

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra obecné elektrotechniky

# **BLUDNÉ PROUDY**

1. ÚVOD
2. ZEMNÍ PROUDOVÁ POLE
3. ELEKTROCHEMICKÉ KOROZE BLUDNÝMI PROUDY
4. MOŽNOSTI OMEZENÍ VZNIKU BLUDNÝCH PROUDŮ
5. MĚŘENÍ A KLASIFIKACE ZEMNÍCH PROUDOVÝCH POLÍ
6. ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY OCHRANY ÚLOŽNÝCH ZAŘÍZENÍ

## 1. ÚVOD

Koroze kovových materiálů představuje velký problém nejen z hlediska technického, ale i ekonomického. Existuje mnoho odhadů na velikost ztrát způsobených korozi. I když se tyto odhady liší, jejich společným jmenovatelem je, že ztráty jdou do miliardových hodnot. Z mnoha druhů koroze se budeme zabývat elektrochemickou korozi bludnými proudy, která je velmi úzce spojena s provozem elektrizovaných drah.

Česká republika patří mezi země s nejvyšší hustotou železničních tratí, které se pro zvýšení propustnosti elektrizovaly. Vzhledem k tomu, že pro trakci se jako velmi výhodný jevil stejnosměrný sériový motor, stejnosměrná lokomotiva byla nejjednodušší s dobrými trakčními vlastnostmi a výkonová polovodičová technika v začátcích elektrizace ČD prakticky neexistovala, začalo se elektrizovat stejnosměrným trakčním proudovým systémem 3 kV. První trať elektrizovaná stejnosměrným systémem 3 kV, Praha - Česká Třebová, byla dána do provozu v roce 1955. Tímto systémem pokračovala elektrizace železnic i nadále a tak mají v současné době ČD v provozu 1621 km stejnosměrných tratí 3 kV. S rozvojem výkonové elektroniky a tlakem průmyslu přistoupily ČD začátkem 60. let k zahájení elektrizace druhým trakčním proudovým systémem 25 kV, 50 Hz. Tím je dnes elektrizováno 1086 km tratí. Kromě těchto systémů mají ČD elektrizováno 46 km tratí stejnosměrným trakčním proudovým systémem 1500 V. Elektrizace stejnosměrnými trakčními proudovými soustavami, ke kterým musíme ještě připočítat tramvajové tratě městské hromadné dopravy elektrizované napětím 600 V a metro v Praze elektrizované napětím 750 V, je spojena s problémem elektrochemické koroze bludnými proudy.

Úkolem všech zainteresovaných na tomto problému je hledání optimálního řešení k zamezení ztrát. Z pohledu ČD je to především vhodnými technickými a organizačními opatřeními minimalizovat vytváření stejnosměrných proudových polí, což znamená minimalizovat únik stejnosměrných proudů z kolejnic do země. Z pohledu uživatelů úložných kovových zařízení přijmout taková technicko - ekonomická opatření, která budou účinky bludných proudů na kovová úložná zařízení minimalizovat nebo úplně eliminovat. To znamená u nových zařízení v maximální možné míře nahrazovat kovy plasty a tam, kde to není možné, používat dokonalé izolace. U stávajících zařízení do doby rekonstrukce využívat aktivní ochrany a tím poruchy způsobené korozi minimalizovat.

Kromě umělých zemních proudových polí, které mají svůj původ v činnosti člověka, se v přírodě vyskytují ještě přirozená zemní proudová pole, jejichž výskyt je na činnosti člověka nezávislý a která také do určité míry kovová úložná zařízení ovlivňují.

## 2. ZEMNÍ PROUDOVÁ POLE

### 2.1 Přirozená zemní proudová pole

Elektrické pole v Zemi je výsledkem skládání regionálních elektrických polí (elektrotelurické pole), zabírající celý povrch Země či jeho podstatné části a lokálních elektrických polí, která se rozprostírají na poměrně malém úseku zemského povrchu. Důsledkem regionálních elektrických polí jsou elektrické proudy v Zemi.

V půdě se tedy setkáváme s přirozenými proudy, které nazýváme zemskými nebo také telurickými proudy. Tyto zemské proudy vznikají samovolně elektrochemickou aktivitou hornin (např. ložiska kovových rud, grafitu, pyritu, kamenného uhlí). Jedná se o

galvanické články vzniklé oxidací ložisek kovových rud. Tyto proudy jsou slabé a jejich šíření zřídka překračuje několik stovek metrů. Intenzita elektrického pole těchto článků může být  $10 \text{ mV.m}^{-1}$ , což představuje v půdě o měrném odporu  $100 \text{ } \Omega\text{.m}$  proudovou hustotu  $0,1 \text{ mA.m}^{-2}$ .

Významnější proudy jsou způsobeny indukčními jevy v zemském magnetickém poli. Magnetické pole Země se tvarem podobá magnetickému poli homogenně zmagnetizované koule, jejíž osa svírá s osou Země  $11,5^\circ$ . Magnetické pole Země je v každém bodě charakterizováno velikostí a směrem totálního vektoru magnetické intenzity. Podle původu můžeme magnetické pole Země rozdělit na *vnitřní (permanentní) geomagnetické pole*, které podléhá pomalým změnám – sekulární variace (dlouhodobé změny magnetického pole, které jsou pravděpodobně způsobeny hydrodynamickými pohyby v zemském nitru) a jehož příčiny leží uvnitř zemského tělesa a na *vnější (proměnné) geomagnetické pole* (pulsace, zálivové poruchy, bouře) kvantitativně několik málo procent velikosti permanentního pole, jehož příčiny jsou vně zemského tělesa (elektrické proudy ve vysokých vrstvách atmosféry a dále).

## 2.2 Umělá zemní proudová pole

Vznik umělých zemních proudových polí je úzce svázán se vznikem bludných proudů. Bludnými proudy nazýváme proudy, které se dostanou do půdy vlivem nedostatečně od země izolovaného vodiče nebo ze zařízení, které užívá zem jako zpětný vodič. Tyto proudy vytvářejí zemní proudová pole, která z hlediska vzniku elektrochemické koroze úložných zařízení nejnebezpečnější. Stejnoseměrné proudy tečou cestou nejmenšího odporu a podle vodivosti zeminy se rozšiřují do velkých vzdáleností (řádově stovky metrů až kilometry) od vedení, kterým by měly téci. Čím menší je vodivost půdy, tím větší teritorium zasahují a naopak, při dobré vodivosti půdy je jejich rozptyl menší. Název bludné proudy dostaly proto, že jejich tok není možné přesněji stanovit. U zařízení střídavého proudu je situace poněkud odlišná. Zde existuje elektromagnetická vazba mezi vrchním vedením (nadzemním vedením) a proudy tekoucími zemí, to znamená, že proud v zemi přibližně kopíruje trasu nadzemního vedení. I pro tyto proudy se ovšem v literatuře užívá termín střídavé bludné proudy.

Nejčastějšími zdroji stejnosměrných bludných proudů jsou

- Stejnoseměrně elektrizované železnice, městské dráhy, důlní dráhy, metro, využívající jako zpětných vodičů pro trakční proud kolejnic, které jsou nedostatečně izolované od země (zvláště tam, kde přechodový odpor mezi kolejí a zemí je menší než předepsaný  $r_p = 0,5 \text{ } \Omega\text{.km}$ ).
- Stejnoseměrné rozvody v průmyslových podnicích, kde se pracuje s elektrickými svářecími agregáty.
- Zařízení na aktivní ochranu proti korozi (zdroje vnějšího ss proudu katodické ochrany, elektrické drenáže a saturáže – jde o interferenční proudy pro podzemní zařízení nepřipojená na společnou ochranu). I z tohoto důvodu je nutné projektovat aktivní ochranu komplexně, tedy pro všechna úložná zařízení v dané oblasti společně.

### 3. ELEKTROCHEMICKÁ KOROZE BLUDNÝMI PROUDY

Vezmeme-li v úvahu síť našich tratí, které jsou elektrizované stejnosměrnou trakční proudovou soustavou, můžeme říci, že tato síť je na území, které zasahuje téměř do poloviny naší republiky (nesmíme zapomenout na tramvaje a metro). Je-li kovové zařízení uložené v zemi a nachází se v proudovém poli a není účinně chráněno, dochází k elektrochemické korozi. Intenzita koroze se zpravidla snižuje se vzdáleností od zdrojů proudových polí.

V současnosti se napájecí systémy kolejových drah ustálily na jednovodičovém (tvořeném trolejovým nadzemním vedením, v menším měřítku izolovanou kolejnicí) přívodu elektrického proudu z trakčních napájecích stanic do hnacích vozidel a jeho odvodu jízdnicemi zpět. Toto zásadní uspořádání (i když s menšími modifikacemi především u vysokorychlostních tratí) dnes užívají prakticky všechny elektrické dráhy.

Jmenovitá napětí stejnosměrných soustav jsou:

250 V pro důlní dráhy hlubinných dolů,

600 V pro pouliční dráhy tramvajové a trolejbusové,

750 V pro rychlé městské dráhy, trolejbusové dráhy a podzemní dráhy,

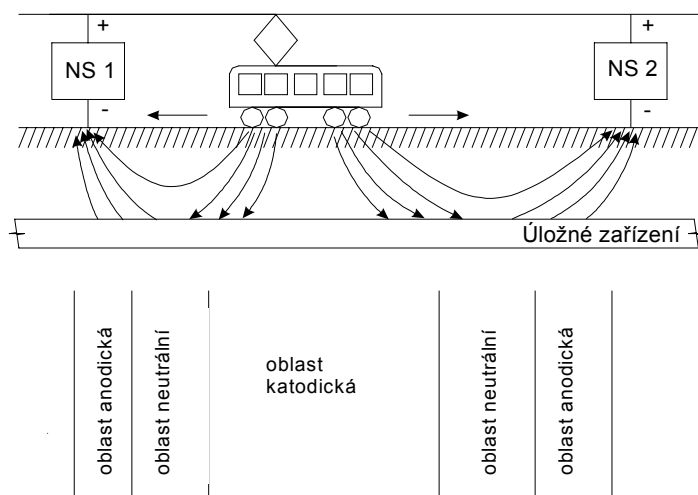
1 500 V pro hlavní a vedlejší železniční tratě a pro dráhy povrchových lomů ,

3 000 V pro hlavní železniční tratě.

U tratí ČD je kladný potenciál stejnosměrného proudu přiveden na trolejový drát a záporný potenciál je přiveden na kolej. Přes trolej, sběrač a lokomotivu se stejnosměrný proud uzavírá a prostřednictvím kolejí se vrací zpět do napájecí stanice. Avšak izolace kolejnic od půdy je nedokonalá, neboť kolejnice jsou uloženy na pražcích a šterkovém loži. Zde je ovšem potřebné připomenout, že tato nedokonalost je ale zároveň nutností, neboť zamezuje vytvoření, průtokem proudu kolejnicí, příliš vysokého spádu napětí mezi kolejnicí a zemí, což by mohlo být pro uživatele (cestující) nebezpečné. Část zpětného proudu vniká do země a dosahuje poměrně velkých hodnot. Podle čistoty šterkového lože a vzdálenosti paty kolejnice od kolejového lože, činí tato část 15÷60 % celkového proudu. Při výkonu trakčních měření 5 až 10 MW a při napětí 3 kV dosahují proudy v trakčním vedení 1 500 až 3 000 A. Část zpětného proudu, která vniká do země, dosahuje hodnot 500 až 2 000 A.

Rozdělení proudu mezi kolejnice a zem se řídí Kirchhoffovými zákony. Při značných délkách kolejnic (při jednostranném napájení až 20 km) více či méně vodivě spojených se zemí může trakční proud vyvolat velký úbytek napětí odporem kolejí, který vůči úbytku na odporu přechodu kolej – země není zanedbatelný. Půda vytváří kolejím bočník, kterým teče proud daný Kirchhoffovými zákony. Jestliže jsou v zemi uloženy rozměrnější vodivé předměty mohou vzhledem ke své dobré podélné elektrické vodivosti shromažďovat bludné proudy z okolí a vést je do značně vzdálených míst, i když nejsou přímo spojené s kolejemi. Těmito elektricky vodivými předměty mohou být kromě kovových potrubí a kovových plášťů kabelů, ale také souvislé zdroje podzemní vody. Tyto vodivé předměty spolu s kolejemi vytváří celé sítě, které se navzájem kříží a vytvářejí velký počet spojení mezi sítěmi a zemí. Elektrický proud, který se má vracet do měřicí koleje se vrací kolejemi, půdou a podzemním vedením. Na jeho cestě k měřicí koleji může vzniknout velké množství katodických a hlavně anodických oblastí.

Na obr. 1 je schematicky znázorněn přechod proudu z kolejnice do země a do úložného zařízení. Stejnsměrný proud tekoucí zemí se uzavírá cestou nejmenšího odporu a prochází půdami s malými měrnými odpory. Jestliže se v půdě nachází nedokonale izolované kovové zařízení (potrubí, kabel, nádrž apod.), je proud tímto zařízením veden a vystupuje v blízkosti napájecí stanice (NS) do země.



Obr. 1 Schéma obvodu trakčního proudu u stejnosměrné trakční proudové soustavy

Na kovových úložných zařízeních se vytvářejí tři potenciálové oblasti:

- *Katodická oblast* je v místech, kde proud vstupuje z okolní půdy do úložného zařízení; z hlediska elektrochemické koroze není tato oblast nebezpečná, ale vlivem vzniku vodíku na anodě dochází ke křehnutí materiálu a tím ke zmenšení jeho pevnosti (zvláště nebezpečné u plynovodů).
- *Neutrální oblast* je v místech, kde bludné proudy jen protékají úložným zařízením; tato oblast také není ohrožena elektrochemickou korozí.
- *Anodická oblast* je v místech, kde bludné proudy vystupují z úložného zařízení; tato oblast je z hlediska elektrochemické koroze velmi nebezpečná a je nejvíce sledována měřením. V této oblasti dochází k elektrolytickému rozpouštění kovů, které se projevuje bodovým proděravěním kovu, přičemž v místě poruchy je kov čistý, bez rzi. Množství vyloučeného kovu je dáno Faradayovým zákonem.

Stejnsměrné napájení může být provedeno dvěma způsoby. První způsob, který je výše uveden a je nejvíce rozšířen má na troleji kladné napětí (takto jsou napájeny tratě ČD). Druhý možný způsob je takový, který má na troleji záporné napětí (jedná se o městskou dopravu např. v Ostravě, Brně aj.). U druhého způsobu napájení, kdy kolej má kladné napětí je anodické pásmo proměnlivé podle pohybu elektrické lokomotivy. Největší hodnota anodického potenciálu bude tam, kde se právě nachází elektrická lokomotiva.

#### 4. MOŽNOSTI OMEZENÍ VZNIKU BLUDNÝCH PROUDŮ

Ke snížení úniku proudu z elektrizovaných železničních tratí, tramvajových tratí a tratí metra je možné provést několik opatření:

- Zvýšení přechodového odporu mezi kolejemi a zemí.  
Kolejové lože a pražce na elektrizovaných tratích nesmějí být elektricky vodivé. Nevodivé pražce jsou pražce izolované od upevnění kolejnic nebo impregnované dřevěné pražce. Nevodivé kolejové lože je lože šterkové. Přechodový odpor mezi kolejí a zemí musí být nejméně 0,5  $\Omega$ .km, (u tramvajových tratí musí být přechodový odpor nejméně 0,2  $\Omega$ .km). Kolejové lože musí být čisté a propustné. Těleso dráhy musí být dobře odvodněno. Jsou-li kolejnice na betonových pražcích, musí být elektricky izolovány.
- Zvýšení elektrické vodivosti kolejí.  
Pro zajištění elektrické vodivosti železničních kolejí je nutné kolejnice podélně svařovat nebo opatřit elektrovodivými propojkami. Tam, kde to je možné, zřídit vyrovnávací spojky mezi kolejnicovými pásy jedné koleje a mezi sousedními kolejemi. Zlepšená vodivost kolejí, na nejexponovanějších místech z hlediska bludných proudů, se dosáhne také zvětšením průřezu kolejnic.
- Zajištění předepsané hodnoty izolačního odporu zpětného vedení mezi tratí a měnírnou.  
Pro dodržení předepsané hodnoty je nutné správně dimenzovat zpětné kabely a pravidelně kontrolovat jejich izolační stav. To je důležité zvláště u městských elektrických drah, kde délka zpětných kabelů je podstatně delší, než u tratí ČD. U více kolejných tratí musí být v místě připojení zpětného odváděcího vedení zřízeno příčné spojení mezi kolejemi.
- Minimalizace vzdálenosti napájecích stanic.  
Menší vzdálenost trakčních měníren mezi sebou znamená menší odpor trakčního obvodu a tím i menší únik proudu z kolejnice do země.
- Volba způsobu napájení trakční sítě.  
Z hlediska úniku proudů z kolejnice do země je nejméně výhodné jednostranné napájení. Při něm tečou proudy od hnacího vozidla do měnírny pouze jednou cestou. Dále napájení dvojstranné a čtyřstranné, při nich je proud od hnacího vozidla veden do měnírny dvěma cestami. Nejvýhodnější napájení je čtyřstranné, kdy mohou být vzájemně propojeny sousední koleje, čímž se vodivý průřez kolejí zvětší několikanásobně.
- Provozovat napájecí soustavu s co největším napětím.  
Z hlediska velikosti trakčních proudů je výhodné přenášet požadované výkony s co největším napětím a tím minimalizovat proudy v kolejnicích, což povede i k minimalizaci bludných proudů.

#### 5. MĚŘENÍ A KLASIFIKACE ZEMNÍCH PROUDOVÝCH POLÍ

Všechna kovová úložná zařízení liniová (kovová potrubí a kabely s kovovým pláštěm) nebo zařízení neliniová (kovové konstrukce kratší než 100 m uložená v zemi) musí být chráněna proti korozi. Použitá ochrana těchto zařízení musí odpovídat koroznímu

ohrožení projevující se především agresivitou půdy a bludnými proudy a dále musí ochrana odpovídat nebezpečí vyplývajícího z možného prokorodování zařízení.

Pravděpodobnost korozního ohrožení se zjistí korozním průzkumem. Rozsah korozního průzkumu je dán ekonomickými a ekologickými požadavky. Zejména nutnost předejít korozím kovových produktovodů mohou tento průzkum podstatně rozšířit. Účelem korozního průzkumu je určení fyzikálních, fyzikálně-chemických, chemických, geologických, biologických a dalších upřesňujících údajů, které mají rozhodující vliv na systém budoucí či stávající protikorozní ochrany daného kovového úložného zařízení.

Pro každou oblast, v níž se nachází nebo bude nacházet kovové úložné zařízení je nezbytné zpracovat korozní průzkum. Zpravidla korozní průzkum obsahuje:

- stanovení rezistivity půdy,
- měření proudového pole a přítomnosti bludných proudů v zemi,
- zjištění zdrojů bludných proudů,
- měření na stávajících kovových úložných zařízeních (potrubí, kabely, nelineové potrubí ap.).

Měří se potenciály, proudy tekoucí zařízením, zjišťují se interference a kontroluje se či dokumentuje stav zařízení včetně jeho ochrany.

Na základě výzkumných prací bylo jednoznačně prokázáno, že s rostoucí hustotou stejnosměrného proudového pole v půdě roste též její agresivita.

### 5.1 Měření rezistivity půdy

Rezistivita půdy je základním parametrem hornin při určování jejich korozní agresivity. Nejčastěji dochází ke korozi v půdách s nízkou rezistivitou. Podle rezistivity dělíme půdy do čtyř skupin.

$\rho$ ( $\Omega.m$ )	Agresivita půdy	Stupeň agresivity
nad 100	neagresivní	I
50 až 100	málo agresivní	II
23 až 50	středně agresivní	III
do 23	velmi agresivní	IV

Tab.1 Dělení půdy podle rezistivity

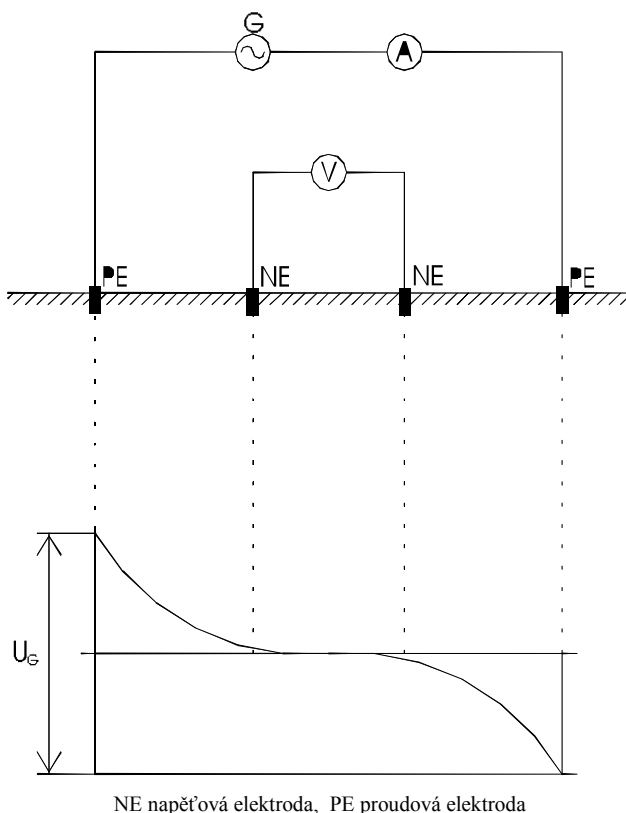
Hodnoty rezistivity půdy jsou závislé na řadě přirozených hydrogeologických faktorů, jako je stupeň nasycení horniny vodou, mineralogické složení, mineralizace vody, teplota a tlak. Aby bylo možné porovnávat naměřené hodnoty z různých ročních období, přepočítávají se naměřené hodnoty na roční průměr dle níže uvedené tabulky nebo podle grafů.

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Součinitel	0,8	0,8	0,9	1	1,3	1,3	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,9

Tab.2 Součinitelé ročních období pro přepočet ročního průměru

Rezistivita látky se určuje jako odpor krychle o hraně 1 m, kladený stejnosměrnému elektrickému proudu ve směru kolmém na stěnu krychle.

Na určení rezistivity půdy bylo vypracováno několik metod, kde nejužívanější metodou je metoda odporového profilování s Wennerovým uspořádáním elektrod. Při tomto uspořádání jsou elektrody zabodnuty do země v jedné přímce s konstantním rozestupem a vzdálenost mezi nimi určuje přibližnou tloušťku měřené vrstvy. Uspořádání elektrod dle následujícího obrázku.



Obr. 2 Princip měření rezistivity půdy metodou odporového profilování s Wennerovým uspořádáním elektrod.

Výpočet rezistivity půdy se provádí podle vzorce:

$$\rho = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot \frac{\Delta U}{I}$$

kde:  $\rho$  je měrný odpor půdy ( $\Omega \cdot m$ )

$\Delta U$  – napětí naměřené mezi napěťovými elektrodami (V)

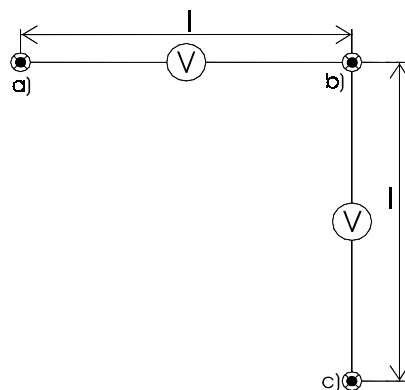
$I$  – proud protékající proudovými elektrodami (A)

$a$  – rozteč mezi elektrodami (m).



## 5.2 Měření intenzity zemního proudového pole

Při tomto měření se zjišťuje směr, smysl, intenzita a proudová hustota zemního proudového pole. Podle velikosti měřené plochy se určí počet měřících míst na kterých se rozmístí nepolarizovatelné elektrody, většinou ve dvou na sebe kolmých směrech obr.3.



Obr.3 Rozmístění nepolarizovatelných elektrod

Rozteč elektrod má být 2,5 až 50 m, nejčastěji se však používá vzdálenost 10 m. Elektrody a) a b) se umísťují většinou rovnoběžně s kolejemi a elektroda c) je umístěna kolmo ke kolejím. Nepolarizovatelné elektrody odstraňují kontaktní potenciál mezi kovovou elektrodou a zemí. Mezi nepolarizovatelnými elektrodami se měří napětí registračními voltmetry (může to být v podstatě jakýkoliv měřící přístroj, který dokáže uchovat ve své paměti naměřená data a jehož vnitřní odpor je minimálně 0,1 MΩ/V). Doba měření u polí způsobených bludnými proudy je řádově několik hodin (minimálně 3 h). Po ukončení měření se z registračního záznamu určí maximální a střední hodnota napětí v každém směru a smyslu. Z těchto napětí a ze vzdáleností elektrod se určí intenzita elektrického pole:

$$E_{stř} = \frac{U_{stř}}{l}$$

$$E_{max} = \frac{U_{max}}{l}$$

kde:  $E_{stř}, E_{max}$  jsou střední časová a max. hodnota intenzity el. pole ( $V \cdot m^{-1}$ )  
 $U_{stř}, U_{max}$  – střední časová a max. hodnota naměřeného napětí (V)  
 $l$  – vzdálenost elektrod (m).

Podle intenzity dělíme zemní proudová pole do tří skupin - tab.3

Proudová pole	E ( $mV \cdot m^{-1}$ )
slabá	do 0,5
střední	od 0,5 do 5,0
silná	nad 5,0

Tab.3 Klasifikace zemních proudových polí podle intenzity

### 5.3 Výpočet proudové hustoty zemního proudového pole

Z intenzity elektrického pole a zdánlivého měrného odporu se určí proudová hustota:

$$\sigma = \frac{E_{stř}}{\rho}$$

kde:  $\sigma$  je proudová hustota zemního proudového pole ( $A \cdot m^{-2}$ )  
 $\rho$  – rezistivita půdy ( $\Omega \cdot m$ )

Podle proudové hustoty zemního proudového pole dělíme korozní prostředí do kategorií uvedených v tabulce 4.

$\sigma$ ( $\mu A \cdot m^{-2}$ )	Korozní prostředí	Třída koroze
pod 0,1	velmi nízké	I
0,1 až 3	střední	II
3 až 100	zvýšené	III
nad 100	velmi vysoké	IV

Tab.4 Klasifikace korozního prostředí podle proudové hustoty

## 6. ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY OCHRANY ÚLOŽNÝCH ZAŘÍZENÍ

### 6.1 Pasivní ochrany

Pasivní ochranou jsou opatření, která omezují vstup a výstup bludných proudů do zařízení a ze zařízení nebo omezují tok proudu přes něj. Mezi často používané druhy pasivní ochrany patří:

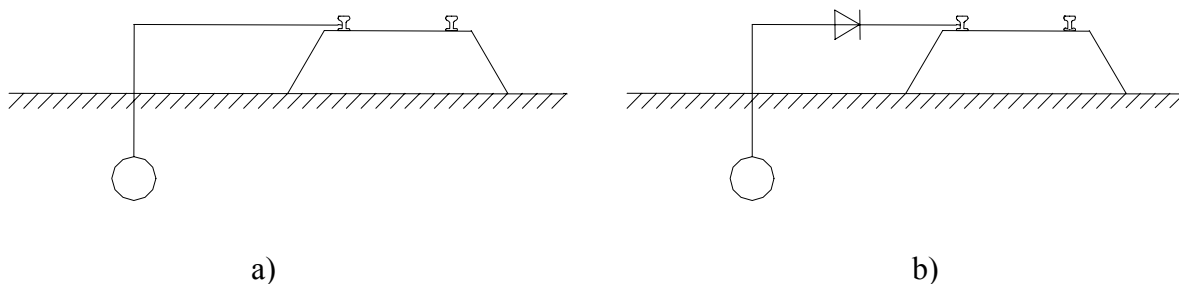
- Různé druhy izolací jako jsou asfaltové, z plastických hmot a různé speciální izolace.
- Stavební ochrana, která může být provedena uložením kabelů do kanálů.
- Obsypávání úložného zařízení nevodivou zeminou, pískem nebo šterkem.
- Volba trasy úložného zařízení co nejdále od zdrojů bludných proudů a v zemině s co největší vodivostí.

### 6.2 Aktivní ochrany

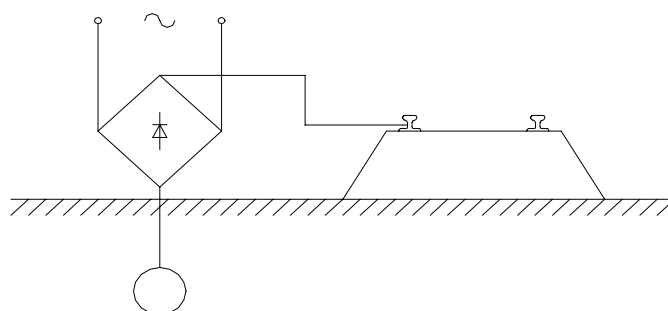
Aktivní ochrana zajišťuje trvalý záporný potenciál úložného zařízení a odvod proudů z úložných zařízení jen v místech připojení ochrany. Trvalým záporným zpolarizováním kovových zařízení se zamezí vzniku anodických oblastí na úložném zařízení. Aktivní ochranu je třeba chápat jako ochranu doplňkovou. Každá aktivní ochrana předpokládá dokonalou pasivní ochranu.

Aktivní ochrana je řešena několika způsoby:

- a) Přímá drenáž – je nejjednodušší, ale také nejméně používána obr. 4a). Nemůže se použít když se na kolejnicích mění polarita napětí.
- b) Polarizovaná drenáž – ve své podobě je to přímá drenáž, která je doplněna o usměrňovač, který zamezí protékání proudu ve směru z kolejnice do úložného zařízení obr. 4b).
- c) Zesílená polarizovaná drenáž – užívá se tam, kde normální drenáž nestačí snížit potenciál anodického pásma úložného zařízení nebo tam, kde vyjma bludných proudů působí i půdní koroze obr. 5.

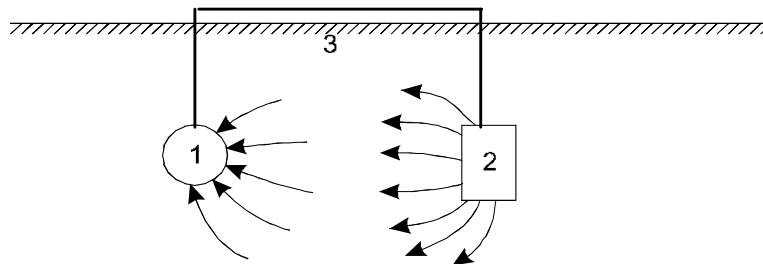


Obr.4 Přímá a polarizovaná drenáž



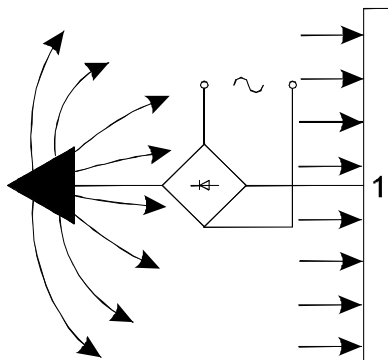
Obr. 5 Zesílená polarizovaná drenáž

- a) Obětní anoda – je vytvořena ze slitin kovů s vysokým záporným potenciálem (Mg, Zn, Al). Tato elektroda se vodivě spojí s úložným zařízením a vytvoří s ním člunek, ve kterém úložné zařízení přebírá funkci stálé katody a obětní elektroda funkci anody obr.6. Obětní anoda se začíná průchodem proudu elektrochemickou cestou rozpouštět. Tato ochrana se nemůže použít u zemních proudových polí kde je vysoká hustota zemních proudů, tedy v blízkosti elektrických drah. Před umístěním této ochrany je nutné mít představu o době působení ochrany a z toho určit její hmotnost hmotnost obětní elektrody.



Obr.6 Aktivní ochrana s obětní anodou  
1.úložné zařízení, 2.obětní anoda, 3.izolovaný vodič

- e) Katodická ochrana – princip této ochrany je stejný jako při ochraně obětní anodou, ochranný účinek je zde umocněn užitím vnějšího zdroje, který umožňuje vyrábět pomocnou elektrodu (anodu) z libovolného kovu. Velké životnosti anody je docíleno tím, že se vyrábí z velkých železných částí obr.7.



Obr.7 Katodická ochrana  
1-úložné zařízení

Katodická ochrana je u nás nejrozšířenější, užívá se především při ochraně plynovodů, ropovodů a vodovodních řádů. Pracovní napětí katodické ochrany bývá 10 až 50 V a odebírané proudy jsou 10 až 50 A, výkon se na stejnosměrné straně pohybuje v rozmezí 100 až 2500 W. Používání aktivních ochrany, které vyžadují připojení ke kolejnicím je omezeno hlavně případnými negativními vlivy na kolejové zabezpečovací obvody.

Literatura:

[1] Paleček, J. a kol.: Elektrotechnika v dopravním inženýrství, závěrečná zpráva k obhajobě grantu FR VŠ 0897/1996