

Vliv různých způsobů filtrace signálu na měření hustoty svislého toku vody malým inteligentním lyzimetrem SMF UMS

František Doležal, Markéta Miháliková, Svatopluk Matula, João Manuel Moreira Barradas,
Getu Bekere Mekonnen

Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6-Suchdol, dolezalf@af.czu.cz

The effect of the signal filtration method on the measurement of vertical water flux density using a small smart lysimeter SMF UMS

Abstract

This paper evaluates the results of measurement made by a small Smart Field Lysimeter SMF UMS under grass with a diameter 30 cm and 30 cm deep. Both the lysimeter and a storage vessel connected to it are weighed every minute. A suction corresponding to that of water in the natural soil profile is automatically maintained at the bottom of the lysimeter. The recorded signals are affected by noise. Therefore, the lysimeter and storage vessel mass variations in time were smoothed using moving averages of various lengths (10, 60, 180 and 360 min) and then differentiated with respect to time. The derivatives were then again smoothed using moving averages. The resulting flux densities at the top (rain and evapotranspiration rates) and at the bottom (percolation and capillary rise rates) are affected by filtration parameters. While the overall changes of the lysimeter mass or the storage vessel mass over the period of observation as obtained by integration of the smoothed derivatives are to a large extent independent of the length of the moving averages, the integrals of the four above-mentioned flux densities do depend on it and their absolute values usually decrease with the increasing length of the averages. The most suitable length of the moving averages lies between 80 and 180 min, being a compromise between the need to capture the rapid changes of flux densities and to minimise the risk of overestimation of the fluxes by accounting the noise. The lysimeter proves to be a suitable equipment for measuring the actual evapotranspiration and percolation rates. It also provides a sufficiently accurate information on precipitation. The measured rates of capillary rise very very low.

Key words: soil water balance, actual evapotranspiration, precipitation, rain, percolation, tensiometer, automatic weighing, noise, moving averages

Abstrakt

V této práci jsou vyhodnoceny výsledky měření malým inteligentním lyzimetrem (Small Field Lysimeter) SMF UMS s travním porostem o průměru 30 cm a hloubce 30 cm. Lyzimetr i zásobní nádoba s vodou připojená k jeho dnu jsou automaticky váženy každou minutu. Na dně lyzimetru je automaticky udržován podtlak odpovídající tlaku vody v přirozeném půdním profilu. Zaznamenané signály jsou ovlivněny šumem, který je nutno odfiltrovat. Pro tři několikadenní období s různým počasím byl průběh hmotností lyzimetru a zásobní nádoby v čase vyhlazen klouzavými průměry různé délky (10, 60, 180 a 360 min), načež byl derivován podle času a derivace byla poté opět vyhlazena klouzavými průměry. Výsledné hodnoty hustoty toků na horní (intenzita deště a evapotranspirace) a spodní (průsak a kapilární vztlínání) základně lyzimetru jsou ovlivněny parametry filtrace. Zatímco celková změna hmotnosti lyzimetru a nádoby během sledovaného období, získaná zpětnou integrací vyhlazených derivací podle času, je do značné míry nezávislá na délce klouzavých průměrů, integrály zmíněných čtyř hustot toků na ní závisejí a jejich absolutní hodnoty většinou klesají s rostoucí délkou průměru. Nejvhodnější délka klouzavých průměrů leží mezi 60 a 180 min a je kompromisem mezi potřebou vystihnout rychlé změny hustot toků a nebezpečím nadhodnocení toků započítáním šumu. Lyzimetr se osvědčil jako vhodné zařízení k měření aktuální evapotranspirace a intenzity průsaku. Poskytuje i uspokojivě přesné údaje o srážkách. Naměřené intenzity kapilárního vztlínání byly velmi malé.

Klíčová slova: bilance půdní vody, aktuální evapotranspirace, srážky, dešť, průsak, kapilární vztlínání, tenziometr, automatické vážení, šum, klouzavé průměry

Úvod

Pro hospodaření s vodou v krajině potřebujeme znát a bilancovat základní prvky cyklického oběhu vody. Pro půdní profil konečné hloubky s malým sklonem povrchu pokrytý nízkou a souvislou vegetací lze ve většině případů použít bilanční rovnice:

$$P = ET + Q + \Delta I + \Delta W \quad (1)$$

kde P je úhrn srážek, ET je úhrn aktuální evapotranspirace a Q je úhrn průsaku spodní hranicí profilu, zatímco ΔI je změna zásoby vody nad povrchem půdy (kladná, jde-li o přírůstek) a ΔW je analogická změna v půdním profilu, to vše za určité bilancované období a na jednotku vodorovného průmětu plochy terénu. Všechny veličiny v (1) se typicky vyjadřují v mm. Analogická rovnice platí i pro derivace uvedených veličin podle času. Srážky mohou zahrnovat i závlahu, usazené srážky (např. rosu nebo jinovatku) a kondenzaci vodní páry v půdě (se záporným znaménkem), průsak může zahrnovat i kapilární vztlínání (se záporným znaménkem) a ΔI zahrnuje změnu povrchové detence kapalné nebo pevné vody, zatímco ΔW zahrnuje změnu zásoby vody v nenasyčené i nasycené zóně. Pohyb vody po povrchu půdy (např. povrchový ron) nebo v půdě (např. hypodermický nebo podzemní odtok) ve směrech příčných vůči vertikální ose půdního profilu je už v členech ΔI a ΔW zahrnut (lyzimetry však většinou takový pohyb neumožňují, a proto je lépe se omezit na případy, kdy je zanedbatelný).

Vážený lyzimetr umožňuje přímo měřit součet ($\Delta I + \Delta W$). Je-li navíc možno měřit i objem průsaku (resp. kapilárního vztlínání) Q , stává se účinným nástrojem k měření součtu srážek P a evapotranspirace ET . Další analýzou je pak možno oddělit od sebe srážky a evapotranspiraci, resp. průsak a kapilární vztlínání. Lyzimetr tedy může fungovat nejen jako výparoměr a průsakoměr, ale také jako srážkoměr a měřič kapilárního vztlínání, to vše samozřejmě s určitými výhradami a omezeními. Jednou z podstatných podmínek je schopnost lyzimetru měřit v krátkých časových intervalech. Podobnou analýzu funkce lysimetrů provedl např. Nolz (2013).

Materiál a metody

Měření je konáno na stanici sledování transportních procesů a dynamiky půdní vlhkosti Katedry vodních zdrojů Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v Praze–Suchbátově. Nadmořská výška, zeměpisná šířka a délka tohoto stanoviště jsou, v pořadí, 281 m n.m., 14°22'V a 50°08'S. Dlouhodobý průměrný srážkový úhrn a dlouhodobá průměrná roční teplota vzduchu na stanici Českého hydrometeorologického ústavu v Praze-Karlově za období 1961–2000 činí v pořadí, 431 mm a 9.3°C (Růžková et al., 2011). Půda na stanovišti (Němeček, 2010, osobní sdělení) je hlinitá modální černozem na spraši (Němeček, 2001). Hranice mezi horizonty A a C leží zhruba v hloubce 35 cm, z čehož vyplývá, že lyzimetr hluboký 30 cm obsahuje pouze půdu z horizontu A. Podrobnější popis stanoviště uvádějí např. Doležal et al. (2012a; 2012b; 2013). V půdním profilu ani v podložní spraši do hloubky nejméně několika metrů se nevyskytuje žádná trvalá hladina podzemní vody. Půda je mírně bobtnavá a smršťivá. Půdní struktura je drobtovitá v horizontu A, na vyšší úrovni organizace prizmatická. Pozemek byl po několik posledních století obhospodařován jako orná půda. Tráva byla zasetá na jaře 2009 a od té doby je udržována jako nízký trávník, jehož výška na povrchu lyzimetru se pohybuje mezi 5 a 10 cm. Půda od té doby není hnojena ani zavlažována. Travní porost v suchých obdobích zřetelně strádá nedostatkem vláhy. Mocnost hlavní masy kořenového systému je 10 až 15 cm. Půda má poměrně dobrou vnitřní drenáž. Krátkodobé zaplavení povrchu půdy je velice řídkým jevem a může nastat jen během velmi intenzivních přívalových dešťů. Během lyzimetrického měření nebylo zaplavení zjištěno. Terén je prakticky vodorovný.

Zdokonalený malý inteligentní lysimetr (Smart Field Lysimeter) SFL-300, výrobek společnosti UMS (http://www.ums-muc.de/lysimeter_systeme/lysimeter/smart_field_lysimeter_sfl.html) byl instalován na výše popsaném stanovišti 25. dubna 2013 a měření probíhá dodnes. V tomto článku představujeme výběrová data za tři typická období roku 2012. Základem lyzimetru je válcová nádoba z nerezové oceli o průměru 30 cm a výšce 30 cm. Válec je naplněn neporušeným půdním monolitem pokrytým vegetací (trávou) z téhož stanoviště a z týchž hloubek (0 – 30 cm). Je uložen ve větším podzemním

kontejneru na elektrické váze. Na spodní straně lyzimetru je automaticky udržována sací výška přibližně stejná jako čtení referenčního tenziometru T8 (UMS) umístěného v hloubce 30 cm pod povrchem v rostlé půdě ve vzdálenosti cca 1 m od lyzimetru. Tím je zajištěno, že vodní režim půdy v lyzimetru je trvale přibližně stejný jako v rostlé půdě. Výjimkou jsou velmi suchá a mrazová období. V misce s pórovitým materiálem na spodní straně lyzimetru jsou umístěny keramické sukční kelímky, ve kterých je příslušný podtlak udržován vývěvou elektronicky řízenou. Velikost tohoto podtlaku je měřena a zaznamenávána. Přebytečná voda ze spodku lyzimetru je odčerpávána do zásobní nádoby v dalším podzemním kontejneru, která je také kontinuálně vážena. Podrobnější technický popis uvádějí Doležal et al. (2013) a Matula et al. (2014). Data elektrických vah (snímačů síly) pod vlastním lyzimetrem (*LYW*) a pod zásobní nádobou (*SWW*) jsou zaznamenávána v minutových intervalech. Jsou vyjádřena v kg, ale lze je snadno převést na ekvivalentní vrstvu kapalné vody, známe-li plochu povrchu lyzimetru ($\pi \times (0,3 \text{ m})^2 / 4$). Tato data jsou ovlivněna šumem elektronickým, mechanickým (např. z poryvů větru, jak dokládá Nolz, 2013) a numerickým (z malého počtu platných číslic ukládaných dat). Šum je proto nutno numericky filtrovat, za cenu možného informačního ochuzení o záznamy relevantních velmi rychlých procesů a z toho vyplývající deformace distribučních funkcí hustot toků. Doležal et al. (2013) filtrovali lyzimetrická data tak, že nejprve byly ze základního souboru vybrány pouze hodnoty změřené v celých desítkách minut (ostatní byly ignorovány) a ve druhém kroku byly z těchto vybraných dat vypočteny klouzavé průměry pěti po sobě následujících hodnot (tedy za 50 min) a přiřazeny času prostřední hodnoty. Následující numerická derivace podle času v kroku 10 min nebyla vyhlazována.

Předběžnou teoretickou interpretaci těchto měření provedli např. Doležal et al. (2013). Celkové množství vody v lyzimetrickém systému (v půdním monolitu a v zásobní nádobě), při zanedbání vody ve vývěvě a spojovacích hadicích, které nejsou váženy) je reprezentováno součtem *LYW* a *SWW*. Tento součet, zmenšený o hodnoty na počátku sledovaného období, odpovídá součtu členů ΔW a Q v bilanční rovnici (1). K jeho změnám může dojít pouze v důsledku srážek nebo evapotranspirace, protože systém je uzavřen všude kromě horního povrchu lyzimetru. Lyzimetr bez doplňkových čidel neumožňuje odlišit intercepci vody na porostu a detenci na povrchu půdy od infiltrace vody do půdy, a proto všechny tři tyto složky považujeme za infiltraci. Opačně, do evapotranspirace měřené lyzimetrem zahrnujeme i výpar z povrchové detence a z intercepce. Po těchto zjednodušeních je člen ΔI v rovnici (1) formálně nulový. Lyzimetr samotný, bez doplnění dalšími přístroji, tedy poskytuje hodnoty *LYW* + *SWW*, které odpovídají rozdílu $P - ET$ a podle (1) také součtu $\Delta W + Q$:

$$P - ET = Q + \Delta W = LYW - LYW_0 + SWW - SWW_0 \quad (2)$$

kde LYW_0 a SWW_0 jsou konstantní hodnoty *LYW* a *SWW*, v pořadí, na začátku bilancovaného období (po diferencování zmizí).

Samotná evapotranspirace *ET* (zde se záporným znaménkem) se dá odtud vypočíst dvěma způsoby. Při prvním postupu se od hodnoty $P - ET$ podle (2) odečte kumulativní srážkový úhrn změřený nezávislým srážkoměrem P_r za odpovídající období. Výsledná evapotranspirace ET_r , kde index *r* znamená „rain gauge“ (stejně jako u symbolu P_r), je:

$$ET_r = LYW - LYW_0 + SWW - SWW_0 - P_r \quad (3)$$

Příklady hodnot takto získané evapotranspirace uvádějí Doležal et al. (2013). Druhou metodou je odlišení srážek (včetně případné kondenzace vodní páry v půdě a na jejím povrchu) od evapotranspirace podle algebraického znaménka derivace $d(LYW+SWW)/dt$ v každém dílčím intervalu (v tomto článku o délce 1 min). Je-li tato derivace kladná, předpokládáme se, že jde o srážky nebo kondenzaci. Je-li záporná, má se za to, že jde o evapotranspiraci. Oddělené kladné a záporné hodnoty derivací jsou poté integrovány, čímž se získají odhady úhrnů srážek P_l (včetně kondenzace) a skutečné evapotranspirace ET_l , kde index *l* znamená „lysimeter“. Tento postup, ke kterému není nutný žádný srážkoměr, může způsobit určité podhodnocení jak srážek, tak evapotranspirace, pokud oba procesy pobíhají současně

(v rámci téhož intervalu průměrování nebo derivování), ale na druhé straně také jejich nadhodnocení, pokud se do integrace podle (6) a (7) zahrnou drobná kolísání LYW a SWW způsobená šumem.

Obdobně hrubý průsak Q (včetně případného kapilárního vztlínání) skrze dno lyzimetru je:

$$Q = QN - CR = SWW - SWW_0 \quad (4)$$

kde QN je čistý průsak a CR je čisté kapilární vztlínání. Jak QN , tak CR lze získat rozříděním hodnot $SWW - SWW_0$ za jednotlivá období podle jejich algebraických znamének, obdobně jako v případě ET_i a P_i . QN je integrálem kladných derivací SWW podle času a CR je integrálem záporných derivací.

Průběhy LYW a SWW během testovacích období byly vyhlazeny centrálními klouzavými průměry z 10, 60, 180 a 360 hodnot. Poté byly pro každý jednominutový interval vypočteny derivace těchto vyhlazených hodnot $dLYW/dt$ a $dSWW/dt$ jednoduchým diferenčním vzorcem:

$$\frac{dy}{dt} \Big|_{t=t_i} \approx \frac{y_i - y_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \quad (5)$$

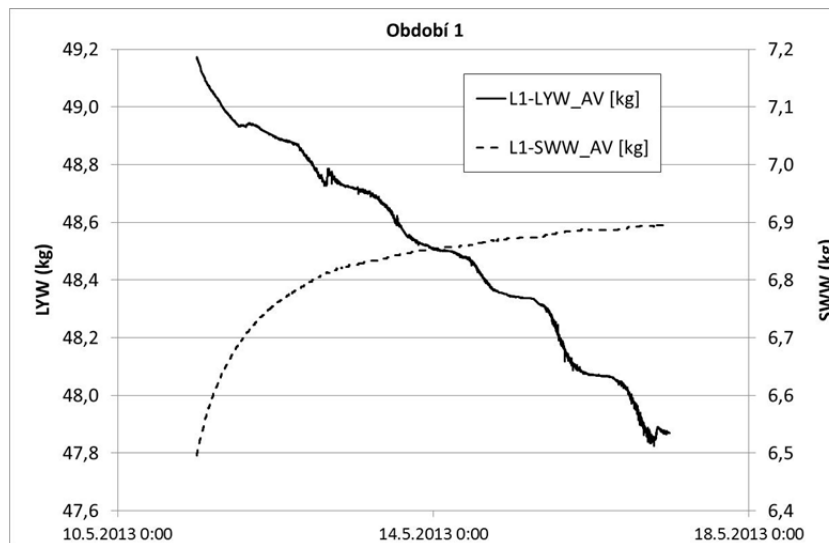
kde y je LYW nebo SWW . Takto vypočtené derivace byly opět podrobeny vyhlazení centrálními klouzavými průměry, přičemž délka průměru (počet průměrovaných prvků) byl stejný jako v první etapě výpočtu. Ze výsledných vyhlazených průběhů derivací byly pro každý minutový interval vypočteny hodnoty $d(P - ET)/dt$ pomocí diferenciální varianty rovnice (2). Z nich byly separovány hodnoty dP/dt a dET_i/dt postupem popsaným výše, tj. kladné derivace byly považovány za intenzitu srážky a záporné za intenzitu evapotranspirace. Obdobně byla z průběhu samotné vyhlazené derivace $dSWW/dt$ pro jednotlivé minutové intervaly vypočtena intenzita hrubého průsaku dQ/dt pomocí diferenciální varianty rovnice (4) a rozklíčována podle algebraických znamének na intenzitu čistého výparu dQN/dt a kapilárního vztlínání dCR/dt . Takto nalezené intenzity (hustoty toků) byly integrovány přes celé testovací období obdélníkovou metodou.

Výsledky a diskuse

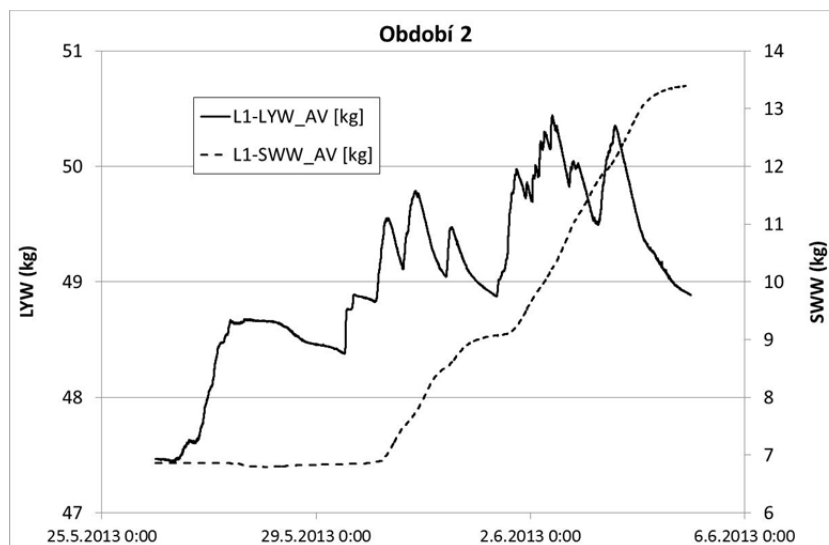
Pro testování různých způsobů filtrace byla vybrána tři několikadenní období z jara a léta 2012. Období 1 (11.5.2013 0:00 až 17.5.2013 0:00) bylo téměř beze srážek. Půda ztrácela vodu intenzivní evapotranspirací, která vykazovala zřetelnou periodicitu v denním cyklu. Současně se ještě po předchozích srážkách půda odvodňovala průsakem, který se během tohoto období progresivně zpomaloval. Po jeho odeznění se začínala voda do lyzimetru pomalu vracet zpět málo intenzivním kapilárním vztlínáním. V období 2 (26.5.2013 0:00 až 5.6.2013 0:00) spadly intenzivní a vydatné deště, které způsobily povodně v celé zemi. V přestávkách mezi dešti docházelo k nezanedbatelnému výparu. Půda byla před dešti poměrně suchá, krátce bylo pozorovatelné i kapilární vztlínání. Průsak se objevil až po určitém zpoždění, poté však byl vydatný. Období 3 (29.6.2013 0:00 až 9.7.2013 0:00) ilustruje situaci poté, co se lyzimetr a jeho automatika zotavily z krátkého období sucha. Intenzivní evapotranspirace kolísala v denním cyklu. Uprostřed tohoto období spadl středně vydatný déšť, který však nenasytil půdu natolik, aby způsobil významný průsak. Půda byla ještě dosti suchá. Na dně lyzimetru se během celého období, zejména ale před deštěm, střídaly málo intenzivní epizody průsaku a kapilárního vztlínání, možná ovlivněné funkcí systému automatické regulace podtlaku, přičemž průsak převažoval. Variace hmotnosti lyzimetru (LYW) a zásobní nádoby (SWW) během testovacích období jsou vyneseny na obr. 1, 2 a 3. Integrály intenzit (hustot toků), tj. odhady sum $(P - ET)$, P_i , ET_i , Q , QN a CR za testovací období, jsou pro jednotlivá období vynesena na obr. 4, 5 a 6.

Sumy přímo vyvozené z měřených hmotností ($P - ET$ a Q) velmi málo závisejí na délce klouzavých průměrů, i když průběhy jejich intenzit (derivací podle času) uvnitř testovacího období jsou na rozsahu průměrování velmi závislé. Čím jsou klouzavé průměry delší, tím jsou čáry intenzit hladší a jejich peaky jsou nižší a širší, plocha pod peaky se tím však mění jen málo. Úzké a nízké peaky při použití dlouhých klouzavých průměrů mizí nebo se slévají se sousedními. Celkový počet peaků (lokálních

extrémů křivek) se přitom zmenšuje a frekvenční funkce (hustota pravděpodobnosti) intenzit se přesouvá do oblasti nižších intenzit.



Obr. 1: Průběh hmotnosti lyzimetru (LYW) a zásobní nádoby (SWW) během prvního testovacího období (11.5.2013 0:00 až 17.5.2013 0:00).

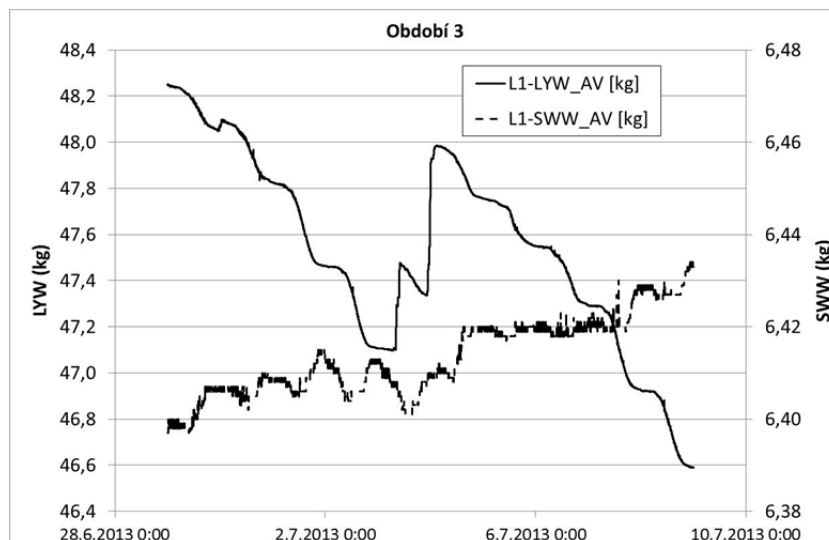


Obr. 2: Průběh hmotnosti lyzimetru (LYW) a zásobní nádoby (SWW) během druhého testovacího období (26.5.2012 0:00 až 5.6.2012 0:00).

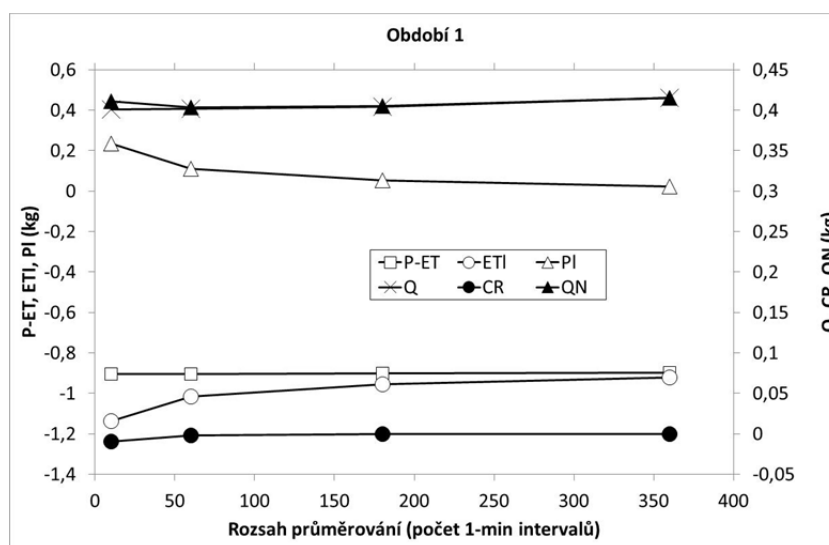
Dvojice sum získané separací kladných a záporných intenzit (P_i a ET_i nebo CR a QN) však na délce klouzavých průměrů závisí, a to tak, že absolutní hodnoty všech těchto veličin se se zmenšují, když se délka klouzavého průměru zvětšuje (s výjimkou Q a QN v prvním období). Tato závislost je výraznější pro veličiny získané separací povrchových toků (P_i , ET_i), ve kterých je zahrnuto kolísání hmotnosti lyzimetru LYW , než pro veličiny vyplývající z rozčlenění dnových toků (CR a QN). Povrchové toky jsou v čase proměnlivější a na výsledky může mít vliv i kolísání rychlosti větru, teploty, ozáření a další faktory. Ve třetím období se tendence na první pohled zdá být opačná, ale je to jen zdánlivý efekt, protože stupnice na svislých osách jsou značně rozdílné.

Vypočtené úhrny srážek (P_i) a evapotranspirace (ET_i) a v mnohem menší míře i úhrny kapilárního vztlínání (CR) a čistého průsaku (QN) při rozsazích klouzavých průměrů do 360 min ještě dostatečně nekonvergují ke konstantní hodnotě. Uplatňuje se zde jednak vliv vyššího stupně potlačení šumu del-

šími průměry, ale současně i vzájemná kompenzace pozitivních a negativních půlvln oscilací hmotnosti lyzimetru (LYW) a hmotnosti zásobní nádoby (SWW), které nemusí být jen důsledkem šumu, ale mohou odpovídat skutečným fyzikálním jevům o vysoké frekvenci (řádu několik minut nebo desítek minut). Bude nutno prozkoumat další modifikace metodiky filtrace šumu a jejich účinek na výsledné hodnoty, zejména srážek a evapotranspirace. Další prodloužení rozsahu klouzavých průměrů by však už neúnosně vyhlazovalo denní cyklus evapotranspirace.

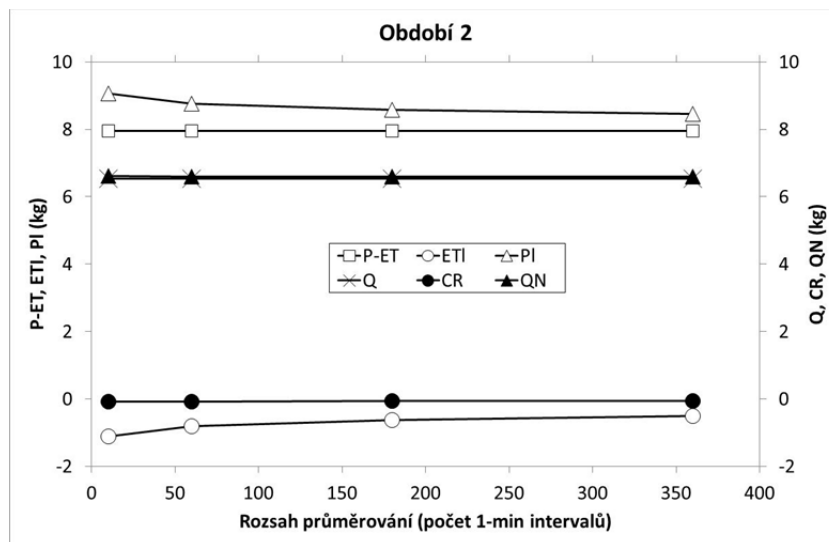


Obr. 3: Průběh hmotnosti lyzimetru (LYW) a zásobní nádoby (SWW) během třetího testovacího období (29.6.2013 0:00 až 9.7.2013 0:00).

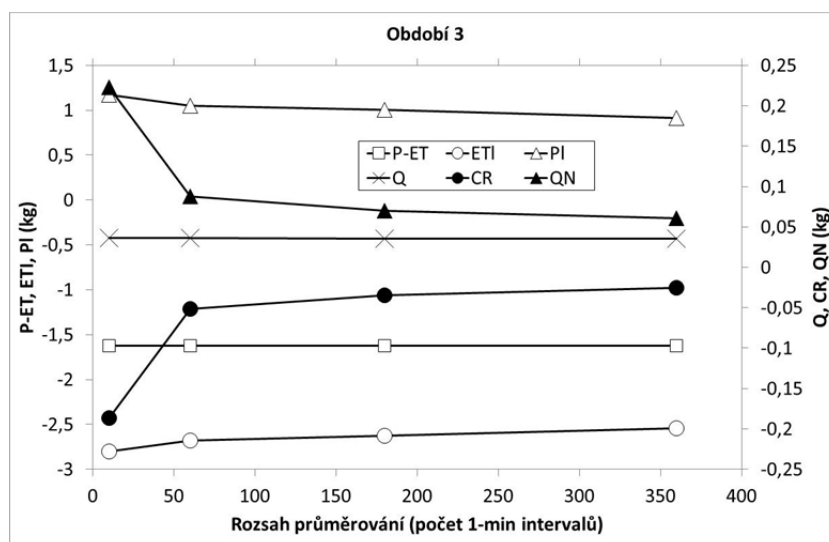


Obr. 4: Závislost vypočtených celkových hodnot změny obsahu vody v systému ($P - ET$), úhrnu srážek (P_i), úhrnu evapotranspirace (ET_i), změny hmotnosti zásobní nádoby (hrubého průsaku Q), úhrnu kapilárního vztlínání (CR) a úhrnu čistého průsaku (QN) na délce klouzavých průměrů pro první testovací období (11.5.2012 0:00 až 17.5.2012 0:00).

Při mírném nebo přerušovaném dešti se část vody vypařuje ihned, ještě v průběhu deště. Tento efekt se však samotným lyzimetrem podchytit nedá. K jeho měření by bylo nutno použít paralelního velmi přesného srážkoměru; výpar z něho by musel být prakticky zcela vyloučen. Je otázkou, do jaké míry je to potřebné, když z hlediska pohybu vody v půdě se jako horní okrajová podmínka stejně uplatní jen rozdíl obou simultánních procesů.



Obr. 5: Závislost vypočtených celkových hodnot změny obsahu vody v systému ($P - ET$), úhrnu srážek (P_i), úhrnu evapotranspirace (ET_i), změny hmotnosti zásobní nádoby (hrubého průsaku Q), úhrnu kapilárního vztlínání (CR) a úhrnu čistého průsaku (QN) na délce klouzavých průměrů pro druhé testovací období (26.5.2012 0:00 až 5.6.2012 0:00).



Obr. 6: Závislost vypočtených celkových hodnot změny obsahu vody v systému ($P - ET$), úhrnu srážek (P_i), úhrnu evapotranspirace (ET_i), změny hmotnosti zásobní nádoby (hrubého průsaku Q), úhrnu kapilárního vztlínání (CR) a úhrnu čistého průsaku (QN) na délce klouzavých průměrů pro třetí testovací období (29.6.2013 0:00 až 9.7.2013 0:00).

Za odhad absolutní chyby výpočtu lze vzít např. absolutní hodnotu rozdílu mezi úhrnným tokem vypočteným za celé testovací období klouzavými průměry 60 min a tímž tokem při délce klouzavých průměrů 360 min.. Za odhad relativní chyby pak může sloužit tentýž odhad absolutní chyby dělený např. absolutní hodnotou úhrnného toku při 60-minutových klouzavých průměrech. S výjimkou jediného případu (evapotranspirace ET_i v deštivém období 2) ze dvanácti hodnocených, tj. ze čtyř separovaných toků (P_i , ET_i , CR , QN) ve třech testovacích obdobích, byla vždy splněna podmínka, že buď absolutní chyba byla menší než 2 mm nebo relativní chyba byla menší než 5 %.

Při použité metodě filtrace šumu je nutno délku klouzavých průměrů optimalizovat. Použijeme-li jako kritérium optimalizace výstižnost úhrnů všech zúčastněných toků za cca jedno- až dvoutýdenní obdo-

bí, jak je tomu v této práci, pak lze učinit závěr, že optimální délka klouzavých průměrů se pohybuje mezi 60 a 180 minutami. Další upřesnění by bylo možné srovnáním s přesným srážkoměrem.

Kapilární vztlínání je ve vodou nenasyčené černozemní půdě v hloubce 30 cm velmi nízké. Absolutní hodnota úhrnu kapilárního vztlínání filtrovaná pomocí klouzavých průměrů 60-minutových nebo delších za žádné období nepřekročila 1 mm, takže odhady chyb nejsou příliš reprezentativní.

Závěr

Malý inteligentní lyzimetr se osvědčil jako vhodné a prakticky nenahraditelné zařízení k měření aktuální evapotranspirace a hustot toků vody v půdě v hloubce svého dna. Poskytuje i údaje o srážkách. Nejvhodnější délka klouzavých průměrů použitých k filtraci šumu leží mezi 60 a 180 min a je kompromisem mezi potřebou realisticky odhadnout rychlé změny hustot toků a nebezpečím nadhodnocení toků započítáním šumu. Metodu filtrace šumu lze dále zpřesňovat, ale už nyní lze konstatovat, že její výsledky jsou smysluplné a s ohledem na jiné zdroje chyb (např. měření srážek běžnými srážkoměry) také dostatečně přesné, možná s výjimkou kapilárního vztlínání.

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. Autoři děkují společně s UMS GmbH, München, a Eko-technika spol. s r.o. za všestrannou asistenci při instalaci lyzimetru a při jeho provozu.

Literatura

- 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.
- Matula S., Miháliková, M., Mráz, A., von Unold, G., Chala, A. T., Hrkalová, M., Doležal, F. (2014): Zkušenosti z instalace a provozu malého polního lyzimetru SFM UMS. In: *Hydrologie malého povodí 2014*. ÚH AV ČR, Praha (this volume).
- Němeček, J. (2001): Taxonomický klasifikační systém půd České republiky. Česká zemědělská univerzita, Praha. 79 s.
- Nolz R. (2013): Performance assessment of selected devices for monitoring soil water balance components with respects to agricultural water management. Dissertation - Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft (IHLW), BOKU-Universität für Bodenkultur, Wien. 99 p. https://forschung.boku.ac.at/fis/suchen.hochschulschriften_info?sprache_in=de&menue_id_in=206&id_in=&hochschulschrift_id_in=10871, June 22, 2013.
- Růžková, M., Růžek, L., Voříšek, K., Vráblík, P., Musilová, D. (2011): Microbiological characterization of land set-aside before and after Roundup desiccation. *Plant, Soil and Environment*, 57, 88-94.