

Zkušenosti z instalace a provozu malého inteligentního lyzimetru SFM UMS

Svatopluk Matula¹, Markéta Miháliková¹, Arnošt Mráz², Georg von Unold³, Ayele Teressa Chala¹,
Markéta Hrkalová¹, František Doležal¹

¹ Katedra vodních zdrojů, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 Suchdol

² Ekotechnika spol. s r.o., Mokropeská 1832, 252 28 Černošice

³ UMS GmbH, Gmunder Str. 37, D-81379 München, Deutschland

Experience with installation and performance of a small smart field lysimeter SFM UMS

Abstract

Small lysimeters, equipped in a modern way, attract attention because of their lower price and versatility. This paper briefly describes the Small Field Lysimeter SMF-30 (UMS GmbH) with a 30 cm diameter, 30 cm deep, and presents the authors' experience obtained during the lysimeter installation in a loamy soil on loess under grass and during its almost yearly operation. The installation can be carried out during a single day by six or seven persons. The grass that grows in the shallow layer of soil over the lysimeter collar usually suffers from drought. Water pressure at the lysimeter bottom cannot be controlled during dry periods. However, this is not a serious drawback, because the upward movement of water in the soil is very slow at that time. The lysimeter itself is able to recover when the dry period is over. The vacuum system of the lysimeter responds to drought by quickly increasing and then decreasing the mass of the storage vessels during the daytime of a single day, probably because of pumping of water from the spaces that are not weighed. A part of water in the vacuum pump and the connecting hoses may freeze during the days of frost. The system itself is able to recover from minor events of this type. The soil temperatures in the lysimeter are somewhat higher than those in the native soil. In winter the solar panel does not provide enough electricity for lysimeter instruments. The surplus water must be manually removed from the storage vessel about three times per year. We may conclude that the lysimeter operates well, fulfils the goals for which it was acquired and brings large amount of information.

Key words: soil water balance, drought, soil water potential, vacuum pump, grass, frost

Abstrakt

Pro menší cenu a provozní náročnost se dostávají do ohniska zájmu malé moderně vybavené lyzimetry. V tomto článku je stručně představen malý inteligentní lyzimetr SMF-30 (UMS GmbH) o průměru 30 cm a hloubce 30 cm. Jsou popsány zkušenosti autorů z instalace lyzimetru v hlinité půdě na spraši pod travním porostem a z necelého roku jeho provozu. Instalace může být provedena během jediného dne cca šesti až sedmi pracovníky. Travní porost v mělké vrstvě půdy nad límcem lyzimetru obvykle strádá suchem. V době sucha nelze na dně lyzimetru udržet regulovaný tlak vody. To však není významná závada, protože vzestupný pohyb vody v půdě je v té době velmi pomalý. Lyzimetr se po skončení suchého období dokáže sám zotavit. Vakuový systém lyzimetru reaguje na sucho tak, že během dne hmotnost zásobní nádoby rychle stoupá a pak zase rychle klesá, pravděpodobně v důsledku čerpání vody z prostorů, které nejsou váženy. Během mrazových dní může zamrznout část vody ve vývěvě a spojovacích hadičkách. Z menších epizod tohoto typu se systém zotaví sám. Teploty půdy uvnitř lyzimetru jsou poněkud vyšší než v přirozené půdě. Solární panel v zimě nestačí zásobovat přístroje lyzimetru elektrickým proudem. Je nutno zhruba třikrát za rok ručně odebrat ze zásobní nádoby přebytečnou vodu. Lze konstatovat, že lyzimetr funguje dobře, plní účely, pro které byl pořízen, a přináší velké množství informací.

Klíčová slova: bilance vod v půdě, sucho, potenciál půdní vody, vývěva, tráva, mráz

Úvod

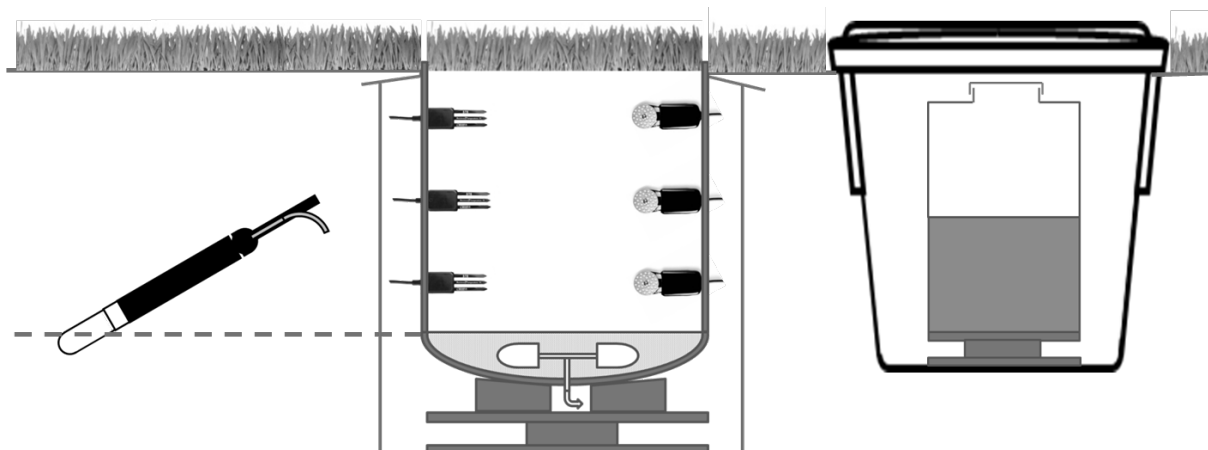
Sledování vodního režimu a bilance půdy *in situ* je velmi důležité pro pochopení a následující optimalizaci tvorby hospodářského výnosu zemědělských plodin, lesního hospodářství, ochrany přírodě blízkých ekosystémů a vodního hospodářství krajiny. Potenciálně vysoce efektivním nástrojem ke sledování vodní bilance půdního profilu je lyzimetr. První lyzimetr, pokud je známo, sestrojil Philippe de la Hire v Paříži v roce 1688 (de la Hire, 1720; cit. podle Kohnka et al., 1940). Od té doby se lyzimetry neustále vyvíjely. Moderní lyzimetry jsou konstruovány jako trvale vážené a automaticky udržované ve stejném vlhkostním stavu jako okolní půda, což umožňuje zkoumat toky půdní vody a související změny v půdním profilu v reálném čase a s maximálním přiblížením ke skutečným přírodním podmínkám.

Každý lyzimetr se skládá ze dvou základních částí, z nichž první je vlastní sledovaný půdní monolit, obvykle válcového tvaru a dnes obvykle vážený, druhou tvoří zařízení k odběru proteklé vody, k měření jejího množství a dnes většinou také k udržování adekvátního vlhkostního stavu lyzimetru, které bývá umístěno v manipulační šachtici. Vegetační kryt povrchu lyzimetru musí být stejný jako vegetace v okolí. Konkrétní technické řešení každého většího lyzimetru je navrhováno s ohledem na individuální podmínky daného stanoviště, výzkumný účel a finanční možnosti objednatele. Pro menší finanční a provozní náročnost a větší flexibilitu při použití se v poslední době dostávají do ohniska zájmu výzkumníků a jiných uživatelů menší, přitom však plně a moderně vybavené lyzimetry.

Materiál a metody

Obr. 1 představuje základní schéma malého inteligentního lyzimetru Smart Field Lysimeter SMF-30 (UMS GmbH, Mnichov, Německo; <http://www.ums-muc.de>). Vlastní půdní monolit měří 30 cm v průměru a jeho výška je také 30 cm a je umístěn ve válcové nádobě z nerezové oceli. Po stranách válce jsou otvory pro umístění čidel. Přímo do tohoto válce se odebírá neporušený půdní monolit pomocí zatlačovacího mechanismu, který pro lyzimetr pouze 30 cm hluboký může být ruční. Válec lyzimetru s půdním monolitem je usazen ve větším kontejneru, který je zcela ukryt pod povrchem. Válec je uložen na elektrické váze PL-50 (UMS GmbH.) a je tedy trvale vážen (viz obr. 1). Tlaková výška (negativní) na dně lyzimetru je udržována na stejné úrovni jako je tlaková výška ve stejné hloubce v okolní půdě, a to pomocí keramických sukčních kelímků umístěných v misce s jemně pórovitou náplní, ve kterých je příslušný podtlak udržován elektronicky řízenou vývěvou. Velikost tohoto podtlaku je měřena a zaznamenávána. Podtlak je určován čtením referenčního tenziometru T8 (UMS GmbH) umístěného v hloubce 30 cm pod povrchem v rostlé půdě ve vzdálenosti cca 1 m od lyzimetru. Takto je trvale zajišťován přibližně stejný vodní režim půdy v lyzimetru jako v rostlé půdě, s výjimkou situace, kdy je rostlá půda příliš suchá a je překonána vstupní hodnota vzduchu tenziometru a/nebo pórovitého tělesa, popř. situace, kdy je funkčnost vakuového systému narušena mrazem. Přebytečná voda ze spodku lyzimetru je odčerpávána do zásobní nádoby v dalším podzemním kontejneru, která leží na další elektrické váze PL-10 (UMS GmbH) (obr. 1). V tomto kontejneru je také umístěna vývěva. Je-li půda na spodku lyzimetru sušší, než by odpovídalo čtení referenčního tenziometru, je voda ze zásobní nádoby čerpána zpět do pórovitého tělesa na spodku lyzimetru a tím do samotného lyzimetru. Měření jsou zaznamenávána dataloggerem, např. typu dataTaker DT80M (Thermo Fisher Scientific Australia Pty Ltd, Austrálie).

Do půdního monolitu uvnitř lyzimetru jsou zabudována čidla sací výšky MPS-2 (Decagon Devices, Inc., USA) a čidla vlhkosti, teploty a zdánlivé elektrické vodivosti půdy ECH2O 5TE (Decagon) ve třech různých hloubkách. To umožňuje studovat změny těchto charakteristik ve vertikálním směru a v reálném čase. Veškeré elektrické zařízení lyzimetru je napájeno solárním panelem s akumulátorovou baterií, popř. ze sítě. Límcový kryt kontejneru s lyzimetrem, spojený s vlastním lyzimetrem poddajnou a těsnou membránou ze silikonové pryže, je uložen mělko pod povrchem půdy a přikryt drnem.



Obr. 1: Schéma malého inteligentního lyzimetru. Zleva doprava referenční tenziometr v hloubce dna lyzimetru, vlastní lyzimetr se zabudovanými čidly a se zařízením k regulaci sací výšky pod dnem (vše na váze), zásobní nádoba na váze propojená se zařízením pode dnem lyzimetru. Propojení a zařízení pro záznam a regulaci není zobrazeno.

Popsaný malý inteligentní lyzimetr SFM-30 byl osazen na stanici sledování transportních procesů a dynamiky půdní vlhkosti Katedry vodních zdrojů Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v Praze–Suchdole. Nadmořská výška, zeměpisná šířka a délka tohoto stanoviště jsou, v pořadí, 281 m n.m., 14°22'V a 50°08'S. Půda v této lokalitě je hlinitá černozem modální na spraši (Němeček, 2010, osobní sdělení) s hloubkou humusového horizontu kolem 35 cm, téměř bez skeletu (jen s ojedinělými oblázky). Podrobnější popis stanoviště uvádějí Doležal et al. (2012a, 2012b, 2013, 2014). Lyzimetr byl instalován 25. dubna 2013 a měření probíhá od té doby až dodnes. Je využíván pro sledování hydrologické bilance půdního profilu a pohybu vody v půdě v terénních podmínkách, nikoli pro sledování transportu rozpuštěných látek. Výsledky těchto výzkumů budou publikovány na jiném místě. V tomto článku podáváme pouze souhrn praktických zkušeností.

Zkušenosti z instalace

Samotná instalace lyzimetru může být při dobré organizaci provedena během jediného dne cca šesti až sedmi pracovníky, z nichž nejlépe alespoň dva jsou odborníci vyslaní dodavatelem. Prvním krokem je správný výběr reprezentativního stanoviště, nestíněného a nechráněného před větrem, s půdním profilem a porostem typickým pro danou lokalitu, s možností snadné instalace obou kontejnerů, tenziometru, solárního panelu, skříně s elektronikou a kabeláže. Poté je možno přistoupit k odběru půdního monolitu do nerezového válce, který se zatlačuje do půdy přímo v místě budoucí instalace ručním zvedákem spojeným pomocí textilních pásů s ocelovými kotvami v okolní půdě. Tření se snižuje jemným zvlhčováním stěn válce a zemina se na vnější straně válce plynule odebrává. Tím vzniká kolem válce jáma pro kontejner. Po zatlačení se spodní základna válce odřízne ocelovou deskou nebo odlomí od rostlé půdy na dně jámy, vrch válce se přikryje a válec se z jámy vyjme. Jáma se upraví pro vložení kontejneru. Do kontejneru se poté vloží váha. Je nutno pečlivě hlídat hloubku, protože ve výsledku by měl být povrch lyzimetru v jedné rovině s okolním terénem.

Monolit se otočí dnem vzhůru a k jeho očištěné a zarovnané (nikoli však uhlazené, aby se nezacpaly makropóry) spodní základně, která je nyní nahoře, se dnem vzhůru přiloží miska se sukčnými kelímky a vodou nasycenou pórovitou náplní. Pórovitá náplň je ocelovou deskou chráněna proti vysypání. Po vytažení desky se miska se pevně spojí s lyzimetrem, aby mezi oběma vznikl trvale dobrý hydraulický kontakt. Pak je možno do otvorů ve stěně válce vložit čidla, a to tak, že se pro ně v půdě nejprve připraví těsné kapsy k dosažení dobrého kontaktu. Čidla sací výšky MPS-2 se před instalací namočí a obalí mokrou půdní kaší. Rovina plochých čidel má být skloněna pod úhlem 45° k vodorovné rovině, aby se na čidlech nehromadila prosakující voda a současně aby se poněkud zmenšila tloušťka měřené vodorovné vrstvy půdy. Po zatlačení čidla do monolitu se příslušný otvor utěsní průchodnou zátkou.

Kabely od čidel, včetně váhy a snímače tlakovém výšky vody pode dnem lyzimetru, jsou sériově propojeny a čteny pomocí protokolu SDI-12 (Serial Data Interface at 1200 Baud), takže z lyzimetrického kontejneru vychází pouze jeden kabel signálu, uzemňovací kabel a vakuová hadička k vývěvě.

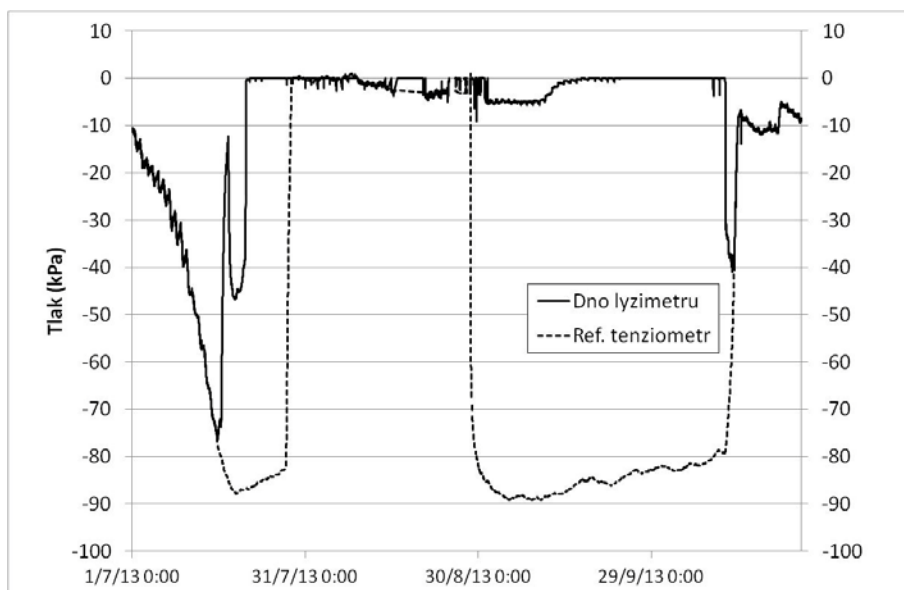
Podzemním potrubím se propojí kontejner lyzimetru s kontejnerem zásobní nádoby a vývěvy a ten se pak už jen elektrickým kabelem propojí s řídicí elektronikou v měřicí skříni na krátkém stožáru. Na váhu v lyzimetrickém kontejneru se opatrně položí lyzimetr s čidly, dnovou podtlakovou miskou, kabeláží a instalační skříňkou na boku. Kontejner je poté svrchu překryt límcem a zeminou tak, aby nakonec na povrch vyčnívala jen samotná horní základna lyzimetru porostlá vegetací (v našem případě trávou). Přítomnost lyzimetru po čase označuje jen světlý kroužek membrány spojující límec s válcem lyzimetru. Zemina v okolí lyzimetru potřebuje čas na konsolidaci a regeneraci porostu. Porost nad límcem obvykle strádá suchem a doporučuje se opatrně jej zavlažovat, např. kapkovou závlahou. Do druhého kontejneru se na elektrickou váhu vloží zásobní 10-litrová nádoba, zhruba do poloviny naplněná čistou místní vodou. Nádoba se propojí s výtokem z vývěvy a s malou nádobkou na boku, která je vážena spolu s ní a slouží k odběru menšího vzorku prosáklé vody (s její funkcí však zatím nemáme žádné zkušenosti). V nádobě samotné není podtlak.

Referenční tenziometr T8 s možností ručního odvodušňování se osadí v rostlém půdním profilu s pórovitým čidlem v hloubce 30 cm ve vzdálenosti asi 1 m od lyzimetru. Celý tenziometr s tlakovým snímačem je po instalaci skryt pod povrchem. Vrstva půdy jej chrání před vlivem kolísání teplot. Odvodušňovací trubičky jsou vedeny od tenziometru do kontejneru se zásobní nádobou, kabel signálu je veden do řídicí skříň na stožáru.

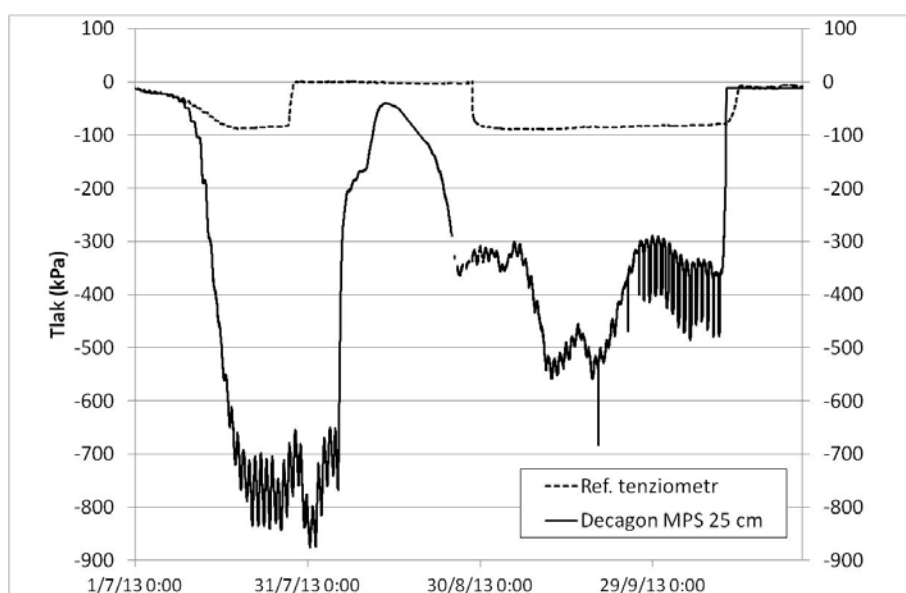
Zkušenosti z provozu

Za nejdůležitější zkušenost považujeme pozorování z loňského suchého léta, kdy tlak půdní vody v okolí lyzimetru i lyzimetru samotném klesal pod -100 kPa. Referenční tenziometr se za těchto okolností dostával mimo rozsah, ve kterém může měřit. Rovněž pórovitá náplň misky pode dnem lyzimetru a sukční kelímky se stávaly propustnými pro vzduch, takže vývěva nedokázala udržet podtlak. To však není významná závada z hlediska bilance vody v půdním profilu, protože vzestupný pohyb vody v přirozené půdě v hloubce dna lyzimetru je v době sucha velmi pomalý. Šlo o to prověřit, zda je lyzimetry za těchto podmínek realisticky měřen sestupný pohyb vody skrze dno, pokud po suchém období přijde vydatný déšť, a zda se lyzimetr po skončení suchého období dokáže sám zotavit. Odpovědi na tyto otázky naznačují obr. 2, 3 a 4.

Během letního období roku 2013 nastalo několik suchých období, z nichž dvě jsou zachycena na obr. 2, 3 a 4. Referenční tenziometr vždy po nějakou dobu signalizoval vysoký podtlak až do -90 kPa, ale srovnání s kapacitním čidlem jasně ukazuje, že tyto hodnoty už byly falešné a potenciál vody v půdě vyjádřený v jednotkách tlaku byl ještě mnohem nižší a blížil se v jednom případě až hodnotě -900 kPa (-9 bar), přičemž výrobcem deklarovaný rozsah čidla je do -500 kPa (Decagon Devices, 2014). První období sucha bylo v srpnu přerušeno deště, které zvlhčily půdu natolik, že tlak vody v hl. 30 stoupl na dobu asi jednoho týdne na hodnotu měřitelnou tenziometrem. Referenční tenziometr byl poté odvodušněn a začal po nějakou dobu opět ukazovat tlaky kolem -90 kPa, sucho však pokračovalo a teprve v říjnu se půda zvlhčila natolik, že opakované odvodušnění referenčního tenziometru už mělo smysl a také pórovitá náplň misky pode dnem lyzimetru a sukční kelímky se nasýtily vodou, takže standardní regulace tlaku vody na dně lyzimetru mohla znovu automaticky započít, aniž by byla nutná jakákoli lidská akce (kromě odvodušnění referenčního tenziometru).

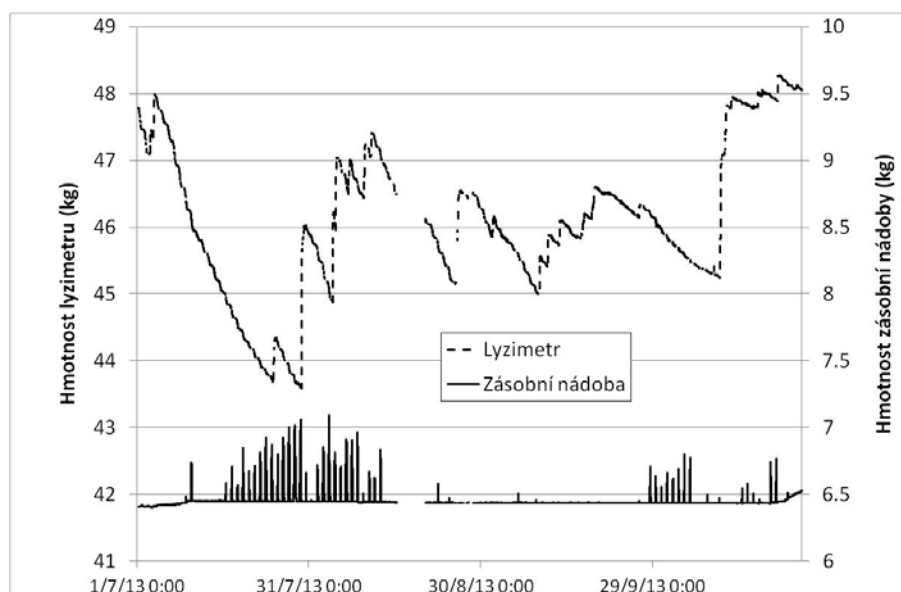


Obr. 2: Průběh tlaku půdní vody podle měření referenčním tenziometrem T8 v hl. 30 cm v přirozené půdě a tlaku ve vakuovém systému spojeném se dnem lyzimetru v době sucha od 1.7. do 24.10.2013.



Obr. 3: Průběh tlaku půdní vody podle měření referenčním tenziometrem v hl. 30 cm v přirozené půdě a kapacitním čidlem s pórovitou maticí Decagon MPS-2 v hl. 25 cm uvnitř lyzimetru v době sucha od 1.7. do 24.10.2013.

Obr. 4 názorně ukazuje rychlý pokles hmotnosti lyzimetru v důsledku evapotranspirace v době sucha i její rychlý vzrůst v důsledku dešťů uprostřed předmětného období. Hmotnost zásobní nádoby mírně stoupala na samém začátku období a také na jeho samém konci, zatímco během sucha byla hmotnost nádoby v podstatě konstantní. Občasná přerušení obou čar byla způsobena drobnými elektrickými problémy, které se podařilo vyřešit a které s podstatou funkce lyzimetru nesouvisely. Zásobní nádoba nemohla v době sucha dodávat vodu ve formě kapilárního vztlínání ze dna lyzimetru, protože hydraulické spojení mezi půdou v lyzimetru a pórovitým materiálem pode dnem lyzimetru bylo v tu dobu přerušeno. V jiných obdobích roku bylo určité kapilární vztlínání naměřeno, bylo však vždy velmi malé, řádu zlomků milimetru za den (Doležal et al., 2014). Sestupné svislé proudění vody a z něho vyplývající výtok dnem lyzimetru se koncem sledovaného období obnovily a není důvod se domnívat, že by výtok byl zkrácený na tu či na onu stranu v důsledku předchozího sucha.



Obr. 4: Hmotnosti lyzimetru a zásobní nádoby v době sucha od 1.7. do 24.10.2013.

Co jsme nečekali, byla reakce vakuového systému lyzimetru na počínající sucho. Docházelo k tomu, že občas po dobu jedné nebo několik málo hodin hmotnost zásobní nádoby rychle stoupala a pak se zase rychle vracela na původní hodnotu, aniž by se přitom jakkoli změnila hmotnost samotného lyzimetru (obr. 4). K tomuto jevu docházelo zhruba s denní periodicitou, většinou uprostřed dne. Předpokládáme, že se jedná o dočasné čerpání vody do zásobní nádoby z hadiček a jiných prostorů vakuového systému mezi lyzimemem a zásobní nádobou. Tyto prostory nejsou váženy ani jednou z obou vah a za obvyklých okolností neobsahují mnoho vody, resp. množství vody v nich je přibližně konstantní, takže nepůsobí rušivě. V době sucha se však v denní době v důsledku zvýšené evapotranspirace zvyšuje podtlak půdní vody v lyzimemem a je na nějakou dobu překonána vstupní hodnota vzduchu pórovitých materiálů pod jeho dnem. Do vakuového systému tak dočasně pronikne vzduch z lyzimetru a vývěva se snaží tento vzduch i s vodou odčerpát, přičemž voda vytéká do zásobní nádoby. Po skončení kritického denního období se hydraulické spojení s lyzimemem obnoví a voda je jím nasáta zpátky. Podobné peaky jsou pozorovatelné i na čáře tlaku pode dnem lyzimetru (obr. 2). Oba druhy peaků považujeme za artefakty a při vyhodnocení je ignorujeme.

Další mimořádnou situací je zimní mrazové období. Lyzimetr není navržen na odolnost vůči silnému mrazu a za takové situace by se musela voda z vakuového systému a ze zásobní nádoby vypustit. Zima 2013/2014 však byla velmi mírná; dostavilo se jen několik málo mrazových dní, a proto jsme zkusili zachovat plnou funkci lyzimetru i v zimě. Výsledek je vidět na obr. 5 a 6.

Vývěva a s ní spojené hadičky jsou umístěny těsně pod víkem boxu se zásobní nádobou, a jejich zamrznutí je proto snadné. Měření je tím krátkodobě narušeno. Během letošní zimy se krátkodobé zamrznutí těchto součástí (nebo jen některých míst v nich) objevilo třikrát, přičemž v jednom případě bylo nutno hadičky u vývěvy rozpojit a zbavit ledu. Zámrz je signalizován zvýšeným rozdílem mezi tlakem vody v půdě podle referenčního tenziometru a tlakem měřeným ve vakuovém systému, který by měl být spojen se dnem lyzimetru, ale v této situaci s ním spojen není. Rozdíl může směřovat na tu či na onu stranu, jak ukazuje obr. 5. Z příčin, které se nám zatím nepodařilo zjistit, přitom anomálně kolísá i čtení hmotnosti lyzimetru (obr. 6), zatímco čtení hmotnosti zásobní nádoby není ovlivněno. Je tedy vhodné vybavit box zásobní nádoby pro tento účel termostatem a v zimě jej přikrývat.

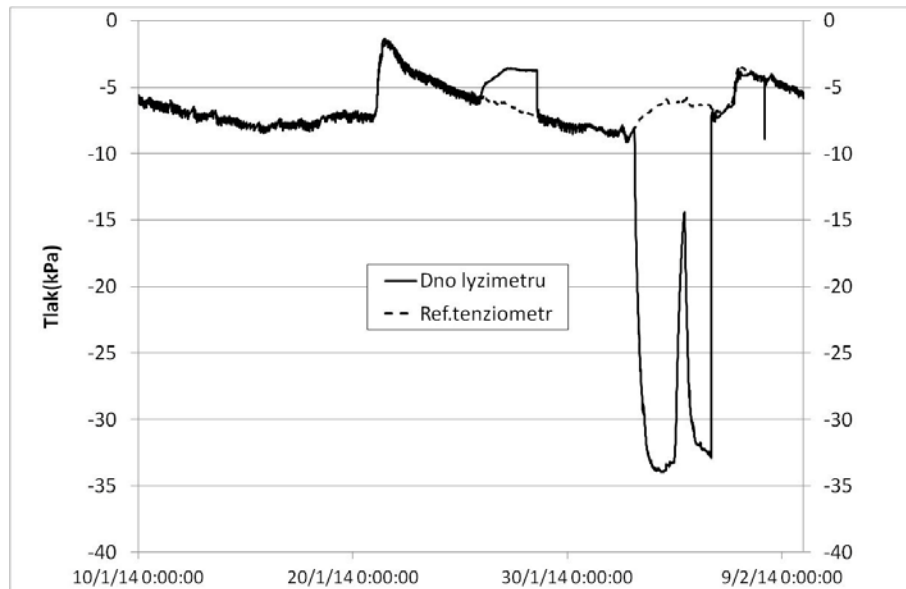
Z dalších zkušeností získaných během prvního roku provozu lyzimetru vyjímáme:

1) V důsledku vysoké tepelné vodivosti kovového pláště (válece) lyzimetru jsou teploty půdy uvnitř lyzimetru poněkud vyšší než v přirozené půdě. Naproti tomu vlhkost půdy a tlak půdní vody jsou

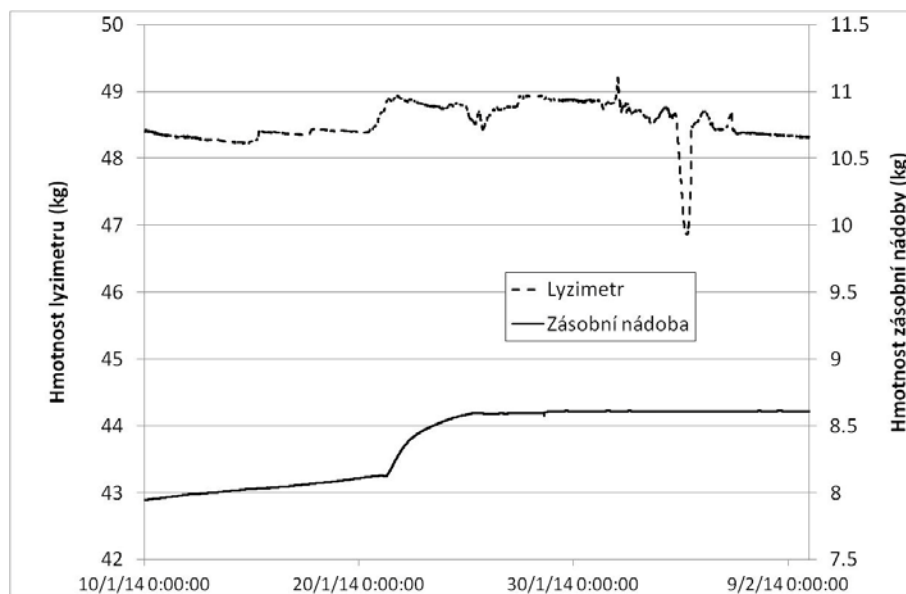
uvnitř lyzimetru ve statisticky uspokojivé shodě s poměry v okolní přirozené půdě. Tomuto tématu bude věnována samostatná podrobnější studie.

2) Solární panel v zimním období nestačí zásobovat přístrojovou skříň elektrickým proudem, a je proto nutný přívod síťového napětí.

3) Zásobní nádoby není vybavena automatikou, která by do ní doplňovala vodu nebo ji odčerpávala. Za dosavadní necelý rok provozu bylo nutno třikrát odebrat ze zásobní nádoby přebytečnou vodu (celkem cca 10 litrů), ale ani jednou nebylo nutno vodu doplňovat.



Obr. 5: Průběh tlaku půdní vody podle měření referenčním tenziometrem T8 v hl. 30 cm v přirozené půdě a tlaku ve vakuovém systému spojeném se dnem lyzimetru v zimním období s výskytem mrazových dní od 10.1. do 9.2.2014.



Obr. 6: Hmotnosti lyzimetru a zásobní nádoby v období mrazových dní od 10.1. do 9.2.2014.

Závěry

Instalace lyzimetru je v hluboké černozemní hlinité půdě téměř bez skeletu dobře proveditelná, vyžaduje však pečlivou práci a technickou invenci. Po necelém roce provozu můžeme konstatovat, že lyzimetr funguje dobře, plní účely, pro které byl pořízen, a přináší velké množství informací.

Poděkování

Tato práce byla vykonána za podpory projektu "Časová a prostorová variabilita hydraulické vodivosti půd" (7AMB12SK019) podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky (1.1. - 31.12.2013) v rámci aktivity MOBILITY (česko slovenský projekt) a výměnného programu AKTION mezi Rakouskou republikou a Českou republikou, projektů 64p12 PREFLOWAT and 67p10 PREFLOWAT2.

Literatura

- Decagon Devices (2014): MPS-2 Dielectric Water Potential. Product Overview. <http://www.decagon.com/products/soils/water-potential/mps-2-water-potential-temperature/>, accessed 21 March 2014.
- Doležal, F., Matula, S., Moreira Barradas, J. M. (2012a): Improved horizontal installation of large soil moisture content sensors and interpretation of their readings in terms of preferential flow. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 60, 333–338.
- Doležal, F., Matula, S., Moreira Barradas, J.M. (2012b): Percolation in macropores and performance of large time-domain reflectometry sensors. *Plant, Soil and Environment*, 58, 503-507.
- Doležal, F., Mekonnen, G. B., Matula, S., Miháliková, M., Fišák, J., Chala, A. T., Hrkalová, M., Moreira Barradas, J. M. (2013): Měření evapotranspirace, srážek, infiltrace a průsaku pomocí malého inteligentního lyzimetru. In: *State of Knowledge in Hydrological Sciences Research*. 23-25 September 2013, Smolenický zámok, Slovakia. Conference Proceedings on CD, p. 52-63. Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava. ISBN 978–80–89139–30–9.
- Doležal F., Miháliková, M, Matula, M., Moreira Barradas, J. M., Mekonnen, G. B. (2014): Vliv různých způsobů filtrace signálu na měření hustoty svislého toku vody malým inteligentním lyzimetrem SMF UMS In: *Hydrologie malého povodí 2014*. ÚH AV ČR, Praha (this volume).
- de la Hire, P. (1720) *Mémoires de mathématique et de physique, tirés des registres de l'Academie royale des sciences, de l'année MDCCIII. Remarques sur l'eau de la pluie, sur l'origine des fontaines; avec quelques particularités sur la construction des citernes*. *Hist. de l'Acad. Roy. des Sci. Ann.* 1703 (2): 56-59.
- Kohnke, H., Dreirelbis, F. R., Davidson, J. M. (1940) A survey and discussion of lysimeters and a bibliography on their construction and performance. United States Department of Agriculture Miscellaneous Publication No. 372, Washington, D. C., May 1940, 68 pp. http://gis.lrs.uoguelph.ca/agrienvarchives/download/lysimeter_rev_usda_1940.pdf, 20.3.2014.