

Porovnání školních meteorologických stanic Vantage Pro2™ a meteorologických stanic sítě ČHMÚ na základě měření na území města Plzně v letech 2009–2010

Pavel Vacík, Jan Kopp

Abstrakt: V příspěvku je zjišťována relevantnost dat naměřených školními meteorologickými stanicemi Vantage Pro2™. Studie porovnává pět meteorologických stanic na území města Plzně: Plzeň-Mikulka, Plzeň-město a Plzeň-Bolevec, spravované v síti ČHMÚ, a školní meteorologické stanice Vantage Pro2™ Plzeň ZČU FEL Bory a Plzeň ZČU FPE Veleslavínova. Porovnání meteorologických stanic bylo provedeno na základě těchto kritérií: (a) topoklimatické polohy, (b) technického vybavení a metodiky měření, (c) meteorologických prvků (teploty vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu a srážek) naměřených v letech 2009–2010.

Klíčová slova: školní meteorologická stanice, Vantage Pro2™, městské klima, Plzeň, teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu.

Abstract: The credibility of data measured by school meteorological stations Vantage Pro2™ is investigated in this paper. The subject of this study is to compare five meteorological stations in the city of Plzeň: Plzeň-Mikulka, Plzeň-Bolevec and Plzeň-city (CHMI) and school meteorological stations Vantage Pro2™ Plzeň-Bory (FEE University of West Bohemia) and Plzeň-Veleslavínova (FE University of West Bohemia). Meteorological stations have been compared according to following criteria: (a) topoclimatic location, (b) technical equipment and measuring methodology, (c) meteorological elements (air temperature, relative air humidity, precipitation) on the basis of measurements in 2009–2010.

Key words: school meteorological station, Vantage Pro2™, urban climate, Plzeň, air temperature, relative air humidity.

VACÍK, P., KOPP, J. 2012. Porovnání školních meteorologických stanic Vantage Pro2™ a meteorologických stanic sítě ČHMÚ na základě měření na území města Plzně v letech 2009–2010. *Arnica 2012*, 1–2, 19–29. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň. ISSN 1804-8366.

Rukopis došel 4. dubna 2012; byl přijat po recenzi 14. června 2012.

Pavel Vacík, Zelenodolská 276, Nepomuk, 335 01; vacipa01@seznam.cz

Jan Kopp, Katedra geografie, Fakulta ekonomická, Západočeská univerzita v Plzni, Tylova 18, Plzeň, 306 14; kopp@kge.zcu.cz

Úvod

Provoz školní meteorologické stanice je vítanou aktivitou, která přináší žákům možnost denního kontaktu se sledováním proměnlivosti počasí a vlastní zkušenosti s měřením a zpracováním dat v klimatologii. Moderní měřicí soupravy navíc umožňují prezentaci aktuálního počasí na internetových stránkách školy v online režimu.

Pro měření stavu atmosféry existují různě kvalitní pomůcky a přístroje. Jejich výběr závisí na finančních možnostech školy a také na technických podmínkách možné instalace a obsluhy. Analogové meteorologické přístroje (srážkoměr, teploměr, vlhkoměr) se dají pořídit v cenových relacích přibližně do 500 Kč. Pro komplexnější pozorování jsou vhodné stanice vybavené již všemi čidly a součástmi pro získávání základních dat o teplotě vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu, barometrickém tlaku, srážkách, rychlosti a směru větru. V internetových obchodech můžeme takové stanice najít pod nekorektním pojmenováním „profesionální meteorologická stanice“ v různých cenových relacích od 500 do několika tisíc Kč. Cena závisí především na

zvolených materiálech, kvalitě zpracování a také na designu. U kvalitních školních stanic s možností přenosu dat do počítače, jako je Vantage Pro2™, je samozřejmě nutné počítat s vyšší cenou (10 000–40 000 Kč).

Po dvouletém provozu (2009–2010) školní meteorologické stanice Vantage Pro2™ na Fakultě pedagogické v Plzni (dále uváděná jako stanice Plzeň FPE Veleslavínova) jsme přistoupili k vyhodnocení naměřených dat srovnáním se stanicemi sítě Českého hydro-meteorologického ústavu (ČHMÚ) na území Plzně.

Meteorologická stanice Vantage Pro2™ je jednou z cenově dostupných, dobře vybavených měřicích souprav, které si mohou školy pořídit. Stanice měří všechny obvykle měřené základní meteorologické prvky. Naměřené hodnoty jsou přenášeny ve zvoleném intervalu přes speciální konzolu do osobního počítače, kde jsou dále zpracovávány. Transfer dat do konzoly přístroje s dataloggerem probíhá bezdrátovým přenosem pomocí originálního programu WeatherLink, a to na vzdálenost až 300 m (Filip, 2008). Po následném přenosu dat do PC je

možno data zobrazovat a zpracovávat pomocí programu WeatherLink.

Uvedený typ meteorologické stanice Vantage Pro2™ je od roku 2007 používán k měření meteorologických prvků rovněž Fakultou elektrotechnickou ZČU v Plzni (dále uváděná jako stanice Plzeň FEL Bory).

Text shrnuje základní poznatky zjištěné v bakalářské práci Vacíka (2011), ve které je možné nalézt podrobnější dokumentaci výsledků.

Cíle výzkumu

Cílem studie je vyhodnotit a porovnat pět meteorologických stanic na území města Plzně, z toho dvě jsou školní (Plzeň FPE Velešlavínova a Plzeň FEL Bory) typu Vantage Pro 2™ a tři jsou provozovány v síti ČHMÚ (Plzeň-Bolevec, Plzeň-Mikulka a Plzeň-město). Porovnání meteorologických stanic bude provedeno ve třech dílčích částech:

1. porovnání topoklimatické polohy jednotlivých meteorologických stanic na základě topoklimatické mapy Plzně a okolí (Quitt, 1994),
2. porovnání technického vybavení jednotlivých stanic a metodologie sběru dat,
3. porovnání hodnot vybraných meteorologických prvků naměřených na jednotlivých stanicích v letech 2009 a 2010. Porovnávány meteorologickými prvky jsou – teplota vzduchu [°C], relativní vlhkost vzduchu [%] a srážky [mm].

Metodika výzkumu

Nejprve jsou meteorologické stanice srovnávány na základě své topoklimatické polohy a polohy vzhledem k městské zástavbě, která může klimatické charakteristiky také ovlivňovat (Prošek, Rein, 1987, Oke, 2006). Ta je určena především podle topoklimatické mapy Plzně a okolí (Quitt, 1994), speciálně vypracované pro území plzeňské aglomerace v měřítku 1:25 000. Legenda topoklimatické mapy zohledňuje morfometrický typ převládajícího reliéfu a nejvýraznější procesy v přízemní části mezní vrstvy ovzduší ovlivňující rozptyl a distribuci atmosférických příměsí při určitém typu počasí (radiační typ počasí ve dne, radiační typ počasí v noci, advektivní typ počasí). Topoklimatická mapa byla zapůjčena v tištěném elaborátu Útvarem koncepce a rozvoje města Plzně.

V druhé části bylo provedeno srovnání technického vybavení a metodiky měření meteorologických stanic. Cílem bylo především rozlišit rozsah a přesnost jednotlivých meteorologických přístrojů a také porovnat metodiky časového ukládání naměřených dat.

Hlavní část práce se soustředí na vyhodnocení výsledků měření meteorologických prvků – teploty vzduchu [°C], relativní vlhkosti vzduchu [%] a srážek [mm].

Vzhledem k rozdílům v měření na jednotlivých stanicích se však lišila možnost zpracování dat. Ze čtyř stanic (kromě stanice Plzeň-město) bylo možné získat nebo vypočítat z podrobnějších záznamů průměrné denní hodnoty za sledované období 2009–2010. Pro hodnocení denního chodu teplot a vlhkosti vzduchu ve vybraných týdnech s anticyklonálním počasím byla k dispozici data ukládaná v intervalu 15 minut (Plzeň-Bolevec a Plzeň-Mikulka), v intervalu 30 minut (Plzeň FPE Velešlavínova) a v intervalu 5 minut (Plzeň FEL Bory). Stanice Plzeň-město data automaticky neukládá, a proto nemohl být zpracován denní chod meteorologických prvků. Stanice Plzeň FPE Velešlavínova ve zkoumaném období zaznamenala několik krátkodobých výpadků měření teploty a vlhkosti vzduchu. Chybějících celkem 24 denních průměrných hodnot bylo možno interpolovat běžnými metodami (Nosek, 1972). Stanice Plzeň FPE Velešlavínova v zimním období roku srážky neměří (srážkoměr je zakryt), za prosinec až březen nejsou srážkové úhrny k dispozici. Pro stanici Plzeň FEL Bory nebyla data za prvních pět měsíců roku 2009 k dispozici vůbec, z důvodu výpadku ukládání dat.

Pro vzájemné srovnání meteorologických stanic byla použita tato data:

- a) průměrné denní hodnoty teploty vzduchu [°C] (2009–2010),
- b) průměrné denní hodnoty relativní vlhkosti vzduchu [%] (2009–2010),
- c) denní srážkové úhrny [mm] (2009–2010),
- d) půlhodinová měření teploty vzduchu [°C] a relativní vlhkosti vzduchu [%] ve vybraných týdnech (8. – 14. 1. 2009, 9. – 15. 4. 2009, 14. – 20. 8. 2009).

Týdenní intervaly byly zvoleny podle typu povětrnostní situace, protože bylo nutné vybrat časové úseky s anticyklonálním prouděním, tzn. dny bezesrážkové, bezvětrné (rychlost větru do 2 m/s) a s žádnou či minimální oblačností (Vysoudil, 2007). Zvolená období by zároveň měla být rozložena rovnoměrně během roku, pokud možno v různých ročních obdobích. Týdny byly vybrány z období anticyklonálních situací na základě zprávy o typech povětrnostních situací na území ČR (ČHMÚ 2011) s využitím klasifikace podle Brádka (Brádka et al., 1961 in Tolasz et al., 2007): 8. – 14. 1. 2009 (A, A, A, A, SWa, SWa, Bp), 9. – 15. 4. 2009 (SEa, SEa, SEa, SEa, SEa, Ea), 14. – 20. 8. 2009 (Wal po celý týden). V uvedených týdnech tedy převládaly anticyklonální situace, konkrétně v jednotlivých dnech: A – anticyklona nad střední Evropou, SWa – jihozápadní anticyklonální situace, Bp – brázda postupující přes střední Evropu, SEa – jihovýchodní anticyklonální situace, Ea – východní anticyklonální situace, Wal – západní anticyklonální situace letního typu.

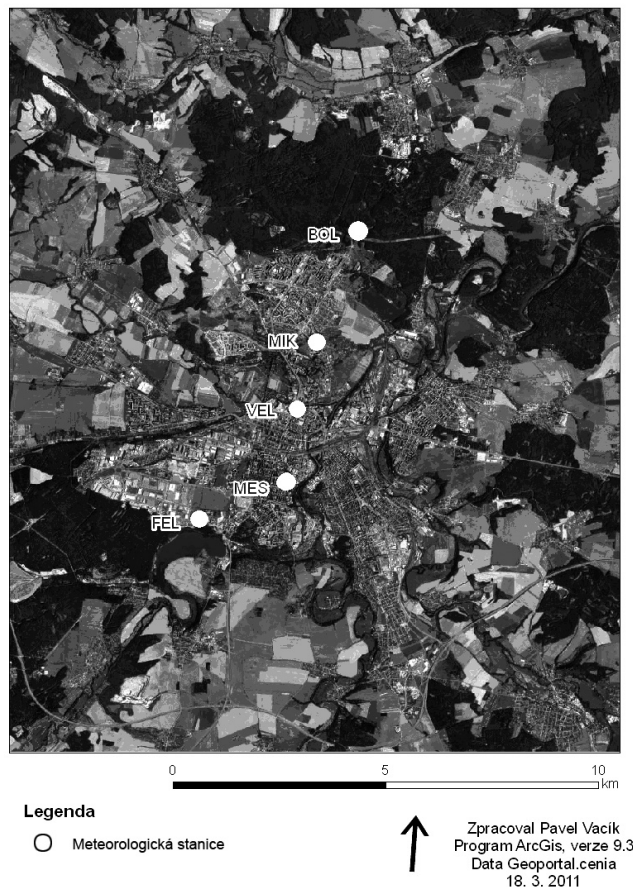
U meteorologických stanic Plzeň FEL Bory a Plzeň FPE Veleslavínova bylo nutno průměrné denní hodnoty teploty vzduchu [°C] vypočítat z půlhodinových, respektive pětiminutových, měření. Výpočty byly provedeny v souladu s postupem, kterým se počítají denní průměry pro stanice ČHMÚ. Průměrné denní hodnoty teploty vzduchu [°C] tak byly spočítány z hodnot naměřených v pozorovacích termínech 7, 14, 21 hodin, kdy se hodnota z 21 hodin počítá dvakrát, tj. průměrná denní teplota vzduchu $= (t_7 + t_{14} + 2t_{21}) / 4$ (Nosek, 1972). Průměrné denní hodnoty relativní vlhkosti vzduchu [%] byly spočítány z hodnot naměřených v pozorovacích termínech 7, 14, 21 hodin, tj. průměrná denní relativní vlhkost vzduchu $= (t_7 + t_{14} + t_{21}) / 3$ (Nosek, 1972). U meteorologických stanic Plzeň FEL Bory a Plzeň FPE Veleslavínova bylo nutno denní srážkové úhrny [mm] vypočítat z půlhodinových, respektive pětiminutových měření sumou naměřených hodnot. Na základě průměrných denních hodnot byly vypočteny průměrné měsíční hodnoty sledovaných prvků.

K vlastnímu porovnání výsledků měření mezi jednotlivými stanicemi bylo využito více metod: porovnání pořadí stanic podle naměřených hodnot, výpočet odchylek od hodnoty základní stanice Plzeň-Mikulka, korelace hodnot pomocí Pearsonova korelačního koeficientu. V této studii jsou prezentovány pouze hlavní výsledky s využitím dvou metod, podrobněji jsou výstupy uvedeny v bakalářské práci (Vacík, 2011).

Topoklimatická poloha jednotlivých stanic

Sledované meteorologické stanice leží na severojižním transektu města Plzně (obr. 1). Krajské město Plzeň ležící v jihozápadní části Čech (49° 44' s. š., 13° 23' v. d.) se rozkládá na ploše přibližně 140 km² na soutoku čtyř řek, Mže, Radbuzy, Úhlavy a Úslavy, jejichž soutokem na území Plzeňské kotliny vzniká řeka Berounka

(Matušková a Novotná et al., 2007). Nadmořská výška území Plzně se pohybuje mezi 293–452 m n. m. Nejnížší nadmořskou výšku vykazují údolní dna podél vodních toků, zde se nadmořská výška pohybuje kolem 300 m n. m. Vyšší polohy jsou na okrajích města – Chlum (416 m n. m.), Krkavec (504 m n. m.) a Radyně (569 m n. m.) (Piskáček, 1975). Polohu meteorologických stanic prezentuje obr. 1 a tabulka 1.



Obr. 1. Poloha meteorologických stanic (označení viz tab. 1); zdroj: vlastní zpracování

Název stanice	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Nadmořská výška (m)	Začátek měření	Význam stanice	Zkratka stanice
Plzeň-Mikulka (ČHMÚ)	49° 45' 54"	13° 22' 43"	360	2004	meteorologická synoptická	MIK
Plzeň-město (ČHMÚ)	49° 44' 03"	13° 22' 34"	335	1989	klimatologická	MES
Plzeň-Bolevec (ČHMÚ)	49° 47' 21"	13° 23' 12"	338	1969	klimatologická	BOL
Plzeň FEL Bory	49° 43' 27"	13° 20' 59"	375	2007	školní meteorologická	FEL
Plzeň FPE Veleslavínova	49° 44' 59"	13° 22' 33"	314	2008	školní meteorologická	VEL

Tab. 1. Základní charakteristiky meteorologických stanic; zdroj: vlastní zpracování

Poloha porovnávaných meteorologických stanic se podle Quittovy (1994) topoklimatické mapy Plzně a okolí odlišuje. Podle vztahu k reliéfu mají podobnou polohu meteorologické stanice Plzeň-Mikulka, Plzeň-město a Plzeň-Bolevec (klima reliéfu pahorkatin – typ II). Meteorologická stanice Plzeň FEL Bory leží v oblasti klimatu reliéfu rovin (I) a stanice Plzeň FPE Veleslavínova v klimatu středně velkých plochých konkávních forem reliéfu (VII).

Podle nejvýraznějších procesů v přízemní části mezní vrstvy ovzduší ovlivňující rozptyl a distribuci atmosférických příměsí rozlišuje Quitt (1994) polohu stanic následovně. Poloha meteorologické stanice Plzeň-Mikulka je charakteristická zejména tím, že se jedná o plochy dobře osluněné, s vyššími teplotními maximy, kratším trváním sněhové pokrývky a s možností vzniku anabatického proudění. Meteorologické stanice Plzeň-město a FPE Veleslavínova vykazují obdobnou polohu charakteristickou vyššími průměrnými teplotami, zvýšenou četností konvektivní teplotní stratifikace, kratším trváním sněhové pokrývky, nižší relativní vlhkostí vzduchu a tím, že mají vyšší stupeň urbanizace území. Poloha meteorologické stanice FEL Bory je charakteristická zvýšenými hodnotami absolutní vlhkosti vzduchu a dispozicí k vyšší četnosti výskytu mlh. Stanice Plzeň-Bolevec leží v mělké sníženině údolí Boleveckých rybníků s možností vzniku vertikálně málo mocných teplotních inverzí a vlivem okolních vodních ploch a lesních porostů na písčitých půdách. Přesné topoklimatické specifikace jednotlivých označení uvádí Quitt (1994) a cituje Vacík (2011).

Technické vybavení a metodiky měření

Pro měření meteorologických prvků je na školních lokalitách FPE Veleslavínova a FEL Bory používána meteorologická stanice Vantage Pro2™, která je v zimním půlroce nastavena na SEČ (středoevropský čas) a v letním půlroce na SELČ (středoevropský letní čas). Přesnost použitých čidel uvádí tab. 2.

Na stanicích Plzeň-Mikulka a Plzeň-Bolevec je pro měření používán teploměr Vaisala HMP 155, typ Pt 100, vlhkoměr Vaisala HMP 155, typ Humicap

F 191, a srážkoměr MR3H – FC (tab. 3). Po celý rok je měřeno v režimu SEČ. V porovnání se stanicemi Vantage Pro2™ je dosahováno 10krát vyšší rozlišení při měření teploty (0,01 °C) a vlhkosti vzduchu (0,1 %).

Pro měření meteorologických prvků je v lokalitě Plzeň-město používána klasická velká žaluziová meteorologická budka nastavená po celý rok na SEČ. Budka je vybavena staničním teploměrem (rozlišení 0,1°C) a vlasovým vlhkoměrem Metra (rozlišení 1%), na lokalitě je umístěn staniční srážkoměr, tvořený odměrným válcem s rozlišením 0,1 mm a záchytnou plochou 500 cm² (Slabá, 1972). Rozlišení měření je zde tedy vyšší než u školních stanic typu Vantage Pro2™ (0,25 mm), nevýhodou je ovšem neexistence automatického záznamu hodnot.



Obr. 2. Školní meteorologická stanice Vantage Pro2™ Plzeň-Veleslavínova; zdroj: foto autor

Meteorologický prvek	Rozlišení	Rozsah	Přesnost (+/-)
Teplota vzduchu [°C]	0,1 °C	- 40 až + 65°C	0,5 °C
Relativní vlhkost vzduchu [%]	1 %	0 až 100%	3 %, 4 % nad 90 %
Srážky [mm]	0,25 mm	-	1 mm/h

Tab. 2. Technická specifikace meteorologických přístrojů stanice Vantage Pro2™; zdroj: Davis Instruments 2006

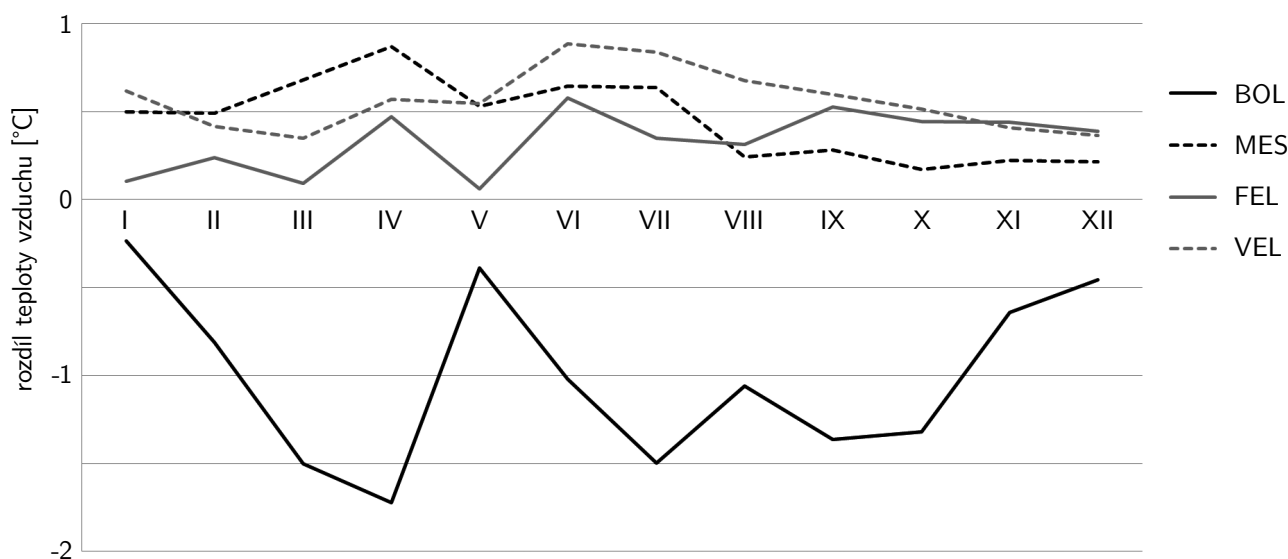
Meteorologický prvek	Přístroj	Rozlišení	Rozsah
Teplota vzduchu [°C]	měřidlo teploty vzduchu HMP 155, typ Pt 100, výrobce Vaisala,	0,01 °C	- 80 až + 60 °C
Relativní vlhkost vzduchu [%]	měřidlo vlhkosti vzduchu HMP 155, typ Humicap F 19, výrobce Vaisala	0,1 %	0 až 100 %
Srážky [mm]	automatický srážkoměr (typ MR3H – FC)	500 cm ²	do 5 mm/h do 0,1 mm, nad 5 mm/h do 0,4 mm

Tab. 3. Technická specifikace meteorologických přístrojů automatických stanic ČHMÚ; zdroj: manuál k teploměru Vaisala (HMP 155, typ Pt 100), vlhkoměru Vaisala (HMP 155, typ Humicap F 191) a srážkoměru MR3H – FC

Porovnání průměrných měsíčních teplot vzduchu

V obou porovnávaných letech byl vzájemný vztah meteorologických stanic z hlediska průměrných měsíčních teplot vzduchu stejný. Jak ukazují hodnoty v tabulce 4 a odchylky od hodnot stanice Plzeň-Mikulka (obr. 3), výrazně nejnižší hodnoty průměrných měsíčních teplot vzduchu zaznamenala

meteorologická stanice Plzeň-Bolevec. Jako jediná vykazuje záporné odchylky od stanice Plzeň-Mikulka, která je hodnocena jako druhá nejméně chladná. Chod křivek ostatních meteorologických stanic byl v obou sledovaných letech poměrně vyrovnaný a pohyboval se v kladných hodnotách odchylky od stanice Plzeň-Mikulka, s výjimkou stanice FEL Bory v červenci 2009.



Obr. 3. Odchylky průměrných měsíčních teplot vzduchu na sledovaných stanicích od hodnot stanice Plzeň-Mikulka v roce 2010; zdroj: vlastní zpracování s využitím dat ČHMÚ a ZČU

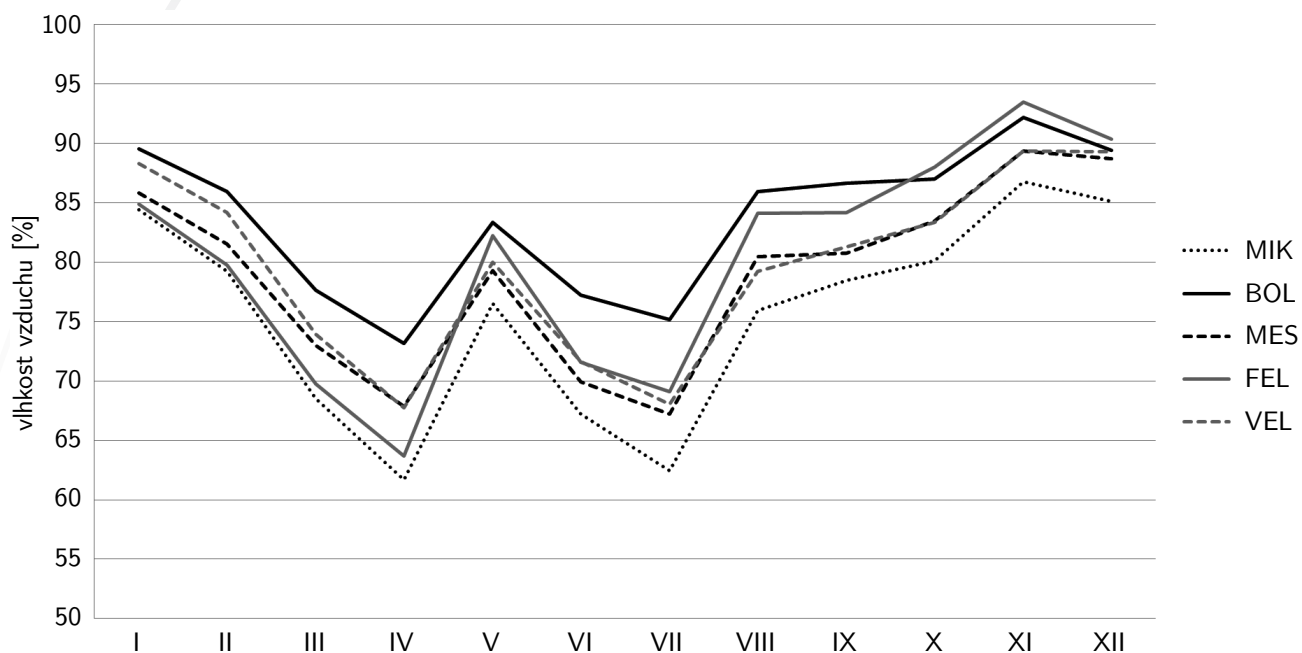
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
MIK	-3,6	-0,9	3,9	9,1	12,0	17,4	21,4	17,5	11,9	7,0	5,0	-4,3
BOL	-3,9	-1,7	2,4	7,4	11,6	16,4	19,9	16,4	10,6	5,6	4,3	-4,8
MES	-3,1	-0,4	4,6	10,0	12,5	18,1	22,0	17,7	12,2	7,1	5,2	-4,1
FEL	-3,5	-0,7	4,0	9,6	12,0	18,0	21,7	17,8	12,5	7,4	5,4	-3,9
VEL	-3,0	-0,5	4,3	9,7	12,5	18,3	22,2	18,2	12,5	7,5	5,4	-4,0

Tab. 4. Roční chod průměrných měsíčních hodnot teploty vzduchu [°C] sledovaných meteorologických stanic v roce 2010; zdroj: vlastní zpracování s využitím dat ČHMÚ a ZČU

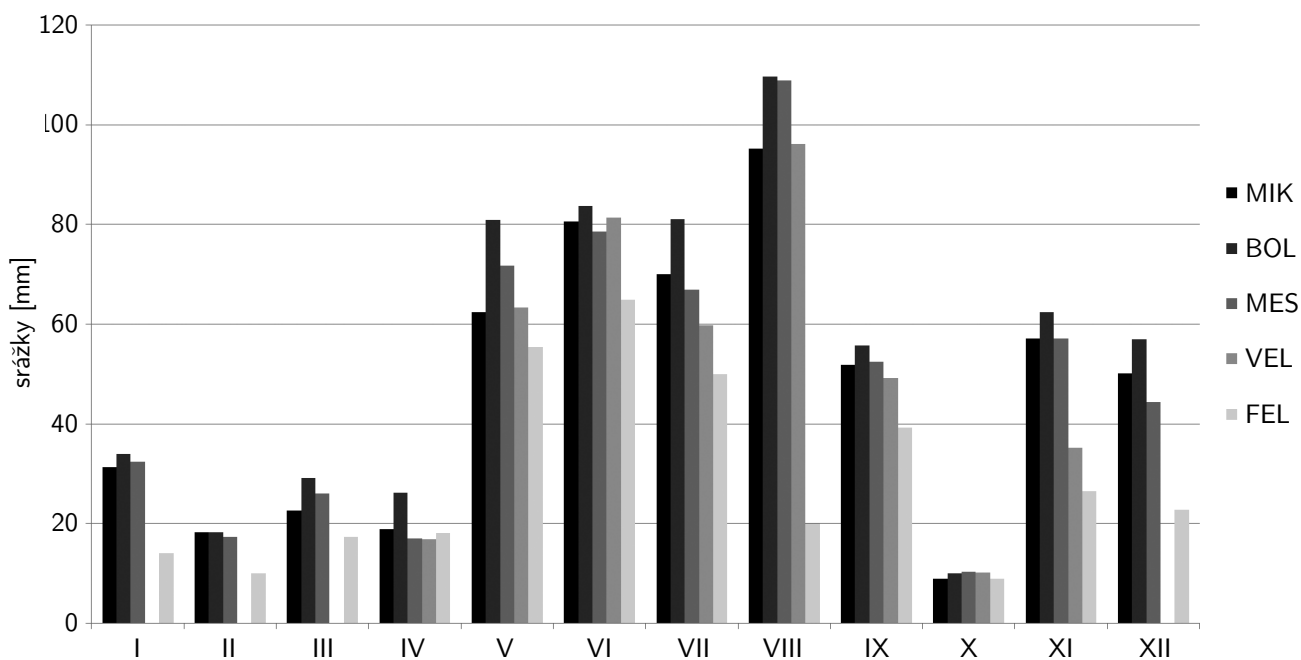
Porovnání průměrných měsíčních hodnot vlhkosti vzduchu

Při porovnání průměrných měsíčních hodnot relativní vlhkosti vzduchu se ve sledovaných letech mírně lišil vzájemný vztah meteorologických stanic FPE Veleslavínova, Plzeň-město a FEL Bory. V obou letech však vykazovala celkově nejnižší hodnoty relativní vlhkosti vzduchu stanice Plzeň-Mikulka a nejvyšší hodnoty stanice Plzeň-Bolevec, obě v síti ČHMÚ.

Popisovaný vztah ilustruje chod průměrných měsíčních hodnot vlhkosti vzduchu na sledovaných stanicích v roce 2010 (obr. 4). Nejvyšší hodnoty vlhkosti vzduchu na stanici Plzeň-Bolevec jsou v souladu se zjištěnými výrazně nižšími hodnotami teplot vzduchu, ovlivnění může přinášet i poloha v lesním prostředí poblíž vodních ploch rybníků a další topoklimatické faktory. Vysvětlení nízkých hodnot relativní vlhkosti vzduchu na stanici Plzeň-Mikulka však není jednoznačné.



Obr. 4. Chod průměrných měsíčních hodnot vlhkosti vzduchu na sledovaných stanicích v roce 2010; zdroj: vlastní zpracování s využitím dat ČHMÚ a ZČU



Obr. 5. Chod měsíčních úhrnů srážek na sledovaných stanicích v roce 2010; zdroj: vlastní zpracování s využitím dat ČHMÚ a ZČU

Porovnání průměrných měsíčních úhrnů srážek

Srážky [mm] jsou ve studii brány jako doplňkový prvek. Velké množství dat ze školních stanic chybí a prokazatelné srovnání meteorologických stanic tak není možné. Celkové pořadí stanic podle měsíčních úhrnů srážek je poměrně jednoznačné. Situaci ilustruje obr. 5. Nejvíce srážek naměřila stanice Plzeň-Bolevec, na druhém místě je stanice Plzeň-město následovaná stanicí Plzeň-Mikulka, ovšem rozdíl mezi oběma stanicemi není výrazný. S odstupem nižší úhrny srážek zaznamenala stanice FPE Veleslavínova a jednoznačně nejméně srážek stanice FEL Bory. Výsledky jsou výrazně ovlivněny přístrojovým vybavením stanic, metodikou měření a nekompletností dat. Zejména pak data ze stanice FEL Bory nejsou reálná, např. celkové roční srážky v roce 2010 byly vykázány pouze 347,5 mm, u ostatních stanic v daném roce kolem 600 mm.

Korelace průměrných denních hodnot

Korelační koeficienty mezi jednotlivými stanicemi podle průměrných denních hodnot teploty vzduchu nabývají celkově velmi vysokých hodnot (horní část tab. 5). Vztah naměřených hodnot teploty vzduchu mezi jednotlivými stanicemi je tedy velmi těsný. Nejtěsnější vztah vykazují hodnoty stanic Plzeň-Mikulka a Plzeň-město, nejméně těsný vztah hodnoty stanic Plzeň-Bolevec a FEL Bory.

	BOL	MIK	VEL	MES	FEL
BOL		0,9929	0,9933	0,9919	<u>0,9881</u>
MIK	0,9364		0,9984	0,9985	0,9982
VEL	0,9304	0,9734		0,9981	0,9979
MES	0,9203	0,9607	0,9448		0,9978
FEL	<u>0,9152</u>	0,9583	0,9528	0,9440	

Poznámky: Spodní tmavší část matice ukazuje korelační koeficienty hodnot vlhkosti vzduchu. Tučně je zvýrazněná nejvyšší hodnota, podtržením označena nejnižší hodnota.

Tab. 5. Matice korelačních koeficientů hodnot průměrných denních teplot a relativní vlhkosti vzduchu na sledovaných stanicích v období 2009–2010; zdroj: vlastní zpracování s využitím dat ČHMÚ a ZČU

Korelační koeficient denních hodnot relativní vlhkosti vzduchu nabývá podle očekávání též velmi vysokých hodnot (dolní část tab. 5). Přesto nejsou hodnoty korelačního koeficientu tak vysoké jako u teploty vzduchu.

Při porovnání hodnot korelačních koeficientů denních hodnot teploty vzduchu a denních hodnot relativní vlhkosti vzduchu je zřejmé, že pořadí těsnosti jednotlivých vztahů je obdobné. Nejtěsnější vztah u relativní vlhkosti vzduchu vykazují hodnoty stanic Plzeň-Mikulka a FPE Veleslavínova, nejméně těsný vztah hodnoty stanic Plzeň-Bolevec a FEL Bory. Do značné míry odpovídají korelační vztahy vzájemné vzdálenosti stanic na transektu městem.

Denní chod teploty vzduchu

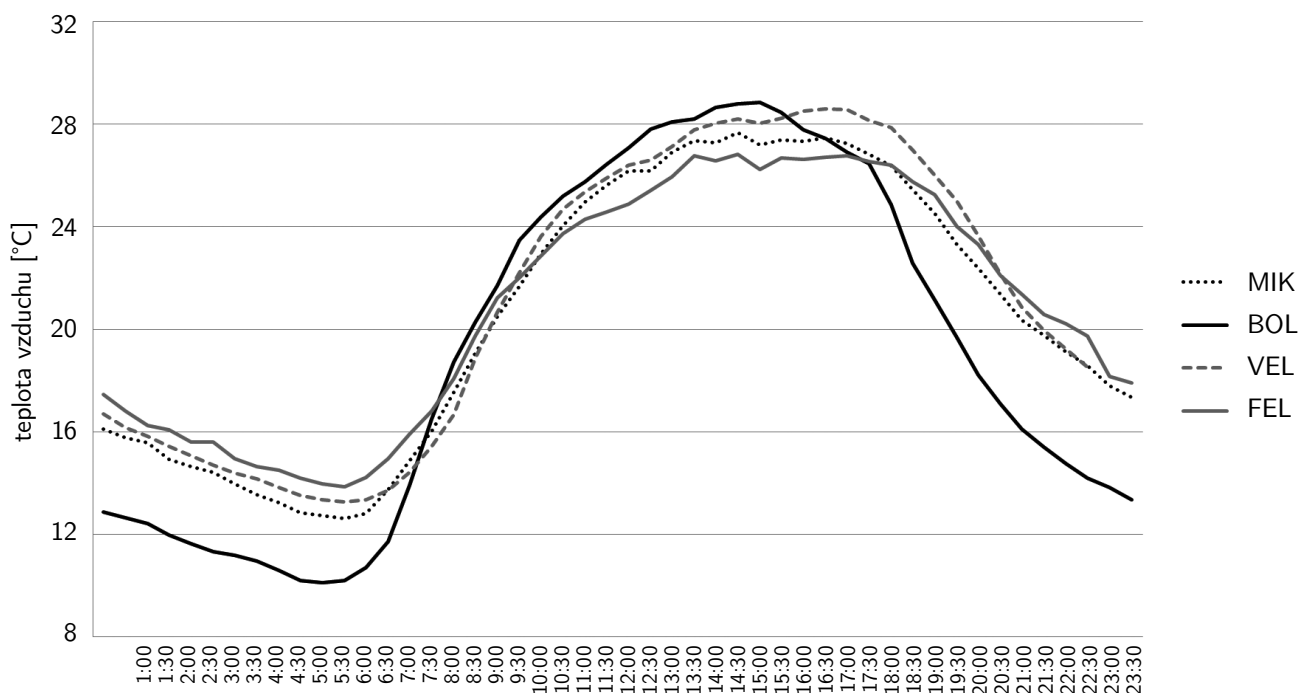
Hodnocení denního chodu teplot vzduchu vychází z půlhodinových intervalů měření, přičemž bylo prováděno průměrování hodnot z jednotlivých dnů vybraných týdnů s anticyklonálním režimem počasí.

V týdnech 8. – 14. 1. 2009 a 9. – 15. 4. 2009 byla jako nejteplejší vyhodnocena stanice FPE Veleslavínova. Druhá nejteplejší je stanice Plzeň-Mikulka a nejchladnější stanice Plzeň-Bolevec.

Vzhledem k dostupnosti dat bylo pouze hodnocení týdne 14. – 20. 8. 2009 provedeno pro čtyři stanice (s výjimkou stanice Plzeň-město). V týdnu 14. – 20. 8. 2009 byla jako nejteplejší vyhodnocena stanice FPE Veleslavínova, jako druhá nejteplejší stanice FEL Bory, rozdíl mezi oběma stanicemi je však zanedbatelný. V dalším pořadí byla stanice Plzeň-Mikulka. Jednoznačně nejchladněji se opět jevila stanice Plzeň-Bolevec. Na obr. 6 na následující straně je patrný specifický chod teploty vzduchu na stanici Plzeň-Bolevec. V období negativní energetické bilance povrchu (v nočních a ranních hodinách) vykazuje stanice Plzeň-Bolevec záporné odchylky ostatních stanic. V období pozitivní energetické bilance je tomu naopak.

Denní chod vlhkosti vzduchu

V týdnu 8. – 14. 1. 2009 vykazovala relativně nejvyšší vlhkost stanice Plzeň-Mikulka, jako druhá nejvlhčí byla vyhodnocena stanice FPE Veleslavínova a nejméně vlhkou byla stanice Plzeň-Bolevec. Rozdíly mezi porovnávanými meteorologickými stanicemi však byly minimální. V týdnu 9. – 15. 4. 2009 byla jako jednoznačně nejvlhčí vyhodnocena stanice Plzeň-Bolevec. Druhá nejvlhčí byla stanice FPE Veleslavínova a nejméně vlhkou byla stanice Plzeň-Mikulka. Rozdíly mezi jednotlivými meteorologickými stanicemi jsou výrazně vyšší než v prvním porovnávaném týdnu.



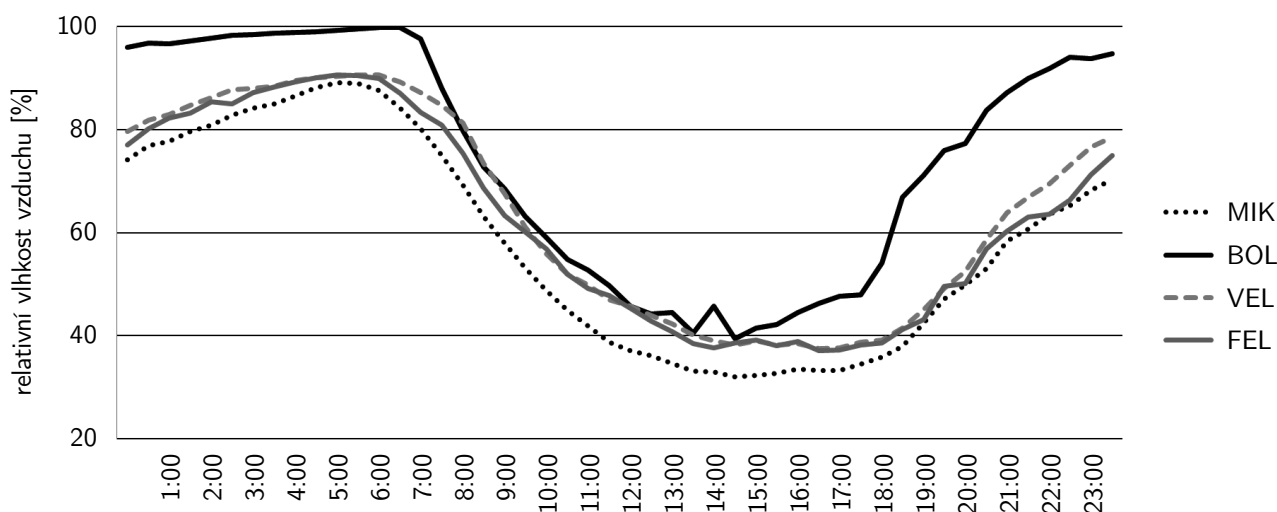
Obr. 6. Denní chod teplot vzduchu na základě průměrů půlhodinových hodnot na sledovaných stanicích v týdnu 14.–20. 8. 2009; zdroj: vlastní zpracování s využitím dat ČHMÚ a ZČU

V týdnu 14. – 20. 8. 2009 zaznamenala jednoznačně nejvyšší hodnoty vlhkosti stanice Plzeň-Bolevec. Druhá nejvlhčí byla stanice FPE Veleslavínova a třetí nejvlhčí stanice FEL Bory, rozdíl mezi oběma stanicemi není výrazný. Nejnižší hodnoty vlhkosti vykazovala, stejně jako v dubnovém týdnu, stanice Plzeň-Mikulka. Rozdíly mezi jednotlivými meteorologickými stanicemi byly poměrně výrazné. Z hodnocení denního chodu relativní vlhkosti vzduchu na základě půlhodinových hodnot ve vybraných týdnech vyplývají závěry odpovídající fyzikálnímu vztahu ke zjištěnému chodu teplot. Potvrzuje to i srovnání

recipročního průběhu teplot a relativní vlhkosti vzduchu na obr. 6 a obr. 7. Pouze v lednovém týdnu nebyl tento vztah potvrzen.

Korelace půlhodinových hodnot

Korelační koeficienty mezi jednotlivými stanicemi podle půlhodinových hodnot teploty vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu nabývají celkově velmi vysokých hodnot (tab. 6). Vztah naměřených hodnot teploty vzduchu mezi jednotlivými stanicemi je hodnocen jako velmi těsný. Nižší hodnoty těsnosti vztahů obecně vykazují korelace relativní vlhkosti vzduchu.



Obr. 7. Denní chod vlhkosti vzduchu na základě průměrů půlhodinových hodnot na sledovaných stanicích v týdnu 14.–20. 8. 2009; zdroj: vlastní zpracování s využitím dat ČHMÚ a ZČU

	BOL	MIK	VEL	FEL
BOL		0,9457	0,9415	<u>0,9228</u>
MIK	0,9195		0,9776	0,9707
VEL	0,9144	0,9846		0,9864
FEL	<u>0,8816</u>	0,9769	0,9767	

Poznámky: Spodní tmavší část matice ukazuje korelační koeficienty hodnot vlhkosti vzduchu. Tučně je zvýrazněna nejvyšší hodnota, podtržením označena nejnižší hodnota.

Tab. 6. Matice korelačních koeficientů půlhodinových hodnot teplot a relativní vlhkosti vzduchu na sledovaných stanicích v týdnu 14. – 20. 8. 2009; zdroj: vlastní zpracování s využitím dat ČHMÚ a ZČU

Jak ukazuje korelační matice (horní část tab. 6), vykazovaly půlhodinové teploty v týdnu 14. – 20. 8. 2009 nejtěsnější vztah mezi stanicí FPE Veveslavínova a stanicí FEL Bory. Nejméně těsný vztah je mezi stanicemi Plzeň-Bolevec a FEL Bory. Z hlediska relativních vlhkostí vzduchu vyšel v týdnu 14. – 20. 8. 2009 nejtěsnější vztah mezi stanicí Plzeň-Mikulka a stanicí FPE Veveslavínova (dolní část tab. 6). Nejméně těsný vztah byl stejně jako u teplot vzduchu mezi stanicemi Plzeň-Bolevec a FEL Bory. Rozdílný chod hodnot u meteorologické stanice Plzeň-Bolevec v porovnání s ostatními meteorologickými stanicemi (obr. 6 a 7) dobře ilustruje příčinu nižších hodnot korelačních koeficientů mezi touto stanicí a ostatními meteorologickými stanicemi.

Diskuse výsledků

Na základě dokumentované topoklimatické polohy jednotlivých stanic a vztahu k městské zástavbě lze předpokládat, že se naměřené hodnoty na jednotlivých stanicích budou odlišovat. To se do jisté míry potvrdilo rozborem naměřených hodnot z let 2009–2010. Ovšem je třeba brát v úvahu i zjištěné rozdíly v technickém vybavení, přesnosti měření a technice sběru dat. Na základě technické dokumentace lze učinit závěr, že nejpřesněji měří jednotlivé meteorologické prvky stanice Plzeň-Mikulka a Plzeň-Bolevec. Měření školních meteorologických stanic FPE Veveslavínova a FEL Bory není tak přesné jako u výše jmenovaných stanic a měření srážkových úhrnů je značně nepřesné. V meteorologické stanici Plzeň-město je

použito měření v klasické velké žaluziové meteorologické budce doplněné srážkoměrem, což neumožňuje automatický sběr dat, přesnost hodnot by měla být podobná jako u školních stanic vybavených soupravou Vantage Pro2™.

Při porovnání technického vybavení a metodiky měření bylo zjištěno, že meteorologické stanice sítě ČHMÚ pracují po celý rok se středoevropským časem (SEČ), zatímco data ze školních stanic Vantage Pro2™ provozovaných Západočeskou univerzitou v Plzni přechází v letním půlroce automaticky na středoevropský letní čas (SELČ). Tento aspekt je třeba brát v úvahu při srovnání hodnot. V našem případě byly v jednotlivých týdnech s anticyklonálním prouděním (dubnový a srpnový termín) hodnoty přepočítány a výsledky prezentovaného denního chodu teplot a vlhkosti vzduchu jsou tak korektní.

Na základě zjištěných těsností vztahů naměřených hodnot teploty a vlhkosti vzduchu jednotlivých stanic lze odvodit, že se naměřené hodnoty liší nejen kvůli odlišnému přístrojovému vybavení, ale zejména v důsledku rozdílné topoklimatické polohy. Tento závěr vyplývá z matic korelačních koeficientů, které dokládají, že meteorologické stanice se stejnou technikou měření (Plzeň-Mikulka a Plzeň-Bolevec) vykazují méně těsný vztah, než je tomu u stanic s obdobnou polohou a rozdílnou technikou měření (Plzeň-město a FPE Veveslavínova). Bylo zjištěno, že zejména hodnoty teplot a vlhkosti vzduchu stanice Plzeň-Bolevec jsou výrazně ovlivňovány topoklimatickou polohou, což je v souladu s dlouhodobým trendem měření na této stanici (Matušková, Novotná et al., 2007). Vzhledem k potřebám škol je ovšem důležitý závěr, že technické vybavení školní meteorologické stanice Vantage Pro2™ neovlivňuje měření teplot a vlhkosti vzduchu tak výrazně jako topoklimatická poloha.

Závěr

Předkládaná studie porovnává pět meteorologických stanic na území města Plzně (Plzeň-Mikulka (ČHMÚ), Plzeň-město (ČHMÚ), Plzeň-Bolevec (ČHMÚ), Plzeň ZČU FEL Bory, Plzeň ZČU FPE Veveslavínova). Pro měření meteorologických prvků je na školních stanicích FPE Veveslavínova a FEL Bory používána souprava Vantage Pro2™. Meteorologické stanice Plzeň-Mikulka a Plzeň-Bolevec užívají profesionální přístroje sítě ČHMÚ – teploměr Vaisala HMP 155, typ Pt 100, vlhkoměr Vaisala HMP 155, typ Humicap F 191 a srážkoměr MR3H – FC. Lokalita Plzeň-město pak používá pro svá měření klasické analogové vybavení – velkou žaluziovou meteorologickou budku.

Na základě výsledků a jejich diskuse lze meteorologickou stanicí Vantage Pro2™ doporučit jako vhodný nástroj ke školnímu měření meteorologických prvků. Tímto vybavením získané výsledky měření teplot a relativní vlhkosti vzduchu ve srovnání s profesionálními přístroji můžeme hodnotit jako hodnověrné. Tento závěr však neplatí pro měření srážek, ovlivněné konstrukcí srážkoměru. Další prvky měření nebyly hodnoceny (barometrický tlak, směr a rychlost větru, intenzita slunečního a UV záření).

Při zřizování školních meteorologických stanic je třeba dbát na vhodné umístění měřicích čidel. Kromě topoklimatické polohy má na měření vliv také umístění čidel s ohledem na okolí. Nestandardní umístění školních meteorologických stanic může hrát významnou roli v ovlivnění měřených prvků. Umístění školních stanic FPE Veleslavínova (ze dvou stran mají vliv vysoké budovy) a FEL Bory (střecha vysoké budovy) sice nemá zásadní vliv na měření teplot a vlhkosti, ale u dalších prvků, např. rychlosti a směru větru, se může projevit výrazně.

V souladu s naším zjištěním vypovídá o kvalitě meteorologické soupravy Vantage Pro2™ také skutečnost, že jsou tyto soupravy celosvětově doporučované pro zapojení škol do projektu GLOBE. Projekt GLOBE (Global Learning and Observations to Benefit the Environment) je mezinárodní program zaměřený na praktické pozorování a výzkumy životního prostředí. Zapojují se do něj školy z celého světa a garantem projektu je NASA. S využitím jednoduchých vědeckých postupů žáci pozorují vývoj počasí, měří kvalitu ovzduší a vody, zkoumají dřeviny nebo půdní vlastnosti. Svá naměřená data posílají účastníci programu do společné databáze, která je poté k dispozici nejen jim, ale i vědcům a veřejnosti. Program WeatherLink stanice Vantage Pro2™ umožňuje export dat přímo ve formátu pro projekt GLOBE.

Poděkování

Článek vznikl za podpory grantu Západočeské univerzity v Plzni SGS-2010-051 Odraž environmentálních vlivů ve výuce přírodních věd. Za data poskytnutá pro zpracování studie děkujeme Českému hydrometeorologickému ústavu, pobočce Plzeň, a oddělení technické ekologie katedry elektroenergetiky a ekologie Fakulty elektrotechnické ZČU v Plzni.

Děkujeme RNDr. Ivanu Farskému, CSc., RNDr. Janě Bohdálkové, Ph.D., a RNDr. Jiřímu Hostýnkovi za podnětné recenzní připomínky k textu.

Literatura

- ČHMÚ 2011. *Typy povětrnostních situací na území ČR v roce 2009* [online], ČHMÚ [cit. 24. 9. 2010]. Dostupné na WWW: <<http://old.chmi.cz/meteo/om/mk/typs09.html>>.
- DAVIS INSTRUMENTS 2006. *Vantage Pro2™ Console Manual*. Davis Instruments Corp. Hayward, 53 pp.
- FILIP, S. 2008. Školní meteorologické stanice v environmentální výchově. In *Environmentální výchova jako průřezové téma*. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň. 53–60.
- MATUŠKOVÁ, A., NOVOTNÁ, M. et al. 2007. *Geografie města Plzně*. Západočeská univerzita v Plzni, Plzeň. 184 pp.
- NOSEK, M. 1972. *Metody v klimatologii*. Československá akademie věd, Praha. 434 pp.
- OKE, T. R. 2006. *Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites*. World meteorological organization. 51 pp.
- PISKÁČEK, V. 1975. *Klimatické poměry na Plzeňsku za posledních 50 let*. Urbanistické středisko města Plzně, Plzeň. 54 pp.
- PROŠEK, P., REIN, F. 1982. *Mikroklimatologie a mezní vrstva atmosféry*. Státní pedagogické nakladatelství, Praha. 237 pp.
- QUITT, E. 1994. *Topoklimatické mapování pro potřeby ochrany ovzduší Plzně a okolí s digitalizovanými registry GIS pro síť informačních jednotek 50 × 50 m*. Ekodataservis, Brno. 20 pp.
- SLABÁ, N. 1972. *Návod pro pozorovatele meteorologických stanic ČSSR*. Hydrometeorologický ústav v Praze, Praha. 224 pp.
- TOLASZ, R. et al. 2007. *Atlas podnebí Česka*. Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc. 254 pp.
- VACÍK, P. 2011. *Porovnání meteorologických stanic na území města Plzně na základě měření v letech 2009–2010*. Bakalářská práce. ZČU v Plzni, Plzeň. 97 pp.
- VYSOUDIL, M. 2007. Možnosti sběru dat pro studium topoklimatu. *Miscelanea geographica* 13: 167–174.

Summary – Comparison of school meteorological stations Vantage Pro2™ and CHMI meteorological stations on the basis of measurements in the city of Plzeň in 2009–2010

The credibility of data measured by school meteorological stations Vantage Pro2™ is investigated in this paper. The subject of this study is to compare five meteorological stations in the city of Plzeň: Plzeň-Mikulka (CHMI), Plzeň-Bolevec (CHMI), Plzeň-city (CHMI) and school meteorological stations Vantage Pro2™ Plzeň-Bory (FEE University of West Bohemia) and Plzeň-Veleslavínova (FE University of West Bohemia).

The comparison of weather stations is done in three steps.

(a) We compare of topoclimatic locations of five climate stations on the basis of Quitt's topoclimatic map of Plzeň and its surroundings. Meteorological stations measure at different topoclimatic locations of urban area (fig. 1).

(b) For measuring data at the school meteorological stations Plzeň-Veleslavínova and Plzeň-Bory, Vantage Pro2™ station has been used. The meteorological stations Plzeň-Mikulka and Plzeň-Bolevec use the thermometer Vaisala (HMP 155, type PT 100), hygrometer Vaisala (HMP 155, type F HUMICAP 191) and rain gauge MR3H – FC. The weather station Plzeň-city uses a classic great weather roller box.

(c) We have analysed average daily values of air temperature [°C], relative air humidity [%] and precipitation [mm] measured in 2009–2010 and half an hour values of air temperature [°C] and relative air humidity [%] in selected periods of the anticyclonic type of weather. The meteorological station Plzeň-Veleslavínova was the warmest and station Plzeň-Bolevec was the most humid in 2009–2010.

We study the relationships between various meteorological elements measured at the climatic stations by Pearson correlation coefficient. The highest values of correlation coefficients and thus the closest relationship in values of air temperature and relative air humidity are between meteorological stations Plzeň-Mikulka a Plzeň-city and between Plzeň-Mikulka and Plzeň-Veleslavínova. The lowest values of correlation coefficients are between stations Plzeň-Bolevec and other meteorological stations.

The results can be concluded that weather station Vantage Pro2™ is a suitable tool for school

meteorological measuring of air temperature and relative air humidity. The results are comparable with professional meteorological measuring tools. The station Vantage Pro2™ is a useful supplement for environmental education at schools.

Tab. 1. Basic characteristics of meteorological stations; source: own elaboration

Tab. 2. Technical specification of Vantage Pro2™ meteorological tools; source: Davis Instruments 2006

Tab. 3. Technical specification of meteorological tools of CHMI automatic stations; source: own elaboration, CHMI handbooks

Tab. 4. Average monthly values of air temperature [°C] at the observed meteorological stations in 2010; source: own elaboration, primary data CHMI and University of West Bohemia

Tab. 5. Correlation coefficients matrix of air temperature (upper part of matrix) and relative air humidity (lower part of matrix) daily values at the observed meteorological stations in 2009–2010, maximum in bold, minimum is underline; source: own elaboration, primary data CHMI and University of West Bohemia

Tab. 6. Correlation coefficients matrix of air temperature (upper part of matrix) and relative air humidity (lower part of matrix) half-hourly values at the observed meteorological stations on week 14. – 20. 8. 2009, maximum in bold, minimum is underline; source: own elaboration, primary data CHMI and University of West Bohemia

Fig. 1. Locations of meteorological stations (description see tab. 1); source: own elaboration

Fig. 2. School meteorological station Vantage Pro2™ Plzeň-Veleslavínova

Fig. 3. Differences of average monthly air temperature values between observed meteorological stations and station Plzeň-Mikulka in 2010; source: own elaboration, primary data CHMI and University of West Bohemia

Fig. 4. Average monthly values of relative air humidity at the observed meteorological stations in 2010; source: own elaboration, primary data CHMI and University of West Bohemia

Fig. 5. Average monthly values of precipitation at the observed meteorological stations in 2010; source: own elaboration, primary data CHMI and University of West Bohemia

Fig. 6. Daily course of air temperature on the basis of average half-hourly values at the observed meteorological stations on week 14. – 20. 8. 2009; source: own elaboration, primary data CHMI and University of West Bohemia

Fig. 7. Daily course of relative air humidity on the basis of average half-hourly values at the observed meteorological stations on week 14. – 20. 8. 2009; source: own elaboration, primary data CHMI and University of West Bohemia