

Změny mikroklimatu ostřicové louky během posledních 40 let

Changes of microclimate in a sedge-grass marsh within the last 40 years

Jiří Dušek¹, Stanislav Stellner¹, Šárka Hudecová²

¹*Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i. Bělidla 986/4a Brno;*

²*Katedra pravděpodobnosti a matematické statistiky MFF UK, Sokolovská 83, Praha;*

Abstrakt

Průměrná, maximální a minimální teplota vzduchu postupně vzrostla během let 1977 až 2017. Vzestup teplot není stejný během různých období roku. Zjistili jsme různý vzestup teplot vzduchu pro jednotlivé měsíce roku. Denní průměrná teplota průkazně vzrostla ve vegetačním období (duben - květen). Nejvyšší vzrůst maximální teploty vzduchu byl zaznamenán v měsíci dubnu. Charakter srážek se také během měřeného období změnil a je konsistentní s růstem teplot vzduchu. Pokles srážek lze pozorovat v teplejším dubnu. Frekvence extrémních srážek a s nimi související kolísání vodní hladiny je podstatně vyšší v posledních letech, než tomu bylo před rokem 2000. Podrobná znalost týkající se mikroklimatických změn v ostřicové louce jsou důležité z hlediska ekosystémových funkcí mokřadu v krajině.

Klíčová slova: teplota, srážky, Carex, mokřad, povodeň

Abstract

The average, maximum and minimum air temperatures have been gradually increasing since 1977 to 2017. The air temperature rise was not the same in all periods of the year. We found different increases for individual months. The daily mean air temperature rose significantly in the growing period (April-August). The precipitation characteristics have been changing in the sedge-grass marsh too. The observed trends differ among months in sign as well as in the magnitude, and they are consistent with the air temperature changes. We found that extreme precipitation seems to occur significantly more frequently in recent years compared to the period before 2000. Awareness of these changes is important for possible positive human intervention when a desirable wetland ecosystem function is threatened.

Keywords: temperature, precipitation, Carex, wetland, floods

Úvod

Sledování změn podmínek prostředí je v současnosti velice aktuální, neboť postupné globální změny klimatu odráží změny meteorologických prvků na lokální mikroklimatické úrovni. Tyto změny můžeme nejlépe dokumentovat, pokud máme k dispozici dostatečně dlouhou časovou řadu pozorování vhodných meteorologických prvků, jako jsou např. teplota vzduchu, srážky apod. Probíhající změny mikroklimatu prostředí výrazně ovlivňují funkci neobhospodařovaných ekosystémů, jejichž porost je vymezen extrémy prostředí (Crawford 1989). V posledních letech bylo zaznamenáno výrazné kolísání některých meteorologických prvků, jako jsou teploty vzduchu a srážky (Klein Tank a Können 2003, Brázdil et al. 2009, Cahynová a Huth 2009). Tato kolísání jsou pak úzce spojena s výskytem různých extrémních jevů počasí, jako jsou extrémní teploty vzduchu, bouře, periody sucha nebo příválových srážek (Kyselý a Píček 2007, Kyselý 2009, Coumou a Rahmstorf 2012, Westra et al. 2013).

Datová řada meteorologických prvků měřených na podmáčené ostřicové louce v oblasti “Mokrých luk u Třeboně” je unikátní řadou, protože se nejedná o standardní meteorologickou stanici s definovaným a udržovaným porostem rostlin (trávníkem) v jejím bezprostředním okolí. Porost ostřicové louky byl, ponechám od padesátých let minulého století samovolnému vývoji bez jakéhokoli přímého zásahu člověka. Změřená data proto odpovídají specifickému mikroklimatu mokřadního ekosystému. Mokřadní ekosystém je schopen do jisté míry regulovat a udržovat si svoje mikroklima vhodné pro růst mokřadních druhů rostlin (Brom a Pokorný 2009, Hesslerová a Pokorný 2010). Pro schopnost regulace mikroklimatu ostřicové louky je nutná optimální výška hladiny vody v průměru kolem povrchu půdy a vodní režim s možným výskytem záplav, kdy je hladina vody výrazně nad povrchem půdy ($>0,4\text{m}$) (Dušek et al. 2009, 2017).

Cílem naší studie bylo na základě analýzy dlouhodobé datové řady (1977-2017) meteorologických parametrů teplot vzduchu a srážek měřených na podmáčené ostřicové louce v oblasti “Mokrých luk u Třeboně” popsat změnu mikroklimatu mokřadního ekosystému, která proběhla za posledních 41 let.

Materiál a metody

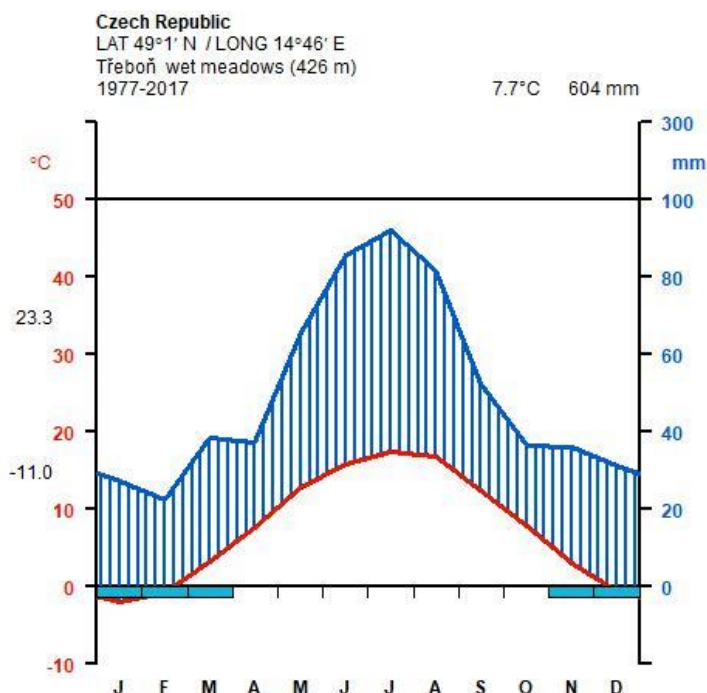
Charakteristika lokality

Podmáčená ostřicová louka, která je součástí většího komplexu Mokřých luk u Třeboně se nachází v prostoru výtopy rybníka Rožmberk (49°01'29"N, 14°46'13"E, 426 m n.m.). Meteorologická stanice je součástí české sítě dlouhodobých ekologických měření LTER (Vrba a Hruška 2016) a je také součástí integrované systému měření uhlíku ICOS (Komise EU 2015/2097). Dlouhodobé mikroklimatické podmínky podmáčené ostřicové louky shrnuje klimadiagram (Obr. 1). Průměrná roční teplota je 7,7 °C a průměrná roční suma srážek je 604 mm. Porost ostřicové louky je tvořen dominujícími vysokými ostřicemi ostřicí štíhlou (*Carex acuta*) a ostřicí měchýřkatou (*Carex vesicaria*). V porostu ostřic můžeme najít druhy chrasticí rákosovitou (*Phalaris arundinacea*), třtinu šedavou (*Calamagrostis canescens*), zblochan vodní (*Glyceria maxima*) a puškvorec obecný (*Acorus calamus*) (Květ et al. 2002, Prach 2008, Honissová et al. 2015).

Popis meteorologické stanice

Měření meteorologických parametrů ostřicové louky probíhalo v letech 1977 až 2006 přístroji umístěnými v meteorologické budce umístěné 2 m nad povrchem půdy. Meteorologická budka byla vybavena staničním, minimálním a maximálním teploměrem, barometrem a hygrometrem (Přibáň et al. 1992). V blízkosti budky byly dále umístěny půdní teploměry, srážkoměr a trubka pro měření hladiny spodní vody. V roce 2004 byla budována nová stanice vzdálená 120 m od původní meteorologické budky. Tento posun měření neměl zásadní vliv na homogenitu časové řady (viz Dušek et al. 2013 a 2017). Vědecká měřicí infrastruktura nové stanice je tvořena pontonem ve tvaru kříže, který je schopen při vysoké vodní hladině plavat a měřit během záplavy. Vybavení pro měření mikroklimatických parametrů je elektronické a změřené hodnoty jsou průběžně zaznamenávány dataloggery. Na stožáru pontonu a v okolí pontonu jsou umístěna čidla pro měření mikroklimatických parametrů prostředí: teploty půdy (Pt100, EMS Brno, ČR), teploty vzduchu (EMS33R, EMS Brno, ČR), srážek (model 376, Met One Instruments, USA), výšky vodní hladiny (LMP307i, BD sensors, ČR), směru a rychlosti větru (WindSonic 2D, Gill Instruments Limited, UK). Součástí těchto měření jsou také měření slunečního záření v různých vlnových rozsazích (CNR4 Net radiometer Kipp & Zonen, NL), fotosynteticky aktivní záření (LI-190/R Quantum Sensor, Li-cor, USA). Na měření meteorologických prvků mikroklimatu navazují měření toku uhlíku ve formě oxidu uhličitého (CO₂) a metanu (CH₄) mezi atmosférou a mokřadním ekosystémem metodou vířivé kovariance (Licor 7200, Licor 7700, USA; WindSonic HS-50, Gill Instruments Limited, UK).

Tato měření jsou dále doplněna automatickými měřeními toků CO₂ a CH₄ z porostu použitím automatických emisních komor vlastní konstrukce (Dušek et al. 2012).



Obr. 1 Klimatický diagram podle Waltera a Leitha (Walter a Leith, 1960) meteorologické stanice na podmáčené ostřicové louce v oblasti „Mokřých luk u Třeboně“.

Statistické zpracování dat

Analýzy dat časové řady byly provedeny programem R, který je prostředím pro statistické analýzy a grafiku (R Core Team. 2017).

Pro analýzu teplot vzduchu po jednotlivých měsících byly uvažovány modely s deterministickou trendovou složkou a korelovanými chybami, které se řídí ARMA modelem (Box et al., 2008). Pro odhad parametrů byla použita zobecněná metoda nejmenších čtverců (GLS). Linearita trendu teplot vzduchu byla testována pomocí porovnání modelu s lineárním trendem proti modelu s trendem modelovaným pomocí kubických splinů (Diercks 1993). Podobně byla vyhodnocena statistická významnost trendové složky.

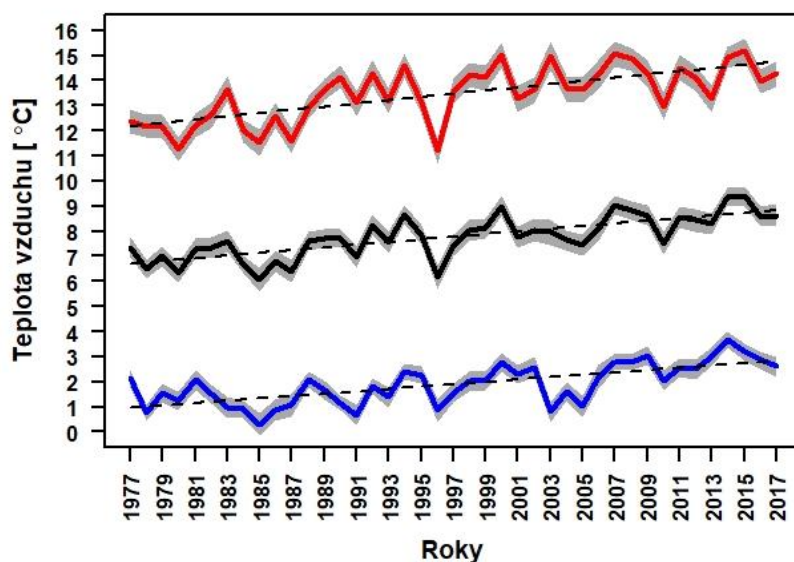
Trendy v časových řadách srážek pro jednotlivé měsíce byly analyzovány pomocí regresního modelu s lineárním nebo kvadratickým trendem, přičemž případná autokorelace náhodných chyb byla zohledněna ve výpočtu p-hodnot statistické významnosti (Zeileis 2004).

V případě významného kvadratického trendu byla použita aproximace po částech lineární funkcí (Muggeo 2003), která poskytuje lépe interpretovatelné výsledky. Kromě srážkových úhrnů byl analyzován také výskyt srážek pomocí modelu pro binárně transformovaná data (prší/neprší) a případný trend v délce deštivých a suchých úseků. Extremita srážek byla analyzována pomocí modelu pro roční maxima. Byly použity standardní statistické metody pro modelování blokových maxim (Coles 2001, Beirlant et al. 2004) s časově závislými parametry, přičemž bylo uvažováno několik různých modelů této závislosti. Detailní popis metodik analýzy časové řady jsou uvedeny v Dušek et al. 2013 a 2017.

Výsledky

Změny teplot vzduchu

V průběhu let 1977 až 2017 je patrný postupný vzrůst teplot vzduchu podmáčené ostřicové louky měřené ve výšce 2 m nad povrchem půdy. Trendy vzestupu teplot regresního modelu (Dušek et al. 2013) jsou zřejmé u průměrné roční teploty ($0,053 \text{ }^{\circ}\text{C rok}^{-1}$), ale největší trend vzestupu teploty byl zaznamenán u maximálních teplot vzduchu ($0,064 \text{ }^{\circ}\text{C rok}^{-1}$). Naopak trend minimální teploty vzduchu roste nejpomaleji ($0,047 \text{ }^{\circ}\text{C rok}^{-1}$). V měřeném období jsme zaznamenali 7 chladnějších roků, ale 10 roků, kdy bylo výrazně tepleji (Obrázek 2). Od počátku měření průměrná teplota vzduchu na podmáčené ostřicové louce postupně vzrostla o $2,17 \text{ }^{\circ}\text{C}$ během 41 let. Vzrůst teplot vzduchu byl rozdílný mezi jednotlivými měsíci roku. Průměrná teplota vzduchu statisticky průkazně vzrostla v měsících vegetační doby (duben až srpen). V podzimním období jsme zjistili statisticky průkazný vzestup průměrné teploty vzduchu pouze v listopadu (Tabulka 1). Nejvýraznější vzrůst teploty vzduchu jsme zjistili u maximálních teplot v měsíci dubnu ($0,126 \text{ }^{\circ}\text{C rok}^{-1}$). Dále statisticky průkazně rostla maximální teplota vzduchu v červnu, červenci a srpnu. Průkazný vzrůst maximální teploty vzduchu nebyl zjištěn v květnu, kde jsme naopak zaznamenali statisticky průkazný vzrůst minimální teploty vzduchu ($0,048 \text{ }^{\circ}\text{C rok}^{-1}$). Minimální teplota vzduchu statisticky průkazně rostla kromě května také v červnu, červenci a srpnu a na podzim v listopadu. Největší vzrůst minimální teploty byl zjištěn v červenci a listopadu (Tabulka 1). Jediný pokles teploty jsme zaznamenali u minimální teploty vzduchu v měsíci březnu ($-0,010 \text{ }^{\circ}\text{C rok}^{-1}$), který byl ale výrazně statisticky neprůkazný (P -hodnota = 0,971).



Obr. 2 Teploty vzduchu měřené na podmáčené ostřicové louce v oblasti „Mokrých luk u Třeboně“ během let 1977 až 2017. Průměrné roční teploty vzduchu (černá křivka), průměrné roční maximální teploty vzduchu (červená křivka) a průměrné roční minimální teploty vzduchu (modrá křivka). Chyba průměru šedá plocha u křivek. Čárkovaná přímka - lineární trend změny teplot vzduchu.

Tabulka 1 Vzrůst teplot vzduchu měřených na podmáčené ostřicové louce v oblasti „Mokrých luk u Třeboně“ během let 1977 až 2017 charakterizovaný směrnici trendu regresního modelu (Dušek et al. 2013). Uvedena směrnice a průkaznost (P-hodnota upravená Holmovou metodou). Tučně zvýrazněné statisticky průkazné změny.

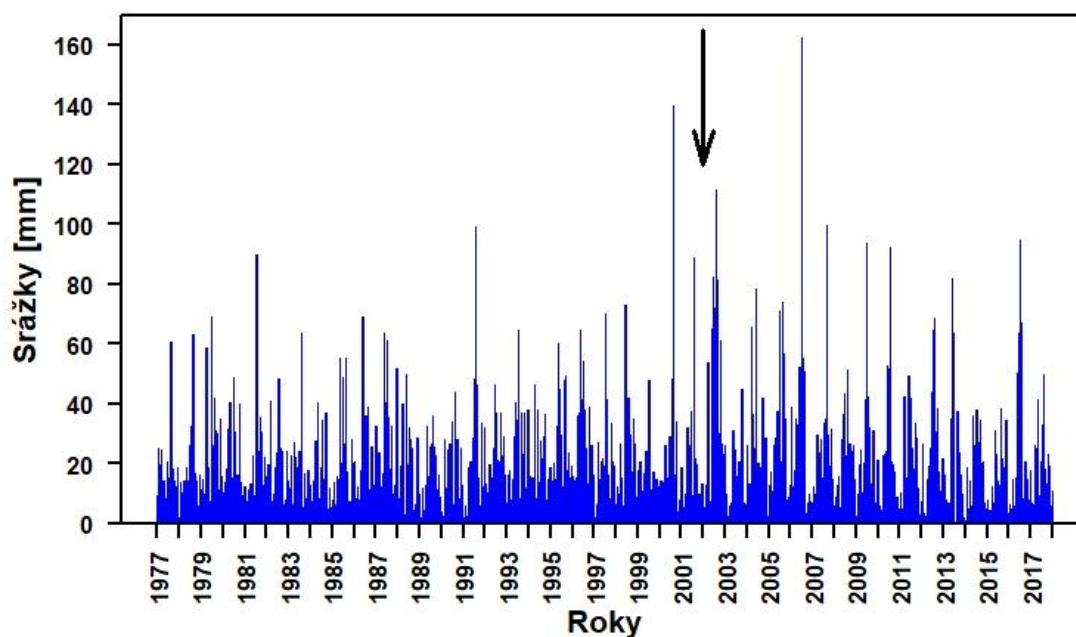
Měsíc	Průměrná teplota		Maximální teplota		Minimální teplota	
	Směrnice	P-hodnota	Směrnice	P-hodnota	Směrnice	P-hodnota
Leden	0,051	0,687	0,044	0,094	0,063	0,476
Únor	0,052	0,689	0,062	0,846	0,049	0,971
Březen	0,026	0,689	0,065	0,316	-0,010	0,971
Duben	0,085	0,000	0,126	0,0004	0,040	0,175
Květen	0,050	0,039	0,053	0,287	0,048	0,042
Červen	0,073	0,000	0,086	0,004	0,065	0,001
Červenec	0,089	0,000	0,107	0,002	0,081	0,000
Srpen	0,069	0,001	0,091	0,006	0,054	0,024
Září	0,028	0,613	0,033	0,940	0,029	0,475
Říjen	0,028	0,614	0,019	0,939	0,047	0,265
Listopad	0,070	0,017	0,065	0,104	0,074	0,027
Prosinec	0,022	0,689	0,032	0,939	0,021	0,971

Srážky

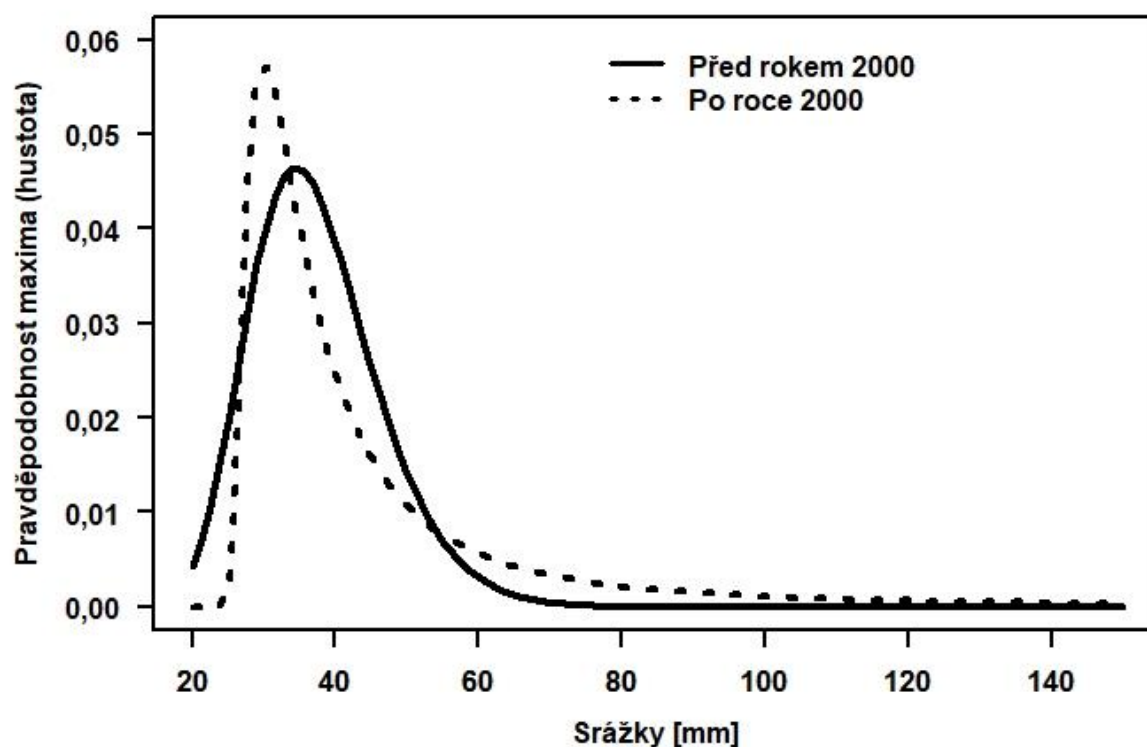
Analýza srážek během sledovaného období 1977-2017 ukázala, že došlo k změně jejich charakteru. Statisticky průkazný trend vzrůstu množství srážek jsme našli v měsíci květnu, Množství srážek v tomto měsíci pozvolna stoupá o $0,852 \text{ mm rok}^{-1}$. Za období 41 let vzrostl úhrn srážek pro měsíc květen o 34,9 mm. Další průkazná změna byla nalezena pro měsíc prosinec, kdy množství srážek mírně stoupá do roku 1991 (1993) a potom výrazněji klesá $1,448 \text{ mm rok}^{-1}$. U ostatních měsíců jsme nenašli statisticky průkaznou změnu v množství srážek.

Kromě změny množství jsme analyzovali také pravděpodobnost výskytu srážek v jednotlivých měsících. Statisticky průkazný (P-hodnota <0.05) lineárně rostoucí trend jsme zaznamenali v květnu, červnu a říjnu, zatímco klesající trend (P-hodnota <0.10) v únoru a dubnu. V březnu pravděpodobnost výskytu srážek rostla do roku 1997 a od té doby klesá, tato změna však není velmi výrazná (-0.013 rok^{-1}). Dále byl zkoumán trend v deštivých úsecích a období sucha (tj. v délce po sobě jdoucích deštivých a po sobě jdoucích suchých dní). Maximální počet po sobě jdoucích deštivých dní statisticky průkazně (P-hodnota $<0,01$) vzrostl v květnu a červnu. Pokles jsme naopak zaznamenali v dubnu, kdy je zřejmě počasí proměnlivější než dříve. V únoru nejprve maximální počet po sobě jdoucích dní s deštěm roste do roku 1996 a od té doby klesá.

Analýzou časové řady srážek jsme dále zjistili, že extrémní srážky se vyskytují s vyšší frekvencí v období po roce 2000, než tomu bylo dříve, což je také patrné např. z týdenních úhrnů srážek za sledované období (obrázek 3). Zvýšený výskyt extrémních srážek v období po roce 2000 je ukázán srovnáním odhadnutého pravděpodobnostního rozdělení ročních maxim srážek před a po roce 2000 (Obrázek 4). Hustota odhadnutá pro období před rokem 2000 dosahuje sice maxima pro vyšší hodnotu (přibližně 40 mm) než hustota pro období po roce 2000 (zde maximum dosaženo kolem 30 mm), důležitý je ale zejména rozdíl v pravděpodobnosti výskytu extrémních hodnot, tj. pravé chvosty odhadnutých hustot. Z grafu je patrné, že významně vzrostla pravděpodobnost výskytu roční maxima vyššího než 80 mm. Z diagnostiky modelu pro analýzu extrémů srážek vyplývá však určitá nejistota chování modelu srážek po roce 2000, které bude možno zpřesnit použitím delší časové řady měření srážek na podmáčené ostřicové louce.



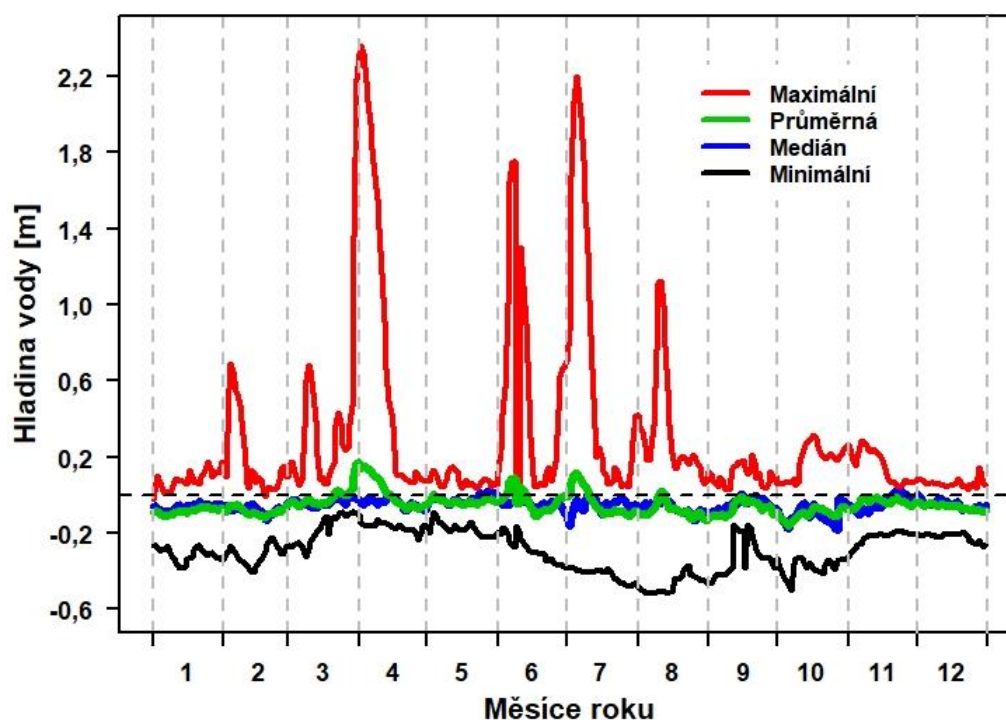
Obr. 3 Týdenní sumy srážek naměřené na podmáčené ostřicové louce v oblasti „Mokrých luk u Třeboně“ během let 1977 až 2017. Šipkou označen rok 2000, od kterého jsme zaznamenali vyšší extrémnost srážek.



Obr. 4 Hustota pravděpodobnosti zobecněné distribuce extrémních hodnot (generalized extreme value distribution) pro maxima ročních srážek před (plná čára) a po roce 2000 (přerušovaná čára) v období 1977 až 2015.

Výška vodní hladiny

Výšky vodní hladiny v období 2005 až 2017 v místě nové meteorologické stanice výrazně kolísala (Obrázek 5), což souvisí se zvýšením výskytu extrémních srážek po roce 2000 (obrázek 4). V tomto období jsme zaznamenali několik velkých záplav (2006, 2009 a 2013), kdy hladina vody byla $>0,5$ m nad povrchem půdy a v maximu dosáhla výšky až 2,36 m. Výskyt situací s velmi vysokou hladinou vody bývá většinou v jarním období (březen a duben) a potom během léta v červnu, červenci a srpnu. Během podzimu a zimy hladina vody většinou nepřesáhne výšku 0,5 m nad povrchem půdy. Kromě situací s vysokou hladinou vody zaznamenáváme také situace, kdy dochází k výraznému poklesu hladiny vody v půdě. K těmto poklesům dochází v zimním období díky vymrznutí půdního profilu do hloubky 0,2 – 0,3 m. V posledních letech zaznamenáváme častější výrazné poklesy hladiny vody v létě zejména v červenci a srpnu během vrcholu vegetační sezóny. Pokles hladiny vody na podzim zejména v měsíci říjnu je zpravidla způsoben vypuštěním rybníka Rožmberk, který je pravidelně loven každý rok. Průměrná hladina vody kolísá kolem 0,05 m pod povrchem půdy. V období bez velkých záplav je průměr výšky vodní hladiny blízký mediánu.



Obr. 5 Kolísání vodní hladiny na podmáčené ostřicové louce v oblasti „Mokrých luk u Třeboně“ během let 2005 až 2017. Uvedena maximální (červená křivka), minimální (černá křivka), medián (modrá křivka) a průměrná (zelená křivka) hladina vody. Hladina vody výrazně nad povrchem půdy vytváří záplavy, které jsou typické pro tuto lokalitu.

Diskuze

Dokumentované změny prostředí podmáčené ostřicové louky v oblasti „Mokrých luk u Třeboně“ v průběhu let 1977-2017 jsou v souladu s výsledky analýz změny klimatu na globální úrovni (IPCC 2014), společně s dalšími studiemi z oblasti střední Evropy (Brázdil et al. 2009, Westra et al. 2013). Celkový vzrůst průměrné teploty vzduchu za měřené období je 2,17 °C (41 let). Tento vzrůst teploty je výrazně vyšší, než udávaný vzrůst průměrné roční teploty o 0,69 °C za období 100 (celý rok) a je také vyšší ve srovnání se vzrůstem teploty vzduchu o 0,36 °C za 100 let jen pro letní období na území České republiky (Brázdil et al. 2009). Výrazný vzrůst teploty ostřicové louky je výrazně lokálního charakteru a do jisté míry je způsoben také tím, že lokalita „Mokrý louky u Třeboně“ je chladnější než její bezprostřední okolí a město Třeboň (Hesslerová et al. 2013). Zjištěné změny teplot ostřicové louky (Kovářová a Pokorný 2010, Dušek et al. 2013) úzce souvisí se změnami charakteru srážek (Dušek et al. 2017). Výrazný růst maximální teploty vzduchu, kterou jsme zaznamenali v dubnu, souvisí s klesající pravděpodobností výskytu srážek a klesající maximálním počtem po sobě jdoucích dní se srážkami v tomto měsíci. Naproti tomu v květnu byl vzrůst teploty doprovázen vzrůstem množství srážek a jejich pravděpodobností výskytu společně s růstem maximálního počtu po sobě jdoucích dní se srážkami. Růst teplot v červnu, červenci a srpnu byl doprovázen průkaznou změnou srážek jenom v červnu, kdy rostla jejich pravděpodobnost a maximální počet po sobě jdoucích dní se srážkami. Růst minimální teploty v listopadu nebyl doprovázen žádnou statisticky průkaznou změnou v charakteru srážek. Kyselý (2009) uvádí, že zvýšený výskyt extrémních srážek vyskytující se během několika po sobě jdoucích dní vede většinou k velmi rozsáhlým záplavám. Po roce 2000 v období se zvýšeným výskytem extrémních srážek jsme zaznamenali výrazné kolísání vodní hladiny. Toto kolísání hladiny vody znamenalo rozsáhlé záplavy ostřicové louky a většiny území oblasti „Mokrý louky u Třeboně“ v letech 2006, 2009 a 2013.

Závěr

Během období 1977 až 2017 jsme zaznamenali celkový vzrůst průměrné teploty vzduchu o 2,17 °C za posledních 41 let. Výrazný vzrůst teplot byl zaznamenán během vegetační sezóny (duben až srpen). Největší vzrůst teplot vzduchu jsme zaznamenali v dubnu, kdy maximální teplota vzduchu rostla o 0,123 °C rok⁻¹. Změny teplot vzduchu souvisely se změnou charakteru srážek. Srážky nabývají extrémního charakteru po roce 2000, což úzce souvisí s výrazným kolísáním vodní hladiny na ostřicové louce a výskytem záplav. V dubnu je růst teplot doprovázen klesající pravděpodobností výskytu srážek a klesajícím maximálním počtem po sobě jdoucích dní se srážkami v tomto měsíci. Vegetační sezóna na základě dokumentovaných změn mikroklimatu nastupuje dříve a může být jedním z faktorů ovlivňující druhové složení porostu louky. Případný zvýšený výskyt povodňových situací není tak negativní na druhové složení porostu ostřicové louky, jako případné dlouhodobé období sucha s hluboko zaklesnutou hladinou vody. Pokračující měření mikroklimatu podmáčené ostřicové louky v oblasti „Mokrých luk u Třeboně“ prodlouží dostupnou časovou řadu a umožní nám v budoucnu dokumentovat probíhající změny mikroklimatu mokřadního ekosystému.

Literatura

Beirlant, J., et al., 2004. Statistics of extremes: theory and applications. Wiley Series in Probability and Statistics. Chichester: John Wiley & Sons.

Box GEP, Jenkins GM, Reinsel GC. 2008. Time Series Analysis: Forecasting and Control, 4th edn. John Wiley and Sons: Hoboken.

Brázdil, R., et al., 2009. Climate fluctuations in the Czech Republic during the period 1961–2005. International Journal of Climatology, 29, 223–242.

Brom, J., Pokorný, J., 2009. Temperature and humidity characteristics of two willow stands, a peaty meadow and a drained pasture and their impact on landscape functioning. Boreal Environ. Res. 14, 389–403.

Cahynová, M. a Huth, R., 2009. Changes of atmospheric circulation in central Europe and their influence on climatic trends in the Czech Republic. Theory Applications Climatology, 96, 57–68.

Coles, S., 2001. An introduction to statistical modeling of extreme values. Springer Series in Statistics. London: Springer.

Coumou, D., Rahmstorf, S., 2012. A decade of weather extremes. *Nature Climate Change*, 2, 491–496.

Crawford, R.M.M., 1989. Studies in plant survival: ecological case histories of plant adaptation to adversity, *Studies in ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford ; Boston.

Dobrovský M, Nemešová I, Kalvová J. 2005. Uncertainties in climate change scenarios for the Czech Republic. *Climate Research* 29: 139–156.

Diercks P. 1993. *Curve and Surface Fitting with Splines*. Oxford: Clarendon, UK.

Dušek, J., Čížková, H., Czerný, R., Taufarová, K., Šmídová, M., Janouš, D. 2009. Influence of summer flood on the net ecosystem exchange of CO₂ in a temperate sedge-grass marsh. *Agricultural and Forest Meteorology* 149, 1524–1530.

Dušek, J., Stellner, S., Marian, P. 2012. Zařízení pro měření emisí plynů uvolňovaných porostem nebo půdou, zejména na místech s kolísavou vodní hladinou. Užitný vzor 24073.

Dušek, J., Stellner, S., Komárek, A. 2013. Long-term air temperature changes in a Central European sedge-grass marsh. *Ecohydrology* 6, 182–190.

Dušek, J., Hudecová, Š., Stellner, S. 2017. Extreme precipitation and long-term precipitation changes in a Central European sedge-grass marsh in the context of flood occurrence. *Hydrological Sciences Journal* 62, 1796–1808.

Hesslerová, P., Pokorný, J. 2010. The synergy of solar radiation, plant biomass, and humidity as an indicator of ecological functions of the landscape: a case study from Central Europe. *Integr. Environ. Assess. Manage.* 6 (2), 249–259.

Honissová M, Hovorka F, Kuncová Š, Moulisová L, Vítková J, Plsová M, Čížek J, Čížková H (2015) Seasonal dynamics of biomass partitioning in a tall sedge, *Carex acuta* L. *Aquat Bot* 125:64–71.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2014. Climate change: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team: R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva, Switzerland: IPCC.

Květ J, Lukavská J, Tetter M (2002) Biomass and net primary production in graminoid vegetation. In: Květ J, Jeník J, Soukupová L (eds) *Freshwater wetlands and their sustainable future. A case study of the Třeboň Basin Biosphere Reserve*. CRC Press, Boca Raton, pp 293–299.

Prach, K., 2008. Vegetation changes in a wet meadow complex during the past half-century. *Folia Geobot.* 43, 119–130.

Prováděcí rozhodnutí Komise (EU) 2015/2097 ze dne 26. října 2015 o zřízení integrovaného systému pro sledování cyklu uhlíku – konsorcium evropské výzkumné infrastruktury (ICOS ERIC). *Úřední věstník Evropské unie* L303, Svazek 58, str. 19.

Přibáň, K., Jeník, J., 1992. Analysis and modeling of wetland microclimate: the case study Třeboň Biosphere Reserve, *Studie ČSAV*. Academia, nakl. Československé akademie věd, Praha.

Klein Tank, A.M.G. and Können, G.P., 2003. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99. *Journal of Climate*, 16, 3665–3680.

Kovářová M, Pokorný J. 2010. Comparison of long-term monitoring of temperature and precipitation between wetland and other ecosystems. *Ecohydrology* 3: 445–456.

Kyselý, J., 2009. Trends in heavy precipitation in the Czech Republic over 1961–2005. *International Journal of Climatology*, 29, 1745–1758

Kyselý, J., Píček, J. 2007. Regional growth curves and improved design value estimates of extreme precipitation events in the Czech Republic. *Climate Research*, 33, 243–255.

Muggeo, V.M.R., 2003. Estimating regression models with unknown break-points. *Statistics in Medicine*, 22, 3055–3071.

R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Vrba J., Hruška J. (2016) Dvacet let sítě dlouhodobého ekologického výzkumu v České Republice. *Životné prostredie* 50: 67–71 .

Walter H, Leith H. 1960. *Klimadiagramm-Weltatlas*. Gustav Fischer Verlag: Jena, Germany

Westra, S., Alexander, L.V., and Zwiers, F.W., 2013. Global increasing trends in annual maximum daily precipitation. *Journal of Climate*, 26, 3904–3918.

Zeileis, A., 2004. Econometric computing with HC and HAC covariance matrix estimators. *Journal of Statistical Software*, 11, 1–17.

Poděkování

Poděkování náleží lidem, kteří se zasloužili o vznik dlouhodobé časové řady mikroklimatických dat z Mokřých luk u Třeboně. Manuální a automatická měření na Mokřých loukách zajišťovali v průběhu let: K. Přibáň, L. Rektoris, A. Kučerová a V. Bauer. Děkujeme jim za jejich obětavost a pracovní nasazení během terénních měření. Mikroklimatická měření v období 2004 - 2018 a následná zpracovávání dat byla podpořena následujícími projekty Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy: Czechglobe – Centrum pro studium dopadů globální změny klimatu CZ.1.05/1.1.00/02.0073, CzeCOS/ICOS Reg.No. LM2015061, Národní program udržitelnosti I (NPU I, LO1415). Dále finančními prostředky poskytovanými Grantovou agenturou ČR projekt: 504/11/1151 a 18-01781Y.

Kontakt:

Mgr. Jiří Dušek, Ph.D.

Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.

Bělidla 986/4a, Brno

dusek.j@czechglobe.cz