

AUTOMATIZACE MĚŘENÍ VÝPARU V CHMU

D. Bareš, M. Možný, J. Stalmacher

Český hydrometeorologický ústav, Observatoř Doksany, 41182 Doksany, ČR,
daniel.bares@chmi.cz, martin.mozny@chmi.cz

Evaporation is an important, but often-overlooked, climate element. In spite of its importance, evaporation is routinely measured at only a few meteorological stations in Czech hydrometeorological institute from GGI-3000 pans. Original manual measurements stepwise were replacement by more accuracy automatic measurements.

In 2000-2002 concurrent automatic and manual measurements of evaporation from free water level were carried out at Kostelní Myslová station and Doksany observatory. An analysis pointed out drawbacks of manual measurements caused both by random or systematic errors resulting from properties of the GGI 3000 pans and measurement methodology. At automatic measurements water level is measured by a precision digital sensor with the resolution of 0,025 mm. Within everyday calibration of the measuring instrument it comes to water filtration. The measurement is more accurate and provides information about daily variation of evaporation.

Automatic evaporation monitoring system has been installed as yet at 16 stations of the Czech Hydrometeorological Institute. 72 percent of evaporation network have been automated. Doksany observatory set up, manage and maintain automation evaporation station networks. Obtained high-quality evaporation data will be used together with lysimetric measurements from the Doksany observatory and Kuchařovice station for calibration of evapotranspiration models to the conditions of the Czech Republic.

Key words: evaporation measurements, GGI-3000 pans, automation

1. Úvod

Výparem rozumíme množství vody odpařené za určitou dobu z různých povrchů, a to jak z půdy a vodní hladiny, tak i prostřednictvím fyziologických procesů živých organismů, především rostlin. Jedná se o významnou složku vodní bilance území (Parcevaux et al., 1990). Pro měření výparu z volné vodní hladiny se používají v Českém hydrometeorologickém ústavu (ČHMÚ) od roku 1968 výparoměry GGI 3000, výparoměr Class-A-Pan je využíván pro souběžná srovnávací měření v observatoři v Doksanech (Možný, Bareš, 2005). Měření evapotranspirace probíhá od roku 1991 v gravitačním monolitickém lyzimetru v observatoři Doksany, v roce 2006 bylo měření rozšířeno o stanici Kuchařovice (Možný, 2005).

V roce 1999 bylo v rámci ČHMÚ rozhodnuto o postupné modernizaci a automatizaci měření výparu z výparoměru GGI 3000. Hlavním důvodem byl až na několik málo výjimek neuspokojivý stav těchto přístrojů, ale i samotného měření a snaha získat hustou a kvalitní síť výparoměrných stanic pro testování a kalibraci evapotranspiračních modelů. Toto rozhodnutí v praxi znamenalo navrhnout systém, který by vyřešil měření změn výšky hladiny a povrchové teploty vody ve výparoměrné nádobě, srážek a komunikaci s automatickým měřícím systémem již používaným v síti profesionálních a dobrovolných stanic ČHMÚ. Vysoké nároky na přesnost nesplnily v průběhu testování kapacitní a tenzometrické snímače, díky své nelinearitě při změnách dielektrické konstanty a teploty vody ve výparoměru a analogové snímače, díky svému malému rozlišení. Nejvhodnějším řešením se ukázalo digitální snímání výšky hladiny optickým snímačem od firmy AsysDevelop, navržený systém byl označen jako výparoměr EWM (Možný, 2003). Výsledky testování potvrdily doporučení, které uvádí ve své práci Ďaďo (1999).

2. Složení výparoměru EWM

Výparoměrná nádoba

Z dosavadního výparoměru GGI 3000 byly převzaty rozměry výparoměrné nádoby (válec o průměru 30,9 cm a výšce 60 cm) a zachováno její zapuštění do země po patky. Plocha vodní hladiny výparoměru tak zůstala 3 000 cm². Nádoba byla vyrobena z nerezového plechu ze zesíleným dnem, aby byly eliminovány problémy s korozí a změnou barvy. V nádobě není nosná tyč se stavovou jehlou, neboť vlastní měřicí zařízení je zde umístěno mimo vlastní nádobu z boku.

Přístroj pro měření a regulaci hladiny vody

Vlastní měřicí zařízení je umístěno v nerezové nádobě válcovitého tvaru o průměru 7,5 cm s víkem, spojené s výparoměrnou nádobou (obr. 1). Využitím principu spojitých nádob dochází k vyrovnání hladin ve výparoměrné a měřicí nádobě. Hladina vody v měřicí nádobě je měřena plovákovým způsobem, přičemž poloha plováku je sledována precizním digitálním optickým snímačem polohy s rozlišením 0,025 mm. Kontinuálně se registrují jak úbytky vody výparem, tak i vzestupy hladiny vlivem srážek. Vlastní konečný výpar je dán součtem diference (sumy rozdílů výšek hladin) a úhrnu spadlých srážek. Na vývoji řídicího firmwaru spolupracoval dodavatel zařízení s observatoří Doksany. Přístroj EWM je možno přes rozhraní RS485 a hyperterminál Windows libovolně nakonfigurovat. Především se dá zvolit typ snímače, jeho rozlišení, interval měření, nastavit čas, zvolit teplotní mez pro kalibraci, případně provést cyklus nastavovacích měření.

Obr. 1 Výparoměr EWM



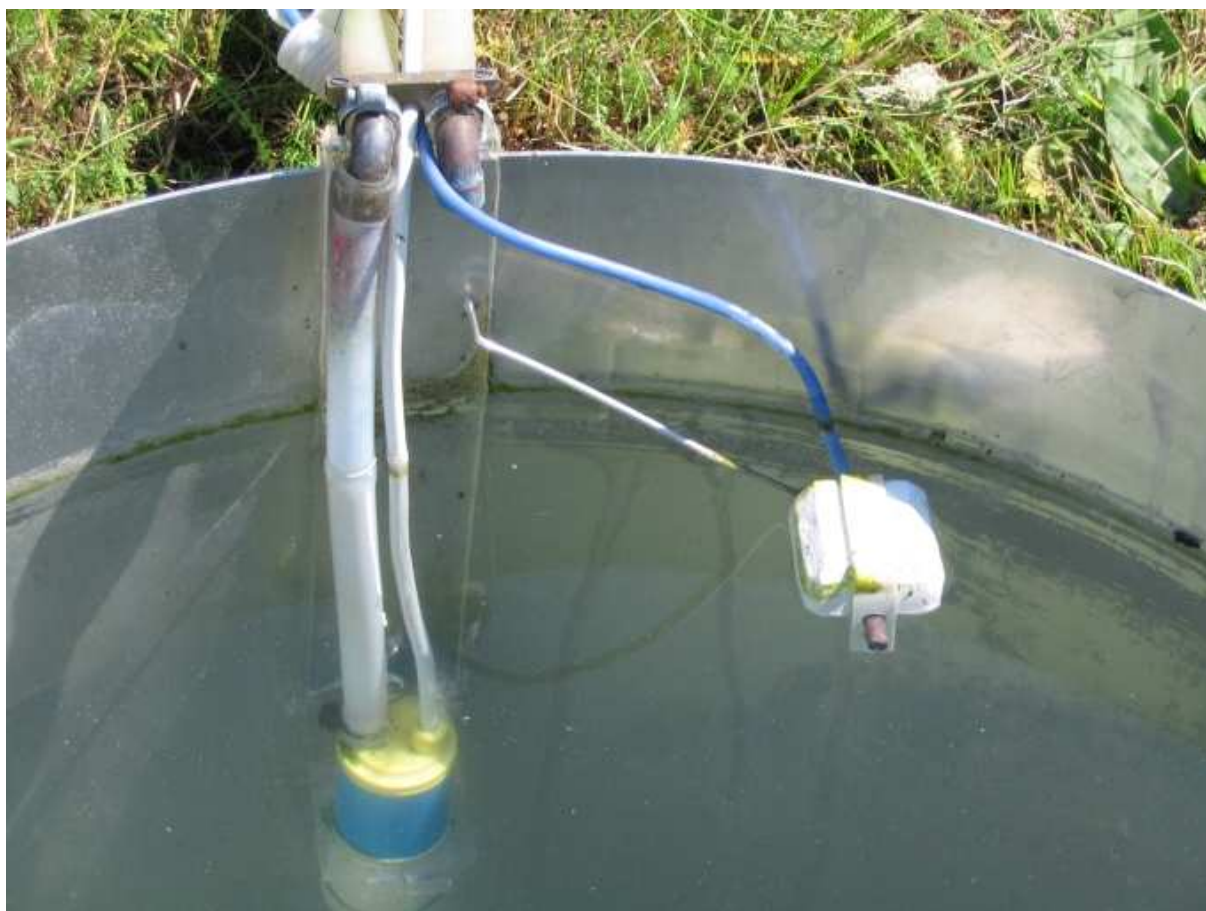
Hladina vody ve výparoměrné nádobě je automaticky regulována ve zvolených mezích (-17 až +17 mm), v případě poklesu či vzestupu vody mimo zvolené meze se zapne příslušné čerpadlo, které dočerpá, případně odčerpá vodu na tzv. „počáteční nulovou hladinu“. Tato hladina je každý den v 7 h SEČ nastavována v rámci každodenní kalibrace modulu. V případě, že plovák nereaguje (z důvodů zámruzu či nedostatku vody v zásobním barelu s vodou, nebo je naměřená povrchová teplota ve

výparoměru pod nastavenou mez), pak kalibrace neproběhne. Modul se pokusí kalibraci provést ještě jednou ve 12 h SEČ, pokud tento stav nadále trvá, měření výparu se v tomto dni neprovede. Zásobní barel o kapacitě 50 l má na víku umístěn filtr. Díky tomu dochází v rámci každodenní kalibrace i k filtraci vody v nádobě. Přístroj je chráněn před krátkodobým výpadkem proudu baterií.

Přístroj pro měření povrchové teploty vody a srážkoměr

Pro měření povrchové teploty vody v nádobě byl použit nerezový snímač Pt100 ZPA Ekoreg, který je umístěn vodorovně se středem 10 mm pod hladinou vody. Stálá hloubka snímače je udržována díky speciálnímu plováku vyrobenému v observatoři Doksany (obr. 2). Samotný snímač je připojen k měřicí kartě Basic firmy Asys Develop, kterou lze přes rozhraní RS485 a hyperterminál Windows libovolně nakonfigurovat. Navíc ke kartě Basic lze připojit některý z běžných typů automatických srážkoměrů.

Obr. 2 Umístění teplotního snímače



Ukládání dat v počítači

V síti stanic ČHMÚ je výparoměr EWM připojen přes linku RS485, nebo prostřednictvím sítě ethernet s počítačem se softwarem MonitWin, kde dochází k ukládání dat. Druhou možností je využít software MagicData, který zdarma nabízí výrobce.

3. Srovnávací měření ve výparoměru EWM a GGI 3000

V letech 2000 až 2002 probíhalo v OBS Doksany (158 m n.m.) během vegetačního období souběžné ruční (e_r) a automatické měření výparu (e_a), doplněné o ruční (t_r) a automatické měření povrchové teploty vody (t_a). Ruční měření bylo prováděno ve výparoměru GGI 3000 a automatické

měření ve výparoměru EWM. V roce 2002 bylo srovnávací měření rozšířeno i o stanici ČHMÚ v Kostelní Myslové (569 m n.m.).

Při analýze byla zjištěna statisticky významná závislost výparu e_r na teplotě vody a výšce hladiny ve výparoměrné nádobě (korelační koeficient $r = 0,529$). S rostoucí teplotou vody a výškou hladiny se zvyšoval i výpar. Zatímco ve výparoměru GGI 3000 může počáteční výška hladiny značně kolísat, v předpisu (Fišák, 1994) je dovoleno rozmezí od 5 do 30 mm, v automatickém výparoměrném systému je každý den nastavována stejná počáteční nulová hladina (tolerance $\pm 0,2$ mm).

V tab.1 jsou uvedeny vybrané statistické charakteristiky řady e_r a e_a z obou výše zmíněných lokalit. Průměrné hodnoty e_r jsou o 0,05 (K. Myslová) až 0,16 mm (Doksany rok 2002) vyšší než e_a . Vzhledem k výše uvedené závislosti jsou zjištěné rozdíly pochopitelné, neboť průměrné hodnoty t_r byly o 0,11 (K. Myslová) až 0,38 °C (Doksany rok 2002) vyšší než t_a , průměrná počáteční výška hladiny vody ve výparoměru GGI 3000 byla v Doksanech o 5,5 mm vyšší než v K.Myslové. Rozdíly v teplotě vody mohou být způsobeny jak stavem a umístěním obou nádob v terénu, tak absencí filtrace vody ve výparoměru GGI 3000.

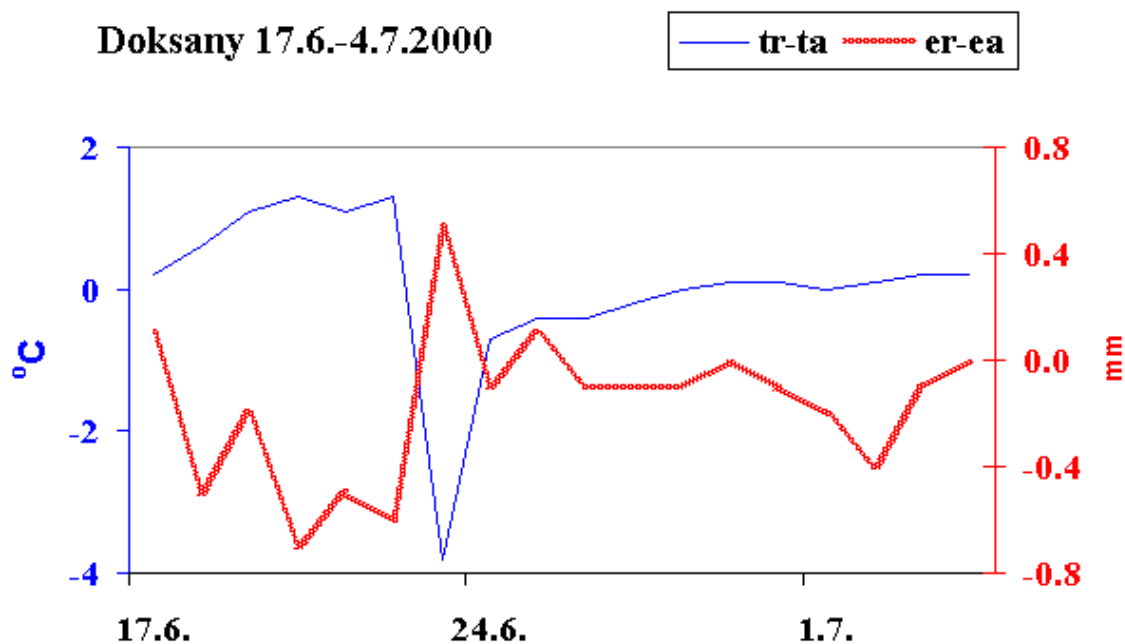
Tab. 1 Vybrané statistické charakteristiky řady e_r a e_a z Doksán a Kostelní Myslové

Stanice	Doksany	Doksany	Doksany	K.Myslová
Období	1.6.-31.10.	1.4.-30.9.	1.4.-30.9.	1.5.-30.9.
Rok	2000	2001	2002	2002
Průměr e_r	2.72	2.64	2.59	2.95
Průměr e_a	2.60	2.52	2.43	2.90
Součet e_r	413.5	482.3	474.7	451.0
Součet e_a	395.1	461.2	444.9	443.1
Maximum e_r	7.6	6.6	6.9	7.6
Maximum e_a	7.0	6.2	6.1	7.4
Minimum e_r	0.0	0.2	0.2	0.5
Minimum e_a	0.1	0.2	0.2	0.4
Medián e_r	2.75	2.70	2.50	2.90
Medián e_a	2.50	2.53	2.30	2.80
Spodní kvartil e_r	1.50	1.50	1.70	2.20
Spodní kvartil e_a	1.30	1.54	1.60	2.10
Horní kvartil e_r	3.90	3.50	3.30	3.70
Horní kvartil e_a	3.70	3.40	3.00	3.50
Rozptyl e_r	2.62	1.91	1.55	1.67
Rozptyl e_a	2.57	1.75	1.32	1.40
Směr.odch. e_r	1.62	1.38	1.24	1.29
Směr.odch. e_a	1.60	1.32	1.15	1.18
Šikmost e_r	0.25	0.39	0.61	0.37
Šikmost e_a	0.38	0.33	0.68	0.71
Špičatost e_r	-0.58	-0.17	0.73	0.47
Špičatost e_a	-0.51	-0.26	0.51	1.13

U ručního měření hraje velkou roli kvalita vody v nádobě, která úzce souvisí s průběhem povětrnostních podmínek. Když do vody napadá hodně organických nečistot, při teplém počasí se

vytvoří v krátkém čase silná hnojící vrstva na dně, která vytváří ideální podmínky pro rozvoj řas. Po čase nezbyvá než vodu z nádoby vybrat, dno vyčistit a napustit čistou vodou. Automatické měření obsahuje filtraci vody od hrubších nečistot, díky níž se daří rozvoj řas udržet v přijatelných mezích. Na obr. 3 je patrné postupné zvyšování rozdílů t_r-t_a a e_r-e_a vlivem řas ve výparoměru GGI a po výměně vody jejich postupné vyrovnání.

Obr. 3 Rozdíly teplot t_r-t_a Doksany, 17.6.-4.7.2000



V tab. 2 jsou uvedeny průměrné měsíční hodnoty e_r , e_a a jejich rozdíl. Rozdíly e_r-e_a jsou především způsobeny již zmiňovaným “ochlazovacím efektem” filtrace vody ve výparoměru EWM a rozdílnou počáteční výškou hladiny ve výparoměru GGI 3000.

Tab. 2 Průměrné měsíční hodnoty e_r , e_a a jejich rozdíl pro Doksany v letech 2000–2004.

rok	měsíc					
2000	4.	5.	6.	7.	8.	9.
e_r	2.30	3.70	4.40	2.58	4.09	2.22
e_a	2.20	3.70	4.17	2.50	3.93	2.20
e_r-e_a	0.10	0.00	0.23	0.09	0.16	0.02
rok	měsíc					
2001	4.	5.	6.	7.	8.	9.
e_r	1.54	3.31	2.82	3.32	3.25	1.35
e_a	1.38	3.23	2.73	3.18	3.20	1.33
e_r-e_a	0.16	0.08	0.09	0.14	0.05	0.03
rok	měsíc					
2002	4.	5.	6.	7.	8.	9.
e_r	1.95	2.41	3.34	3.02	2.62	2.08
e_a	1.77	2.25	3.20	2.78	2.64	1.93
e_r-e_a	0.17	0.16	0.13	0.25	-0.02	0.15

V zimním období 2000/2001 a 2001/2002 probíhalo srovnávací měření v laboratorních podmínkách OBS Doksany. Výpar a srážky byly simulovány elektronickou pipetou. V těchto podmínkách byla zjištěna velmi dobrá shoda mezi snímačem EWM a pipetou. Rozdíly výšky hladiny nepřesahovaly, až na několik ojedinělých případů, 0,15 mm a většinou se pohybovaly v mezích 0,06-0,11 mm.

4. Rozmístění stanic a zpřístupnění dat z výparoměru EWM

Měření výparu z volné vodní hladiny bylo a je v rámci ČHMÚ „popelkou“. Přesto se podařilo postupně od roku 2000 rošířit měření výparoměrem EWM na 16 stanic. Z obr. 5 je patrné rozmístění stanic s automatizovaným měření výparu z volné vodní hladiny z výparoměru EWM. Na mapce chybí stanice v Žabčicích, která slouží pro výzkumné účely pobočky ČHMÚ v Brně. V Moravskoslezském, Zlínském a Středočeském kraji zatím stanice s výparoměrem EWM chybí. Observatoř Doksany disponuje dvěma výparoměry EWM, jeden z nich slouží pro testování změn v firmwaru. Nejnižše položenou stanicí jsou Doksany (158 m n.m.), nejhůšše je umístěna stanice v Kostelní Myslové (569 m n.m.). Každoroční „oživení“, kalibraci, konfiguraci a „zazimování“ výparoměru zajišťují v rámci ČHMÚ pracovníci observatoře v Doksanech.

Obr. 5 Rozmístění stanic s výparoměrem EWM (stav k 12.6.2006)



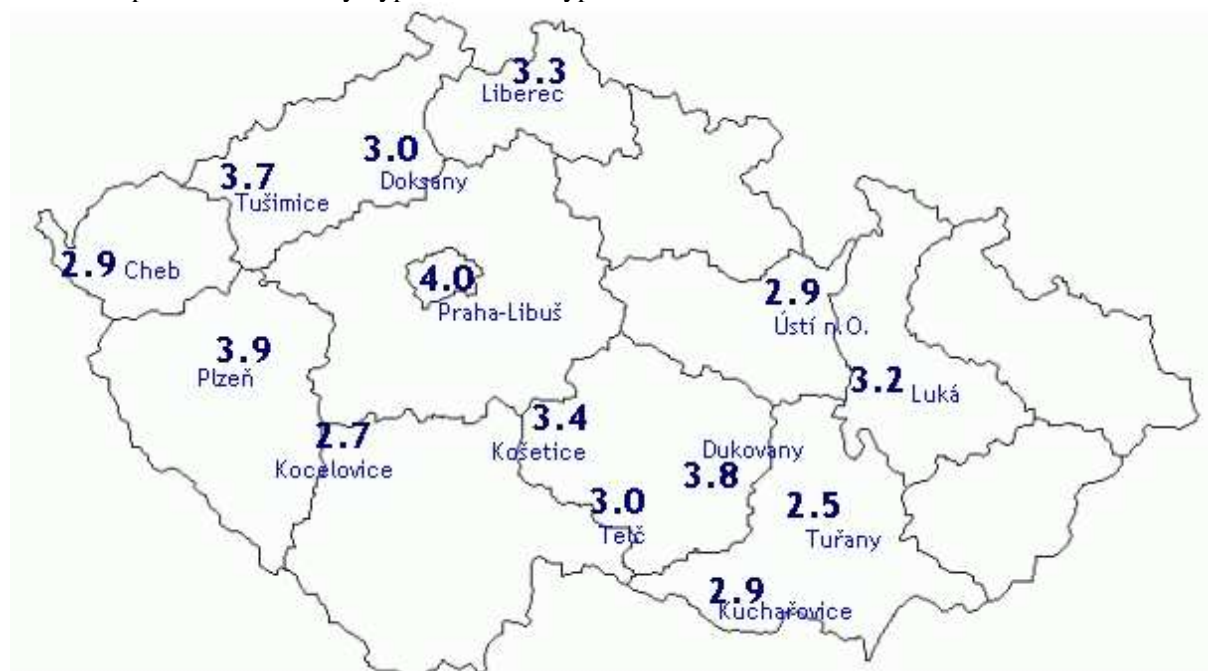
Zkušenosti s výparoměry EWM jsou zatím velmi dobré, měření je velmi spolehlivé, k drobným závadám dochází po bouřkách na stanicích s chybějící přepětovou ochranou. Nejslabším článkem celého systému se trochu překvapivě stal automatický člunkový srážkoměr, kde je nutné měřené údaje korigovat s ohledem na systematickou chybu vyskytující se při silných srážkách a větru podle ručního měření. Na základě dobrých zkušeností s výparoměrem EWM, firma AsysDevelop v roce 2004 provedla automatizaci měření i u výparoměru Class-A-Pan v observatoři v Doksanech (obr. 6).

Obr. 6 Výparoměr Class-A-Pan používaný v observatoři v Doksanech



Do klimatologické databáze ČHMÚ jsou zasílány a ukládány hodnoty výparu a teploty vody v patnáctiminutovém intervalu. Od roku 2006 je uveřejňována na webu ČHMÚ (www.chmi.cz) pod observatoří Doksany mapa s aktuálními hodnotami denních úhrnů výparu z výparoměru EWM. Aktualizace mapy probíhá v denním kroku, do budoucna se počítá se zpřístupněním dat v on line režimu. Na obr. 7 je příklad mapy s dennímu úhrny výparu z výparoměru EWM za den 12.6.2006, v tomto dni kolísal výpar od 2.5 mm (Tuřany) do 4 mm (Praha-Libuš).

Obr. 7 Mapa s denními úhrny výparu v mm z výparoměru EWM



5. Měření evapotranspirace

Měření potenciální evapotranspirace se provádí od roku 1991 ve velkém gravitačním lyzimetru v observatoři Doksany (obr. 8). Jedná se o monolitický typ lyzimetru o výparoměrné ploše 2 m². Měření se provádí na střední půdě pod standardním travnatým povrchem. Regulace vlhkosti půdy v nádobě se docílí prostřednictvím periodických závlah. V roce 2005 bylo měření zautomatizováno firmou AsysDevelop a probíhá kontinuálně s registrací po 10 minutách. Registruje se množství přirozeně i uměle dodané vody a množství odtéké vody z nádoby. Vlhkost půdy v nádobě se monitoruje v několika hloubkách. V roce 2006 byl nainstalován střední gravitační lyzimetr na stanici Kuchařovice.

Obr. 8 Velký gravitační lyzimetr v observatoři Doksany



6. Závěr

Lze konstatovat, že navržený automatický výparoměrný systém se osvědčil. Výpar z volné vodní hladiny měřený ve výparoměru EWM je srovnatelný s dosavadním ručním měřením ve výparoměru GGI 3000. Automatické měření je přesnější, podstatně méně zatíženo náhodnými a systematickými chybami a je kontinuální, proto lze získat představu i o denním chodu výparu. Výsledky měření dosavadních 16 výparoměrů EWM byly zpřístupněny na webu ČHMÚ, aktualizace v denním kroku postupně vystřídá on line režim. V posledních letech bylo automatizováno měření ve výparoměru Class-A-Pan a ve velkém gravitačním lyzimetru v observatoři Doksany.

Literatura

- [1] Ďaďo, S. a kol., 1999. Senzory a měřicí obvody. Vydavatelství ČVÚT, Praha, 315 s.
- [2] Fišák, J., 1994. Návod pro pozorovatele meteorologických stanic. Metodický předpis č.11, Praha, 114 s.
- [3] Možný, M. - Bareš, D., 2005. Problematika agrometeorologických měření v ČHMÚ. In.: Historie, současnost a budoucnost meteorologických měření a pozorování. ČMeS, Teplice 4.-6.10.2005.

- [4] Možný, M., 2003. Automatizace měření výparu z volné vodní hladiny. Meteorol. Zprávy, 56, 5, s. 150-155.
- [5] Možný, M., 2005. Problematika měření evapotranspirace v ČHMÚ. In.: Evaporace a evapotranspirace. ČSBS, ČHMÚ, 2005, s.7-10.
- [6] Parcevaux, S. et al., 1990. Dictionnaire encyclopédique d'agrometeorologie. Editions CILF, Paris, 323 s.