

Měření tlakové složky potenciálu půdní vody tenzometrem UMS T8 a vlhkosti půdy vlhkostním čidlem TMS2

Teoretický úvod – měření půdního potenciálu

Potenciál půdní vody [J/kg] (dále jako „potenciál“) je jedna ze základních veličin, jejíž hodnota reprezentuje energii, kterou je voda vázána v půdním prostředí. Znalost potenciálu a jeho rozložení nám poskytuje informace, ze kterých je možno stanovit směr a rychlost proudění vody v půdním prostředí. Toto proudění probíhá ve směru gradientu celkového potenciálu (tedy z místa s vyšším potenciálem do místa o potenciálu nižším) přičemž jeho rychlost je úměrná rozdílu těchto potenciálů (dle Darcyho zákona). Další důležitou charakteristikou půdního prostředí, která má přímou spojitost s potenciálem, je půdní vlhkost.

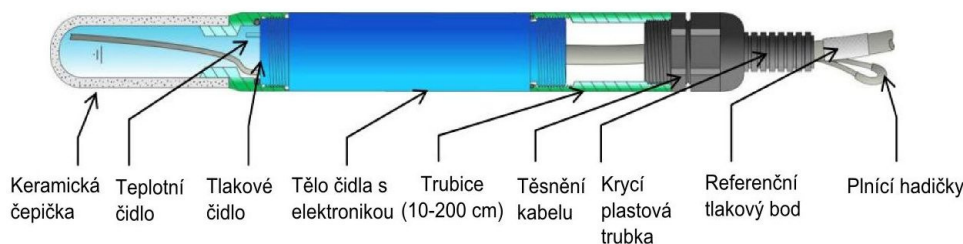
Celkový potenciál se skládá z gravitačního (φ_g), tlakového / vlhkostního (φ_p), pneumatického (φ_a) osmotického (φ_o) a zátěžového (φ_e) potenciálu. V běžných situacích se často zanedbávají pneumatický (φ_a) osmotický (φ_o) a zátěžový (φ_e) potenciál, protože projevují prakticky zanedbatelné účinky (Warrick, 2002). Pro potřeby terénního měření budeme stanovovat pouze gravitační (φ_g) a tlakovou (φ_p) složku celkového potenciálu.

Půdní potenciál lze vyjádřit v několika tvarech: energie na jednotkovou hmotnost [J/kg], energie na jednotkový objem [Pa] – dříve [bar] nebo energie na jednotkovou tíhu [m]. Vyjádření potenciálu ve formě měrné energie [J/kg] není v inženýrských aplikacích praktické. Z tohoto důvodu většinou pracujeme s potenciálem v tlakovém [Pa] či **výškovém tvaru** [m] [2] (Marshall, 1996)

Princip měření tenzometrem UMS T8

Tenzometr je zařízení, sloužící k měření tlakové složky potenciálu půdní vody. Obecně platí, že tlakový potenciál v nenasycené (vadózní) zóně nabývá důsledkem působení kapilárních sil záporných hodnot. V zóně saturace, tedy pod hladinou podzemní vody, přestávají kapilární síly působit a tlakový potenciál nabývá kladných hodnot díky tlakovému účinku gravitační vody.

Stěžejní částí každého tenzometru je keramická čepička, která umožňuje přenos záporných a kladných tlaků z okolního prostředí do kapaliny (odplyněná voda) uvnitř tenzometru. Vzhledem k uvažované nestlačitelnosti kapaliny v tenzometru je tlak přenesen i na tlakové čidlo, se kterým je kapalina v kontaktu. Odezva tlakového čidla tenzometru tedy koresponduje s tlakem okolního prostředí. To však platí pouze pro oblast, kdy je přístroj schopen tyto tlaky přenášet a zaznamenávat – jedná se o tlaky pohybujících se v rozpětí od +100 kPa (tlaku vody) po -85 kPa (podtlak způsobený kapilárními silami). Tenzometr UMS T8 je také, na rozdíl od starších typů tenzometrů, vybaven teplotním senzorem umístěným v blízkosti tlakového čidla. Teplotní čidlo poskytuje doplňkovou informaci o podmínkách půdního prostředí v místě měřeného potenciálu.



Obr. 1 - Schematické zobrazení UMS T8

Odečty hodnot měřených tenzometry UMS T8 je možné plně automatizovat připojením k dataloggeru či počítači. V případech terénních měření, kdy nás zajímají aktuální hodnoty tlaku půdní vody, je možné využití příručního zařízení INFIELD7.

Při stanovení směru proudění vody v půdě je třeba mít na paměti, že k proudění dochází na základě **celkového potenciálu** půdní vody. Tenzometrickým měřením získáváme pouze složku tlakovou. V případě, kdy budeme provádět měření v rozdílných hloubkách (resp. v místech o rozdílném potenciálu v gravitačním poli Země), je nutné k tlakové složce celkového potenciálu přičíst ještě potenciál gravitační. Za referenční hladinu, ke které se vztahuje nulový potenciál, stanovíme horizontální rovinu procházející místem instalace jednoho z tenzometrů. K tomuto místu pak vztahujeme hloubku uložení dalších tenzometrů, tedy míst, kde je měřen tlakový potenciál.

Potom získáváme:

$$H = h + z \quad [1]$$

kde H – hydraulická výška

h – tlaková výška

z – poloha středu keramické čepičky tenzometru vůči srovnávací rovině

tlakovou výšku stanovíme jako

$$h = \frac{p}{\rho g} \quad [2]$$

kde p – tlak půdní vody (měřeno tenzometrem)


g – gravitační zrychlení

ρ – hustota vody

Příprava na měření

Odvzdušnění tenzometru

Pro správnou funkci tenzometru je nezbytné, aby se v prostoru kapaliny, přenášející tlak z půdního prostředí, nevyskytovaly žádné vzduchové bubliny, které by díky své stlačitelnosti přenos tlaku znemožňovaly. V případech, kdy před instalací tenzometru zjistíme přítomnost bublin, je třeba provést následující postup:

1. Umístíme tenzometr do šikmé polohy, aby keramická čepička směřovala směrem k zemi a zároveň žlutý orientační bod  (s popisem „This point up“) směřoval vzhůru.
2. Rozpojíme odvzdušňovací a plnicí hadičku na vrcholu tenzometru (viz obr.)
3. Pomocí injekční stříkačky dostatečné množství vody do označené plnicí trubičky až z odvzdušňovací trubičky začne vytékat voda.
4. Po kontrole, zda-li došlo k odvzdušnění obě trubičky opět spojíme.

Tento postup je možné opakovat i v případě, kdy je tenzometr instalován v půdě, což mohou vyžadovat dlouhodobě probíhající měření.

Instalace tenzometru

Šachtu na tenzometr hloubíme vrtacím zařízením, jehož průměr je přizpůsoben danému typu tenzometru. Použití takového vrtacího zařízení zajišťuje dobrý kontakt tenzometru s půdou. Hloubku, do které bude tenzometr usazen, je výhodné označit na vrtacím zařízení, například lepicí páskou ještě před začátkem hloubení šachty. Do vyhloubené šachty opatrně osadíme tenzometr. Při vsouvání tenzometru do připravené šachty je nutné dbát, aby hodnota tlaku nepřesáhla **300 kPa**, jinak dojde k poškození tlakového čidla přístroje! Hodnotu aktuálního tlaku je třeba kontrolovat v průběhu instalace tenzometru. V případě nedokonalého kontaktu keramické čepičky tenzometru s prostředím (například v případě suchých půd) je možné nanést na keramickou čepičku slabou vrstvu mokré hlíny, která zajistí zlepšení přenosu pórových sil do tenzometru.

Tenzometrické měření

Po připojení zařízení INFIELD7 je třeba nastavit úhel instalace tenzometru. Tento úhel slouží ke kompenzaci rozdílných tlaků vodního sloupce v měřící části tenzometru působících v závislosti na úhlu instalace. Nastavení úhlu provedeme postupem **ESC** → *opakovaně F2 do navolení úhlu instalace tenzometru* → **ESC**. Další parametry tenzometru jsou nastaveny automaticky, není tedy třeba je zadávat. Po ustálení hodnot na displeji je možné odečítat hodnoty tlaku (**p**) v měřené hloubce. Dosazení do rovnic 1 a 2 získáváme hodnotu celkového potenciálu v měřeném místě.

Teoretický úvod – měření půdní vlhkosti

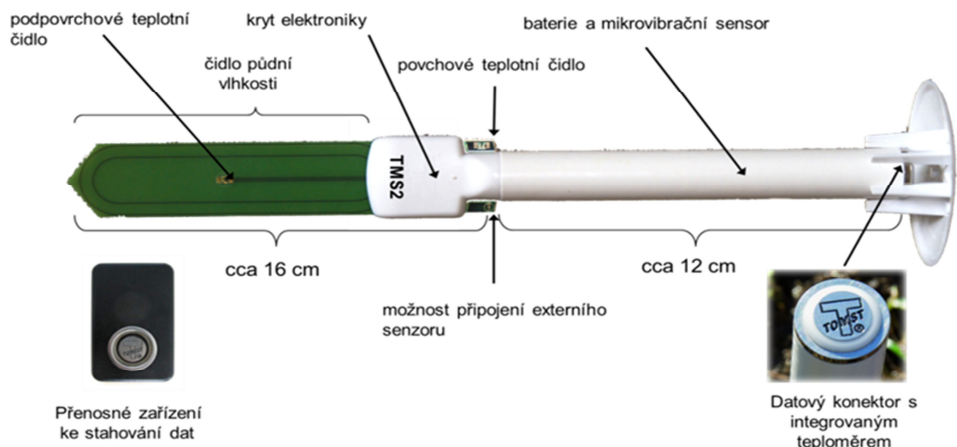
Voda vázaná v půdním prostředí je látka, na kterou jsou navázány toky živin a energie v biosféře. Znalost jejího obsahu a rozložení v půdě nám poskytuje informaci o dostupnosti a možnostech jejího využití v zemědělství, hydrologii a dalších odvětvích. Pro stanovení množství půdní vody se jako standardní přímá metoda používá gravimetrická metoda (vážení vlhkého a suchého vzorku) celá řada nepřímých metod měření jako jsou například: neutronová metoda, Gamaskopická metoda, metody založené na principu rozdílné permitivity půdy a vody – Time Domain Reflektometry (TDR) nebo Time Domain Transmission (Marshall, 1996). Nepřímá měření využívají ke stanovení vlhkosti prostředí parametrů, které jsou ovlivňovány právě množstvím přítomné vody. Při znalosti vztahu mezi měřenou veličinou a obsahem půdní vody je možné z hodnot měřených veličin stanovit množství vody v půdním prostředí.

V současnosti široce používanou skupinou jsou metody elektromagnetické, sledující elektromagnetické vlastnosti prostředí v návaznosti na obsah vody v dosahu měření čidla. Šíření elektromagnetického signálu je ovlivněno primárně permitivitou prostředí. Permitivitu si můžeme zjednodušeně představit jako odpor vůči šíření elektromagnetického signálu – při vyšší permitivitě dochází ke zpomalení šíření pulzu. Voda tvoří mobilní složku půdního prostředí a její permitivita je řádově vyšší, než je tomu u ostatních složek půdního prostředí (vzduch, minerální zrna) (Hillel, 1998). Změny v šíření elektromagnetického pulsu, způsobené rozdílnými hodnotami permitivity prostředí, je tedy možno interpretovat jako změny v obsahu vody v okolí čidla.

Popis stanice TMS2

Stanice TMS 2 slouží k monitorování půdní vlhkosti a teploty prostředí. Kromě lokálních měření jedné stanice je při vyšším počtu instalovaných přístrojů možné sledovat časové a prostorové změny těchto charakteristik ve větším měřítku - například vývoj půdní vlhkosti v půdním profilu, či rozložení teplot na povodí. Pro monitorování teplot půdy a ovzduší je stanice TMS2 vybavena třemi teploměry v různých úrovních, množství vodě v půdě je pak sledováno vlhkosním čidlem. Vlhkosní čidlo pracuje

na principu TDT (Time domain transmission). Skládá se z elektrického okruhu a elektroniky, která vysílá do obvodu elektrické pulsy a jejich počet zaznamenává. Po proběhnutí pulsu celým okruhem je vyslán do obvodu další puls. Rychlost šíření elektromagnetického signálu závisí na permitivitě prostředí, která souvisí s množstvím vody v okolí čidla. Z množství pulzů, které proběhnou měřícím obvodem za určitý časový úsek (v našem případě 640 μ s) je tedy možné odvodit půdní vlhkost v okolí čidla. Převod naměřeného počtu pulzů na obsah vody je realizován použitím kalibračního vztahu pro daný půdní typ.



Průběh měření

Pro účely tohoto měření je používána USB verze stanice. Tato modifikace umožňuje přenos dat přes USB rozhraní do počítače. Zde jsou pak příslušným programem zobrazovány aktuální hodnoty vlhkosti a teploty měřené čidlem. Vlhkostní měření jsou zobrazována v nezpracované podobě (nedostáváme tedy vlhkost, ale počet pulzů ve vlhkoměrném okruhu stanice). Pro stanovení vlhkosti je třeba použít kalibrační vztah pro půdní typ, na kterém měření probíhá. Pro tento převod je k dispozici program s databází půdních druhů a typů. Z databáze tedy vybereme kalibrační vztah pro půdu, která nejlépe reprezentuje půdu na dané lokalitě, čímž získáme hodnoty půdní vlhkosti.

Úkoly - měření půdního potenciálu:

- Provedte přípravu přístroje dle instrukcí
- Instalujte tenzometry a proveďte měření potenciálu v půdním profilu
- Na základě měření potenciálu v různých hloubkách určete směr pohybu vody v půdním prostředí (zda-li půdní voda vzlíná, či infiltruje). Výsledky zpracujte pomocí přiložené tabulky.
- Načrtněte schematicky situaci v místě měření – polohu tenzometrů, hloubku uložení atd.

UMS T8	Čtení tenzometru [hPa]	Tlaková výška [cm]	Poloha tenzometru [cm]	Výsledný potenciál [cm]	Směr proudění vody (↑/↓)

Úkoly - měření půdní vlhkosti:

- Seznámení s přístrojem TMS2 a principy nepřímého měření vlhkosti
- Instalace stanice do půdy
- Zpracování v počítači – download dat a jejich převod na objemovou vlhkost s využitím nejvhodnější kalibrační křivky z databáze
- Výsledky měření zapracujte do závěrečné zprávy spolu s výsledky měření půdního potenciálu

TMS2	Symbol	Výsledek měření	Jednotky
Objemová vlhkost	θ		(-)
Teplota půdy	T		(°C)

Literatura:

- Hillel, D. *Environmental Soil Physics*. San Diego: Academic Press, c1998. ISBN 0-12-348525-8.
- Marshall, T.J., Holmes, J.W., Rose, C.W. *Soil Physics*. 3rd ed. Cambridge: Cambridge University Press, c1996. ISBN 978-0-521-45151-2.
- Warrick, A.W. *Soil Physics companion*. Boca Raton: CRC Press, c2002. ISBN 0-8493-0837-2