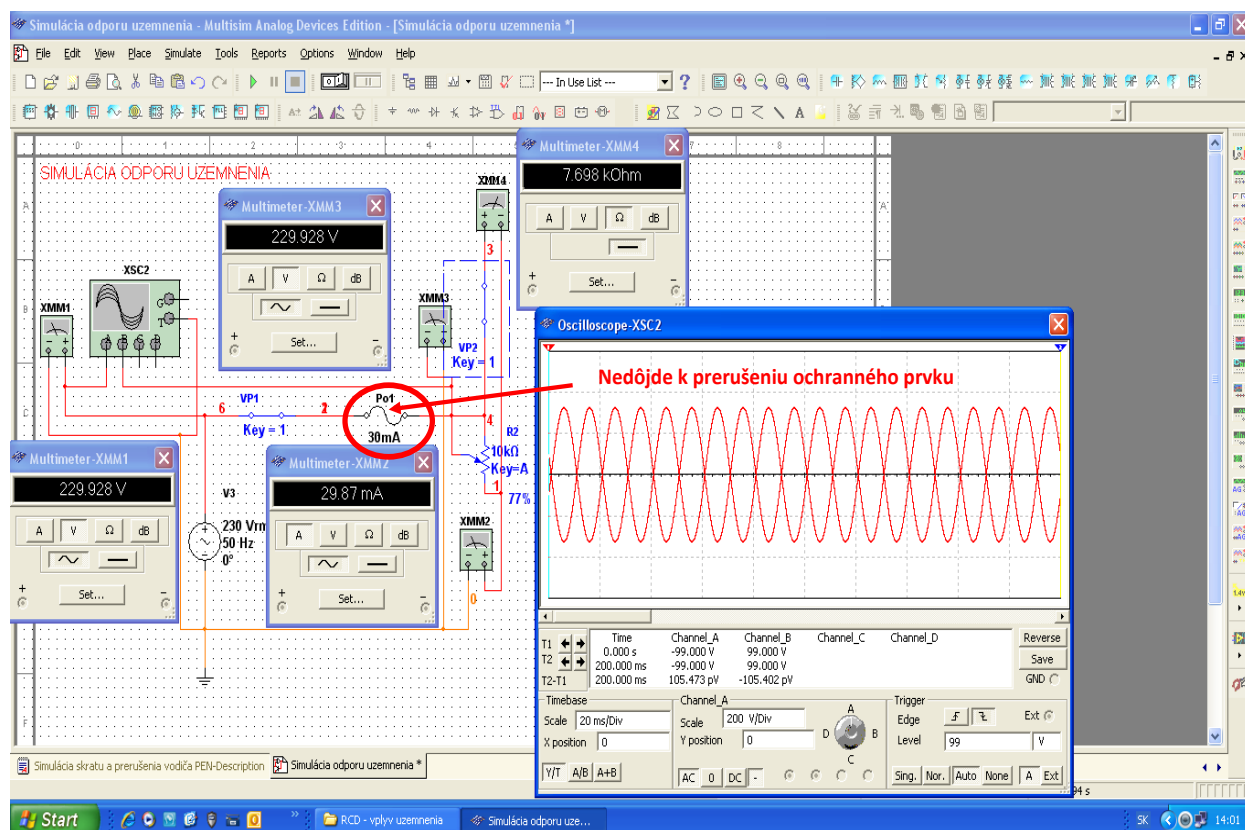
Vypnutie testovaného RCD zodpovedá STN ( $\leq 200$  ms). Testovací impulz nebol ošetrovaný. Skúšanie bolo realizované mechanicky – priložením vodiča s dotykovým napätím  $U_d = 50$  V a 230 V. Boli vytvorené podmienky zodpovedajúce praxi v poľných podmienkach/v teréne, ktoré môžu vzniknúť pri práci na elektrických zariadeniach v mobilných prostriedkoch.

Tab. 4 Tabuľka nameraných hodnôt – kontrola funkcie RCD v sieti TN-S

Dotykové napätie $U_d$ AC [V]	Vypínací prúd $I_{\Delta n}$ AC [mA]	Odpor uzemnenia $R_2$ /slučka $Z_s$ [ $\Omega$ ]	Stav prúdového chrániča V/N
$\geq 50$	$\geq 15 \div 30$	$\leq 3,333$ k	VYPNUTÝ
	$> 15 \div 30$	$> 3,333$ k	NEVYPNE
$\geq 230$	$\geq 15 \div 30$	$\leq 15,333$ k	VYPNUTÝ
	$> 15 \div 30$	$> 15,333$ k	NEVYPNE

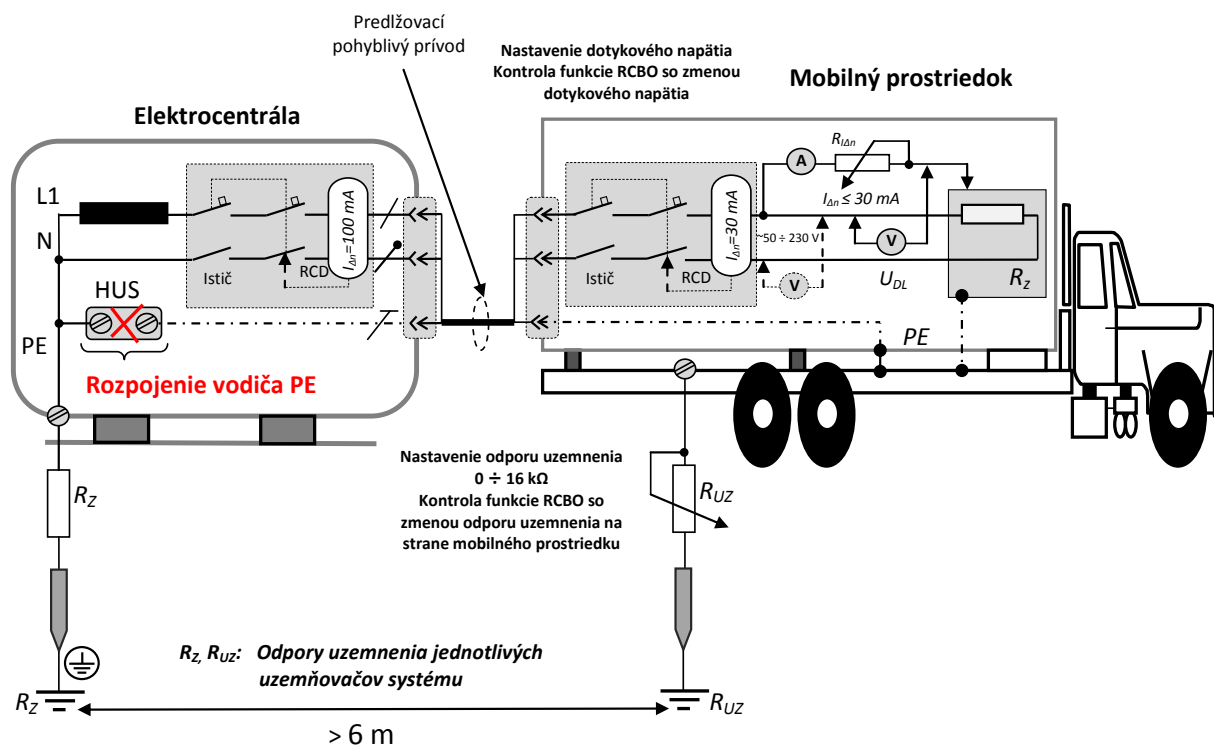


Obr. 12 Kontrola funkcie RCD pomocou programu MULTISIM so zmenou uzemnenia/impedancie slučky ( $\leq 7,666$  k $\Omega$  pri testovacom  $U_d = 230$  V AC) v systéme TN-S, za takto stanovených podmienok **je vždy zabezpečené vypnutie** prúdového chrániča

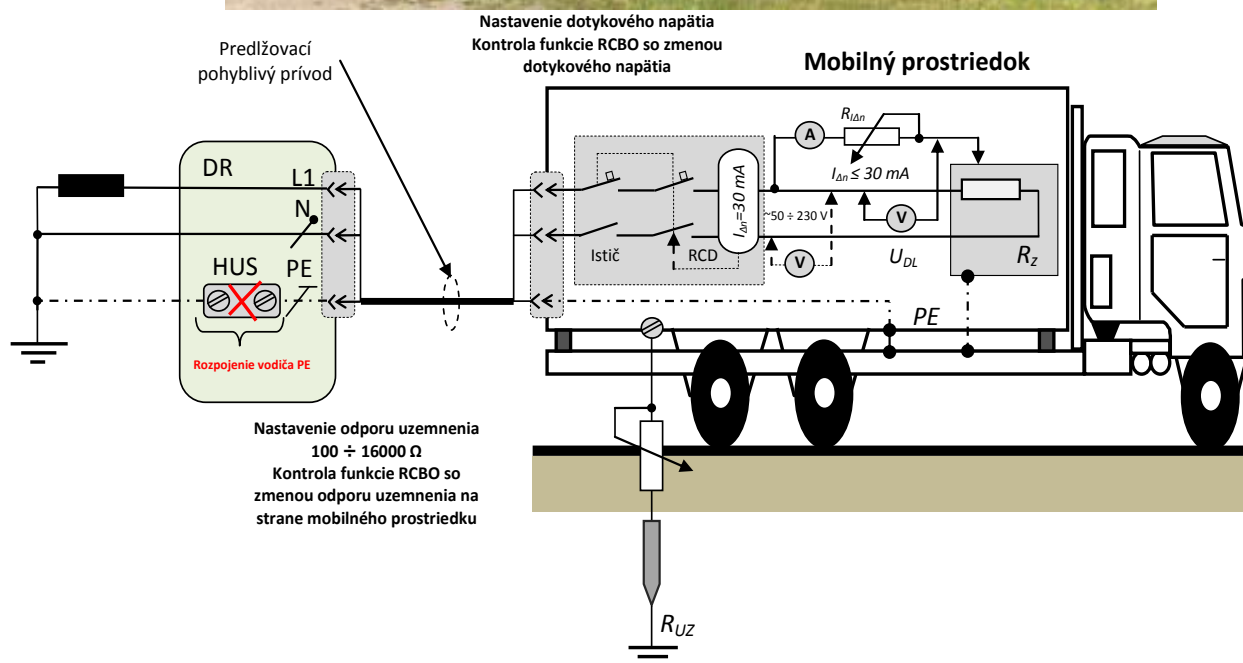


Obr. 13 Kontrola funkcie RCD pomocou programu MULTISIM so zmenou uzemnenia/impedancie slučky ( $\geq 7,666 \text{ k}\Omega$  pri testovacom  $U_d = 230 \text{ V AC}$ ) v systéme TN-S, za takto stanovených podmienok prúdový chránič **nevypne**

#### 4.4 Vplyv odporu uzemnenia na funkciu prúdového chrániča (RCBO) v poľných podmienkach



Obr. 14 Kontrola funkcie RCBO v poľných podmienkach so zmenou odporu uzemnenia/dotykového napätia meraním v systéme TT – odporúčané podmienky



Obr. 15 Kontrola funkcie RCBO v poľných podmienkach so zmenou odporu uzemnenia/dotykového napätia meraním v systéme TT – realizované zapojenie na koľosovom mobilnom prostriedku VŠRV

Dňa 8. 7. 2014 bolo v priestoroch Základne mobilných KIS Ružomberok (autopark plocha cca 50 x 40 m, kamenisto piesková pôda, sucho, teplota cca 25°C) vykonané praktické meranie funkcie prúdového chrániča RCD a meranie hodnoty uzemnenia. Mobilný koľosový prostriedok bol napájaný zo siete TN-S – z doplnkového rozvádzača (DR) v priestore Autoparku. Testovaný bol RCD typ Schrack BCF 6-25/2/003.

**1. meranie** bolo vykonané priamo na sieti TN-S (napájanie koľosového mobilného prostriedku bolo pomocou predĺžovacieho pohyblivého prívodu - PPP z DR). Koľosový mobilný prostriedok bol samostatne uzemnený a napájaný zo siete TN-S z DR, celková hodnota uzemnenia predstavovala 0,44 Ω. Po odpojení vodiča PE v PPP, pri uzemnení vozidla (sieť TT) hodnota uzemnenia bola 278 Ω. Za týchto podmienok RCD vždy vypol – plnil ochranu pred zásahom elektrickým prúdom.

**2. meranie** bolo vykonané za podmienky odpojenia ochranného vodiča PE od uzemňovacej elektródy koľosového mobilného prostriedku, PE vodič bol položený na zemi/nebol položený na zemi hodnota uzemnenia vozidla (merané na PE svorke vozidla) dosahovala 1,071 kΩ. Táto hodnota postačovala (teoreticky až do 3,333 kΩ) k odpojeniu napájania pomocou RCD - vypol. Z uvedeného merania vyplýva, že pneumatiky boli čiastočne vodivého charakteru, v opačnom prípade by nemohlo dôjsť k vypnutiu RCD (obr. 14, 15). RCD vypol pri skúšobnom postupnom nábehovom prúde 24 mA za čas 29 ms pri oboch meraniach. RCD obdobne vypol aj pomocou skúšobného 200 ms pravouhlého impulzu MP BEHA UNITEST SI - tester.

**3. meranie** bolo vykonané na kontajnery – mobilný prostriedok elektrický (MSU – V 1027). Meranie bolo vykonané priamo na sieti TN-S (napájanie mobilného prostriedku - kontajnera bolo pomocou PPP z DR).



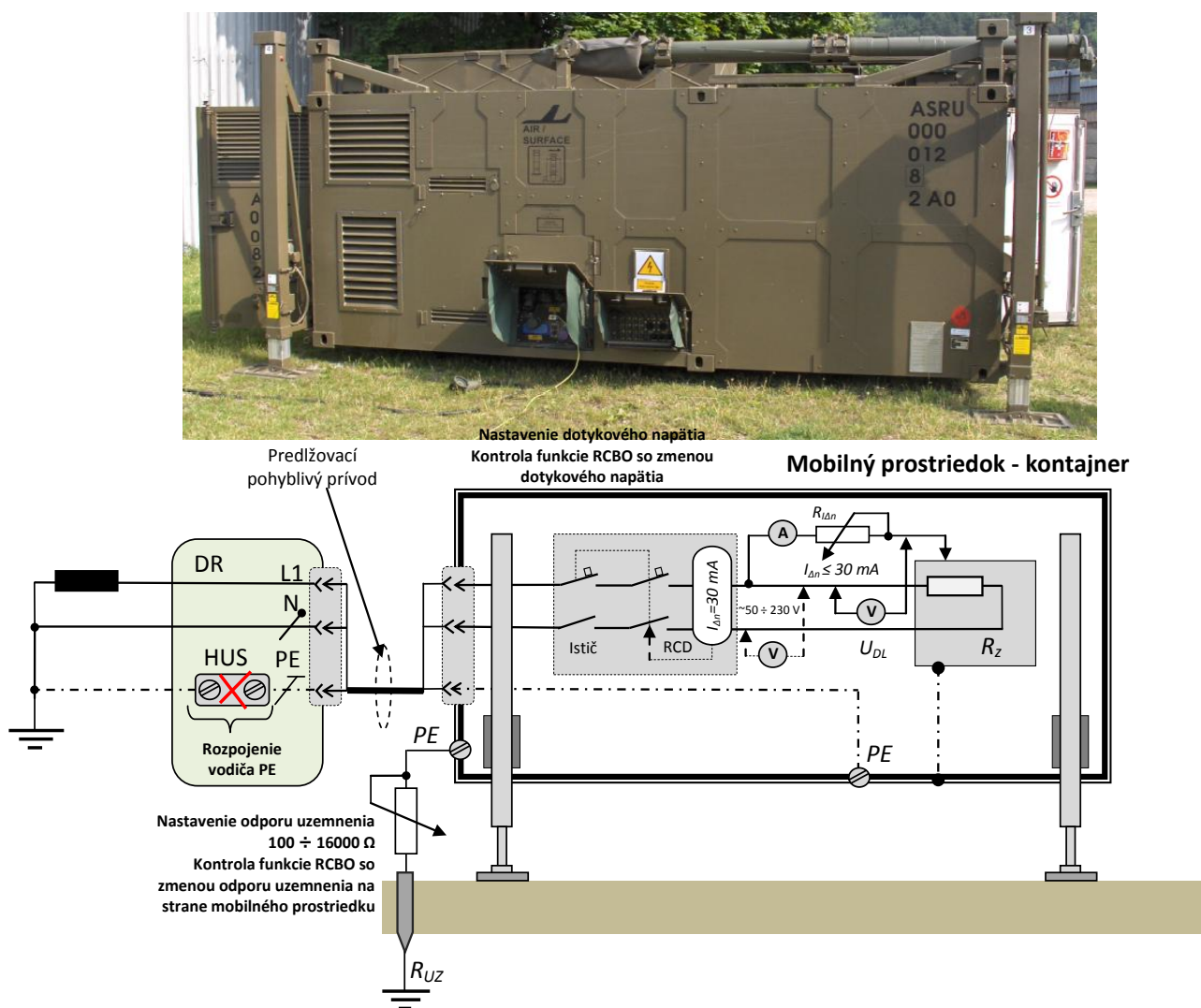
Kontajner bol samostatne uzemnený a napájaný zo siete TN-S z DR, celková hodnota uzemnenia predstavovala  $0,35 \Omega$ . Po odpojení vodiča PE v PPP, pri uzemnení vozidla (sieť TT) hodnota uzemnenia bola  $83,6 \Omega$ . Za týchto podmienok RCD vždy vypol – plnil ochranu pred zásahom elektrickým prúdom.

**4. meranie** bolo vykonané za podmienky odpojenia ochranného vodiča PE od uzemňovacej elektródy mobilného prostriedku - kontajnera, PE vodič bol položený na zemi/nebol položený na zemi hodnota uzemnenia vozidla (merané na PE svorke vozidla) dosahovala  $260 \Omega$ . Hodnota odporu uzemnenia uzemňovacej elektródy keď bol kontajner odizolovaný od zeme (podpery boli na izolačných podložkách) bola  $123,1 \Omega$ . Táto hodnota postačovala (teoreticky až do  $3,333 \text{ k}\Omega$ ) k odpojeniu napájania pomocou RCD - vypol. RCD vypol pri skúšobnom postupnom nábehovom prúde  $24 \text{ mA}$  za čas  $28 \text{ ms}$  pri obidvoch meraniach. RCD obdobne vypol aj pomocou skúšobného  $200 \text{ ms}$  pravouhlého impulzu MP BEHA UNITEST SI - tester.

Ak bol celý kontajner položený na štyroch izolovaných podložkách a odpor medzi svorkou PE na kontajnery a uzemňovacou elektródou/uzemňovačom bol väčší, ako  $4,7 \text{ k}\Omega$  prúdový chránič nevypol. Z uvedeného merania vyplýva, že na základe teoretických poznatkov a z výsledkov merania prúdový chránič **vypne vždy** až do hodnoty uzemnenia  $3,333 \text{ k}\Omega$ .

Meranie bolo vykonané pomocou MP:

- Metrel EUROTTEST 61557 v. č. 8170181 kalibrovaný 7. 3. 2013;
- Metrel MI 2088 v. č. 08122085 kalibrovaný 7. 3. 2013.



Obr. 16 Kontrola funkcie RCBO v poľných podmienkach so zmenou odporu uzemnenia/dotykového napätia meraním v systéme TT  
(realizované zapojenie na mobilnom prostriedku – kontajner V 1027 – MSU)



## ZÁVER

Z nameraných hodnôt uzemnenia pre potreby funkcie doplnkovej ochrany – prúdového chrániča je vidieť, že prúdových chránič **vypne vždy** do hodnoty odporu uzemnenia 3,333 k $\Omega$ . Uvedená hodnota uzemnenia dáva istotu, že doplnková ochrana RCD, ktorá je zabudovaná na vstupe zdrojových častí na mobilnej technike pri dodržaní všetkých technických opatrení pri zriaďovaní techniky v poľných podmienkach je funkčná a plní ochranu pred zásahom elektrickým prúdom a pred vznikom požiaru. Mobilnú techniku je potrebné **vždy uzemniť** aj napriek tomu, že hodnota odporu uzemnenia môže v niektorých prípadoch pre potreby ochrany pred zásahom elektrickým prúdom dosahovať jednotky k $\Omega$ . V poľných podmienkach za použitia uzemňovacích elektród/uzemňovačov v danej technike je potrebné dosiahnuť čo najmenšiu hodnotu uzemnenia. Uzemnenie, jeho čo najnižšia hodnota zabezpečí nielen funkciu doplnkovej ochrany – RCD, ale aj ochranu pred elektrostatickým nábojom a ochranu pred nežiaducim prepätím/pred bleskom, čo v súčasnosti pri používaní drahých elektronických zariadení nie je zanedbateľné.

## LITERATÚRA

- [01] HUNA, R. – STAROŇOVÁ, J.: Revízie elektrických zariadení do 1000 V<sub>AC</sub> a 1500 V<sub>DC</sub> (mobilné prostriedky elektrické/elektrické ručné náradie a spotrebiče). Pobočka SES Liptovský Mikuláš, 2013, ISBN 978-80-89456-09-3.
- [02] HUNA, R. - STAROŇOVÁ, J.: Ochrana pred zásahom elektrickým prúdom na elektrických inštaláciách a pri obsluhu elektrických zariadení do 1000 V<sub>AC</sub> a 1500 V<sub>DC</sub>. Pobočka SES Liptovský Mikuláš, 2011, ISBN 978-80-89456-05-5.
- [03] STN 33 2000-6: 2007 Elektrické inštalácie nízkeho napätia Časť 6: Revízia.
- [04] STN EN 62 305-4: 2013 Ochrana pred bleskom Časť 4: Elektrické a elektronické systémy v stavbách.
- [05] STN 33 2000-7-717: 2010 Elektrické inštalácie nízkeho napätia Časť 7-717: Požiadavky na osobitné inštalácie alebo priestory. Mobilné alebo prepravné jednotky.
- [06] STN 33 2000-4-41: 2007 Elektrické inštalácie nízkeho napätia časť 4-41: Zaistenie bezpečnosti Ochrana pred zásahom elektrickým prúdom.
- [07] STN 33 2000-5-54: 2012 Elektrické inštalácie nízkeho napätia Časť 5-54: Výber a stavba elektrických zariadení Uzemňovacie sústavy a ochranné vodiče.
- [08] BOJNA, I.: Zóny odporu uzemňovačov a ich vplyv na uzemnenie. Zborník prednášok z 38. konferencie elektrotechnikov z 21. - 23. 3. 2013, str. 1-14. SEZ – KEZ Bratislava 2013.
- [09] HUNA, R. – STAROŇOVÁ, J.: Odborné prehliadky a odborné skúšky/revízie mobilných prostriedkov elektrických. Zborník prednášok z odborného seminára z 23. 2. 2012, str. 29-61. Pobočka SES Liptovský Mikuláš, 2012, ISBN 978-80-89456-06-2.
- [10] Firemná dokumentácia firmy Megger. Praktický sprievodca merania odporu uzemnenia. 2010, 1-866-254-0962, str. 1-77.
- [11] KOUPY, L.: Firemná dokumentace firmy Illko, s.r.o. Měření zemních odporů. 2012, str.1-10.
- [12] HUNA, R. – STAROŇOVÁ, J. – MACALÁK, P.: Meranie uzemnenia (stacionárne objekty/mobilné prostriedky). Pobočka SES Liptovský Mikuláš, ISBN 978-80-89456-6-1, 2014.

