

# Monitorovacie systémy hladín podzemných vôd - ochrana proti prepätiu

Jozef Čerňička

## Úvod

Skúsenosti s prevádzkovaním vodných diel a s rizikami, ktoré táto prevádzka prináša predovšetkým pri mimoriadnych poveternostných udalostiach, vedú vcelku jednoznačne k zvýšenému dôrazu na monitorovanie technického stavu vodných diel (ďalej VD). Tento technický stav má tesnú nadväznosť na hladiny podzemných vôd v telesách priehrad a hrádzí, čo vyvolalo potrebu trvalého monitorovania hladiny podzemných vôd na týchto vodohospodárskych dielach. Monitorovacie systémy podzemných vôd (ďalej MSPV) sú na Slovensku inštalované v celom rade VD. Prevádzkovú spoľahlivosť týchto systémov však významne ovplyvňuje búrková činnosť, ktorá má za následok znižovanie úplnosti a kvality informácií získavaných prostredníctvom MSPV. Na vysvetlenie príčin tohto stavu a na možnosti riešenia je zameraný náš článok.

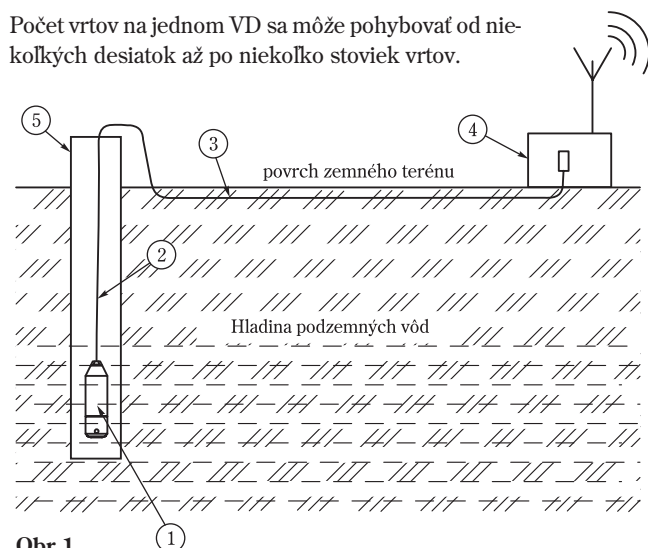
## 1. Stručná charakteristika MSPV

MSPV sa využíva najmä pri sledovaní stavu hrádzí VD. Ide o rozľahlé systémy rozmiestnené vo vonkajšom prostredí, v ktorom je pravdepodobnosť bleskových výbojov do zeme daná keraunickou mapou, pričom vo všeobecnosti sa dá predpokladať až niekoľko úderov blesku na kilometer štvorcový za rok. Ak vezmeme do úvahy, že MSPV môže zahŕňať plochu od niekoľkých kilometrov až do niekoľkých desiatok kilometrov štvorcových, sú poruchy MSPV nielen pravdepodobné, ale aj značne početné, ak MSPV nie je vhodne riešený z pohľadu ochrany pred prepätím.

MSPV je zjednodušene znázornený na obr. 1. Sonda (1) je vo vrtě zavesená na prívodnom kábli (2), ktorého dĺžka môže dosahovať od niekoľkých metrov až po desiatky metrov. Vrt je vystužený pažnicou (5). Od vrtu je v zemi položené vedenie (3) k rozvádzaču (4). Dĺžka tohto vedenia sa môže pohybovať od niekoľkých desiatok metrov až do niekoľkých kilometrov.

Pod rozvádzačom (4) rozumieme miesto, kde sa spracúva informácia získaná zo sondy a hneď sa vyhodnocuje, alebo (v závislosti na rozsahu VD) sa ďalej odosiela rádiovým signálom. (Tento článok sa nezaobrá ochranou proti prepätiu zo strany napájacieho prívodu a anténového vstupu „rozvádzača“).

Počet vrtov na jednom VD sa môže pohybovať od niekoľkých desiatok až po niekoľko stoviek vrtov.

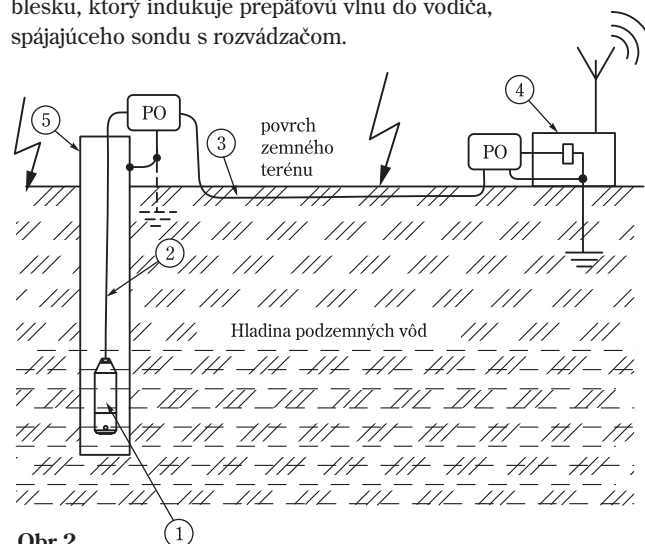


Obr. 1

Inštalované systémy MSPV s prenosom informácií z jednotlivých vrtov pracujú obvykle s prúdovou slučkou 4 ... 20 mA/24 V a bývajú spravidla vybavené ochranou proti prepätiu. Napriek tomu však dochádza k významnej poruchovosti týchto systémov v dôsledku prepätia. Podľa informácií z VD Žilina bolo v priebehu jedného roka z 23 inštalovaných snímačov znehodnotených 8 ks, čo predstavuje cca 35 % z inštalovanej kapacity. Na základe týchto nepriaznivých prevádzkových výsledkov bol vykonaný rozbor podmienok inštalácie MSPV a jeho projektového riešenia s cieľom vypracovať opatrenia na zvýšenie prevádzkovej spoľahlivosti MSPV.

## 2. Rozbor podmienok inštalácie systému ochrany proti prepätiu

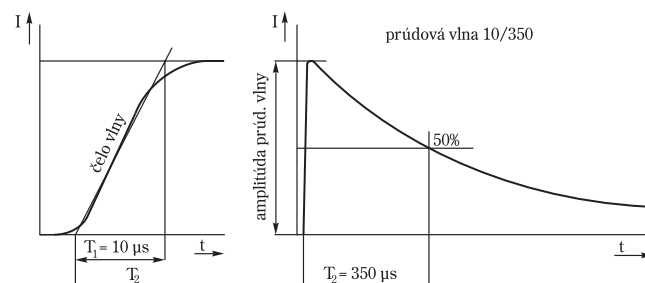
Doposiaľ používaný (tradičný) systém ochrany proti prepätiu je znázornený na obr. 2, kde sú do schematického znázornenia MSPV umiestnené prepäťové ochrany. Tento systém je vystavený účinkom prepätia v zásade dvoma spôsobmi. Môže ísť o úder blesku v blízkom okolí vrtu do zeme alebo o blízky či vzdialený úder blesku, ktorý indukuje prepäťovú vlnu do vodiča, spájajúceho sondu s rozvádzačom.



Obr. 2

### 2.1 Úder blesku

Charakterizuje ho množstvom parametrov, ktoré ďalej určujú dynamické a energetické účinky blesku na prostredie. Charakter, hodnoty a premenlivosť parametrov bleskových úderov sú opísané v IEC 1312-1. Pre technické účely sa prúdová vlna bleskového úderu spôsobujúca prepätie štandardizovala na priebeh 10/350, znázornený na obr. 3, ktorý spolu s maximálnou hodnotou prúdu



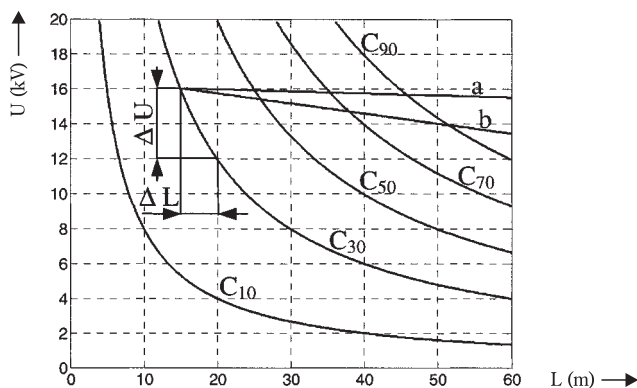
Obr. 3

(na vrchole vlny) určuje charakter a parametre zaťaženia. Tu je vhodné upozorniť, že často uvádzaný typ vlny 8/20 pri rovnakej max. prúdovej hodnote obsahuje rádovo menej energie ako vlna 10/350, čo významne ovplyvňuje odolnosť prvkov i systémov, ktoré sú dimenzované na vlnu 8/20 v prostredí zaťažovanom vlnami 10/350. Uvedená skutočnosť významne ovplyvňuje i konštrukciu prepäťových ochrán, určených do prostredia s ohrozením dlhými prúdovými vlnami (10/350 a dlhšie).

## 2.2 Rezistencia prostredia

Rezistencia prostredia, ktorými sa šíri prúdová vlna, je dôležitým parametrom a tento zásadným spôsobom ovplyvňuje napäťové pomery v MSPV v priebehu pôsobenia prúdovej vlny. Ako už bolo uvedené, prúdová vlna sa šíri v podstate dvomi typmi prostredia.

**Medené vodiče MSPV.** Týmito vodičmi sa prúdová vlna šíri v prostredí s nízkym ohmickým a induktívnym odporom a s lineárnym útlmom amplitúdy prúdovej vlny. V dôsledku toho sa účinnok prúdovej vlny môže prejavovať aj vo väčších vzdialenostiach. Na obr. 4 sú znázornené priebehy poklesu napätia v dôsledku útlmu prúdovej vlny vodiča Cu: a) 1,5 mm<sup>2</sup>, b) 0,3 mm<sup>2</sup>, ktoré reprezentujú prierezy používané v MPSV, pri prúdovej vlne s amplitúdou 1 kA. Ako je z priebehov zrejme, pokles napätia je pomerne pomalý, z čoho vyplýva už spomínaný značný dosah pôsobenia prúdovej vlny.



Obr. 4

**Zemné prostredie s podzemnými vodami.** Toto prostredie rozptyľuje energiu úderu blesku (pri údere do zeme) do polpriestoru, pri rozptyle cez plášť sondy (prúdová vlna prišla po vodičoch) do plného priestoru. Pri rozptyle do polpriestoru alebo priestoru je napätie nepriamoúmerne (hyperbolicky) závislé na vzdialenosti od miesta vstupu prúdovej vlny do zemného prostredia, pričom lineárne závisí od veľkosti prúdu a veľkosti rezistencie prostredia.

Rezistencia zemného prostredia (zemina a podzemné vody) je veľmi dôležitá veličina pri posudzovaní spôsobu ochrany sondy proti prepätiu, i pri hodnotení odolnosti prepäťovej ochrany z hľadiska rôznych spôsobov namáhania. V podkladoch poskytnutých výskumnými ústavmi a povodiami vodných tokov Slovenska sa parameter vodivosti pohybuje od 7 do 300 mS/m, čo zodpovedá rezistencii v rozpätí od 143 do 3,3  $\Omega$ m.

Zemné rezistencie dosahujú i podstatne vyššie hodnoty:

- ornica  $\rho = 100 \Omega\text{m}$
- vlhký piesok  $\rho = 200 - 300 \Omega\text{m}$
- suchá kamenitá pôda  $\rho = 3000 - 10\,000 \Omega\text{m}$
- kompaktná skala  $\rho = 10^5 \Omega\text{m}$

(Prevzaté z Ján Meravý a kol.: *Odborná spôsobilosť pracovníkov v elektrotechnike I.*)

Na obr. 4 sú znázornené (so zanedbaním kapacitnej zložky) priebehy poklesu napätia v polpriestore pre rôzne hodnoty rezistencie prostredia (krivky  $C_x$ , kde  $x$  je rezistencia v  $\Omega$ m) a pre amplitúdu prúdovej vlny 50 kA. Zo znázornených priebehov je zrejme, že hoci v určitom bode (napr. v okolí umiestnenia prepäťovej ochrany na

záhlaví vrtu) sa zemné prostredie i medený kábel k sonde nachádzajú na približne rovnakom potenciáli (rozdiel je daný ochrannou hladinou prepäťovej ochrany proti zemi – cca 100 – 200 V), o niekoľko metrov ďalej môže byť (v závislosti od rezistencie prostredia) potenciálový rozdiel niekoľko tisíc voltov. Uvedené platí v prípade, že vrt nie je po celej dĺžke vystužený oceľovou pažnicou.

## 2.3 Paženie vrtu a spôsoby zemnenia

Paženie vrtu musí byť perforované, aby sa spoľahlivo zabezpečila odozva zmeny výšky hladiny podzemných vôd na výške hladiny vo vrte. Hoci perforácie paženia zabezpečujú priame prepojenie vonkajšieho zemného prostredia s prostredím vodného stĺpca vo vrte, materiál paženia významným spôsobom ovplyvňuje účinnosť ochrany proti prepätiu.

**Oceľová pažnica po celej hĺbke vrtu.** Vzhľadom na veľmi nízku rezistenciu ocele a veľký vodivý prierez je potenciál pažnice po celej dĺžke vyrovnaný. Ak je zemnenie prepäťovej ochrany krátkym vodičom pripojené na pažnicu, dosiahnu sa dobré podmienky na rozptyl energie prúdovej vlny prichádzajúcej po vedení. Toto platí za predpokladu, ak sa pažnica značnou časťou svojej dĺžky nachádza v podzemnej vode. Vzhľadom na veľkú plochu pažnice, ktorá je v styku so zemným prostredím a podzemnou vodou, odpor zemného prostredia je pomerne nízky.

Ak prúdová vlna prichádza z okolitého prostredia, je zachytená pažnicou, ktorá má so sondou cez prepäťovú ochranu vyrovnaný potenciál na úrovni ochrannej hladiny prepäťovej ochrany.

**Plastová pažnica po celej hĺbke vrtu.** V tomto prípade je odpor prostredia medzi plášťom sondy a záhlavím vrtu vysoký (rádovo desiatky až stovky Ohmov), a táto okolnosť kladie zvláštne požiadavky na riešenie ochrany proti prepätiu. Problematika zemnenia vystupuje v tomto prípade ako kľúčový problém zabezpečenia správnej funkcie prepäťovej ochrany.

## 2.4 Izolačná pevnosť

Pri posudzovaní napäťových pomerov pri zaťažení MSPV prúdovou vlnou je dôležitá napäťová pevnosť sondy, kábla sondy a vedenia k rozvádzaču. Dôležitá je pritom hodnota impulznej odolnosti. Pokusne sa zistili nasledovné hodnoty:

- sonda firmy MERET – pevnosť 3 – 4 kV,
- kábel sondy – nad 10 kV,
- vedenie k rozvádzaču – nad 10 kV.

Je zrejme, že sonda má najnižšiu impulznú odolnosť. Je to dané najmä požiadavkami na citlivosť (presnosť merania) sondy. Nie je pravdepodobné, že by impulzná pevnosť iných sond s rovnakou citlivosťou dosahovala vyššiu impulznú odolnosť.

## 2.5 Prepäťové ochrany a ich diagnostika

Prepäťové ochrany sú veľmi dôležitou súčasťou technického riešenia MSPV. Tento článok je však zameraný na systém ochrany proti prepätiu z hľadiska komplexnosti riešenia vrátane údržby, nezaobrá sa technickým hodnotením konkrétnych typov prepäťových ochrán.

Z pohľadu efektívneho systému ochrany MSPV je potrebné, aby prepäťové ochrany spĺňali najmä nasledujúce požiadavky:

- ochranná hladina prepäťovej ochrany zodpovedajúca použitým sondám (snímačom),
- vysoká zaťažiteľnosť dlhou prúdovou vlnou,
- rýchla diagnostika prevádzkového stavu prepäťovej ochrany.

Prvky meracieho reťazca sú rozložené v teréne, pričom pri zistení poruchy merania je potrebné preveriť všetky prvky meracieho reťazca. Demontáž a opätovná montáž prepäťovej ochrany je pomerne práca, pričom už samotné tieto operácie sú potenciálnym zdrojom chýb. Pri pravidelných kontrolách celého systému len z dôvodu uvedených operácií ide o náročnú záležitosť. Tieto okol-

nosti vyvolávajú naliehavú požiadavku na rýchle bezdemontážne diagnostikovanie stavu prepäťovej ochrany.

## 2.6 Posúdenie tradičného spôsobu ochrany MSPV proti prepätiu

Na obr. 2 je znázornený zjednodušený MSPV s ochranou proti prepätiu. Je vybavený dvomi prepäťovými ochranami. Jedna je umiestnená na záhlaví vrtu, druhá na vstupe do rozvádzača.

**Prepäťová ochrana na vstupe rozvádzača.** Z funkčného hľadiska je bez problémov, ak je správne, a to krátkymi vodičmi pripojená na spoločnú zem v rozvádzači, a ak táto je dostatočne dimenzovaným vodičom pripojená na zemnenie objektu. Z hľadiska rýchlosti diagnostiky stavu prepäťových ochrán v rozvádzači je nevyhodou, že prepäťové ochrany sa musia odmontovať, otestovať a opätovne nainštalovať.

**Prepäťová ochrana na záhlaví vrtu.** Pracuje veľmi rozdielnym spôsobom v závislosti od realizácii jej zemnenia.

- **Oceľové paženie vrtu.** V tomto prípade sa dosahuje veľká styčná plocha kovového vodiča (paženia) so zemným prostredím (až niekoľko m<sup>2</sup>), čím sa podstatne znižuje odpor prostredia (o cca 2 rády). Tým sa umožňuje správna funkcia prepäťovej ochrany pri prúdovej vlne prichádzajúcej po vedení, pričom sonda je dobre chránená. Ak je prúdová vlna s príliš veľkou amplitúdou (vysoký obsah energie), prekračujúcou parametre prepäťovej ochrany, môže dôjsť k zničeniu prepäťovej ochrany, avšak nedôjde k poškodeniu sondy. Ďalšia prúdová vlna by však už mohla viesť až k poškodeniu sondy.

Pri prúdovej vlne z blízkeho okolia je situácia analogická ako v predchádzajúcom prípade, iba smer prúdovej vlny je opačný – z pažnice cez prepäťovú ochranu k rozvádzaču.

- **Paženie vrtu plastovou rúrou.** V tomto prípade je základný problém správnej funkcie prepäťovej ochrany veľkosť zemného odporu. Vrchná časť paženia je síce do hĺbky 1,5 m spevnená oceľovou rúrou, táto však nezasahuje obvykle do oblasti podzemných vôd a preto je rezistivita prostredia veľmi vysoká (porov. v časti 2.2 Zemné prostredie s podzemnými vodami.). Z hľadiska funkcie ochrany proti prepätiu vzniká situácia, kedy prepäťová ochrana neplní svoju funkciu z dôvodu vysokého zemného odporu medzi zemnením prepäťovej ochrany a plášťom sondy vo vrte. Prepäťová ochrana nemusí byť vôbec poškodená, avšak dochádza k zničeniu sondy, v oboch prípadoch ohrozenia (po vodiči alebo z blízkeho okolia).

**Diagnostika stavu prepäťovej ochrany.** Obdobne ako pri rozvádzačovej prepäťovej ochrane, aj diagnostika stavu prepäťovej ochrany, príp. sondy, je prácnou záležitosťou vykonávaná vo vonkajšom prostredí.

## 3. Odporúčania na zlepšenie ochrany proti prepätiu systémov MSPV

Z vykonaného rozboru vyplýva, že najvýhodnejšie riešenie ochrany sondy proti prepätiu musí spĺňať nasledujúce požiadavky:

- Minimalizovať potenciálny rozdiel medzi zemnením prepäťovej ochrany a sondou vo vrte na úroveň blízko ochrannej hladiny prepäťovej ochrany.
- Minimalizovať veľkosti prúdov, ktoré tečú cez prepäťovú ochranu do zemného prostredia.
- Umožňovať rýchlu diagnostiku stavu prepäťovej ochrany.
- Cenová dostupnosť pri plnení horeuvedených požiadaviek.

Vychádzajúc z uvedených požiadaviek sa odporúčajú nasledujúce typy ochrany proti prepätiu a testery k nim:

- Všetky uvedené požiadavky spĺňa prepäťová ochrana firmy KIWA, typ DM-BSO-P/24 integrovaná spolu so sondou firmy MERET v jednom puzdre. Robustná dimenzia z hľadiska zaťažiteľnosti prúdovou vlnou (trojstupňová ochrana) a malá plocha povrchu puzdra sondy zabezpečujú i v silne mineralizovaných

vodách (nízka rezistencia) odolnosť prepäťovej ochrany a sondy i pri blízkych úderoch blesku, čím sa podstatne znižuje poruchovosť MSPV.

Takáto prepäťová ochrana je rýchlo a jednoducho pomocou testera typ TFPO-3 testovateľná, vrátane sondy, pripojením na kábel sondy na záhlaví vrtu.

- Pre umiestnenie prepäťovej ochrany na záhlaví vrtu je k dispozícii bezdemontážne testovateľná prepäťová ochrana typu DM-BS-R.TB/24 umiestnená v krabici s krytím IP 65. Ochrana sondy pri umiestnení prepäťovej ochrany na záhlaví vrtu je však vhodná iba v prípade kovového paženia vrtu. Pre umiestnenie prepäťovej ochrany na vstupe rozvádzača je vhodná prepäťová ochrana DM-BS-R.T/24.

Pre bezdemontážne testovanie prepäťových ochrán je k dispozícii tester typu TFPO. Tester je možné i zapožičať alebo prenajať.

Odporúčané typy prepäťových ochrán boli testované na KESP FEI STU, s pozitívnym hodnotením. Demonštrácia výhod odporúčaných riešení bola zainteresovaným pracovníkom z oblasti vodohospodárstva experimentálne predvedená ako porovnanie doterajšieho a odporúčaného riešenia.

## Záver

Aj keď tento článok je zameraný na problematiku monitorovania hladín podzemných vôd, spomínané problémy a súvislosti vrátane odporúčaní, je možné aplikovať i na monitorovacie systémy iných fyzikálnych veličín, ak tieto systémy zodpovedajú charakteristikám uvedeným v článku.

Použitie prepäťových ochrán v iných prostrediach a podmienkach je, samozrejme, tiež možné. Optimálne nasadenie je však potrebné dôkladne posúdiť, aby nedošlo k podobnej situácii ako na VD Žilina.

Zainteresovaným čitateľom iste v článku chýba podrobnejšie rozvedenie celého radu použitých záverov. To však nebolo možné vzhľadom na vymedzený rozsah príspevku. V prípade záujmu o ďalšie podrobnosti je možné obrátiť sa na autora článku.

**Ing. Jozef Černička, CSc.**

**KIWA, spol. s r. o. Nitra**

6