

## **Dlouhodobý vývoj vláhové bilance v oblasti lužních lesů jižní Moravy**

Long-term development of water balance in the floodplain forests of south

Moravia district

**Pavel Hadaš<sup>1</sup>, Jiří Kulhavý<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*RNDr. Pavel Hadaš, zpracování dat, posudků a studií, Veselská 31, 696 62 Strážnice*

<sup>2</sup>*Ústav ekologie lesa LDF MZLU v Brně, Zemědělská 3, 613 00 Brno*

### **Abstrakt**

Nejzranitelnějším místem ekosystému lužního lesa je narušení jeho vláhové bilance s přímým dopadem na vlhkostní režim a zásoby vody v půdě. Základním prvkem vláhové bilance jsou atmosférické srážky, které s komplexním působením dalších klimatických prvků, zejména teploty podmiňují další složku oběhu vody výpar. Cílem studie bylo pro území lužních lesů odvodit co nejdélejší časovou řadu teploty vzduchu a atmosférických srážek. V první fázi analýzy je rekonstruována časová řada teploty vzduchu a atmosférických srážek pro období bez přístrojových měření. V druhé fázi se již využívají dostupná staniční měření teplot a srážek z meteorologických stanic v okolí lužních lesů. Ve třetí fázi analýzy se již využívají vlastní měření teploty a srážek v rámci porostního mikroklimatu na území lužních lesů. Cílem studie bylo získat představu o tom, jak se chovala vláhová bilance v minulosti a jaké změny lze očekávat v budoucnosti.

**Klíčová slova:** území jižní Moravy, lužní les, vláhová bilance, vývoj

### **Abstract**

The most vulnerable point of the floodplain forest ecosystem may affect the water balance with a direct impact on the moisture regime and soil water. The basic element of the water balance are precipitation that the complex effects of other climatic variables, especially temperature, affected next components of circulation of water vapor. The aim of this study was to derive the floodplain forests longest time series of air temperature and precipitation. In the first stage of the analysis is reconstructed time series of temperature and precipitation for the period without instrumental measurements. In the second phase already using available station measurements of temperature and precipitation from meteorological stations in the

area of floodplain forests. In the third phase of the analysis is already using the measurements of temperature and precipitation in the stand microclimate on the territory floodplain forests. The aim of the study was to get an idea of how to behaved moisture balance in the past and what changes can be expected in the future.

**Keywords:** territory of south Moravia, floodplain forest, moisture balance, development

## Úvod

Nejzranitelnějším místem ekosystému lužního lesa je narušení jeho vláhové bilance s přímým dopadem na vlhkostní režim a zásoby vody v půdě. Základním prvkem vláhové bilance jsou atmosférické srážky, které s komplexním působením dalších klimatických prvků, zejména teploty podmiňují další složku oběhu vody výpar. Do vláhové bilance ekosystému lužního lesa jižní Moravy se rovněž promítají srážko-odtokové procesy v povodí páteřních toků Moravy, Dyje a Kyjovky, které ovlivňují formování podzemního odtoku vody na celém území lužních lesů. Detailní analýza hodnocení srážek, výparu, odtoku (průtoku povrchové i podzemní vody lužním lesem) umožňuje optimalizovat vodní režim a určit oblast nebo období s přebytkem nebo nedostatkem vláhy. Cílem studie bylo pro území lužních lesů odvodit co nejdříve časovou řadu teploty vzduchu a atmosférických srážek. V první fázi analýzy je rekonstruována časová řada teploty vzduchu a atmosférických srážek pro období bez přístrojových měření. V druhé fázi se již využívají dostupná staniční měření teplot a srážek z meteorologických stanic v okolí lužních lesů. Ve třetí fázi analýzy se již využívají vlastní měření teploty a srážek v rámci porostního mikroklimatu na území lužních lesů. Cílem studie bylo získat představu o tom, jak se chovala vláhová bilance v minulosti a jaké změny lze očekávat v budoucnosti.

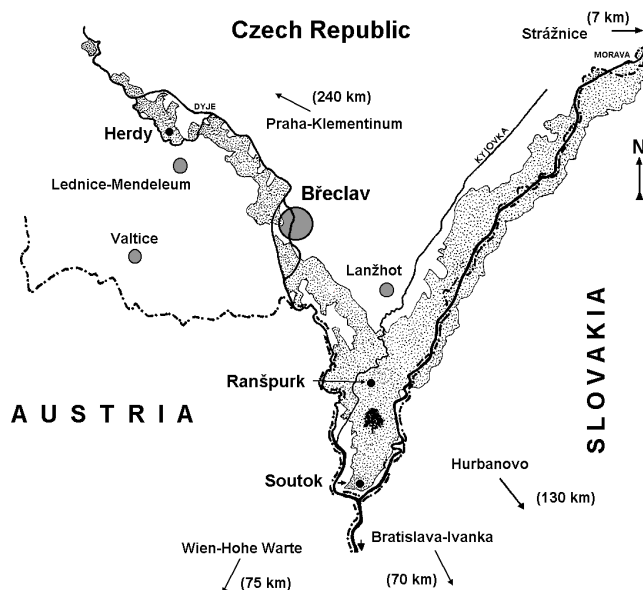
## Materiál a metody

Pro účely hodnocení vývoje vláhové bilance ekosystému lužních lesů bylo nutné získat co nejdříve časovou řadu teploty vzduchu a atmosférických srážek. Proto byla využita měřená data o teplotách a srážkách na meteorologických stanicích v oblasti lužních lesů: Lednice, Valtice a Strážnice. Jedná se o stanice s nejdélejšími časovými řadami průměrných měsíčních a ročních teplot vzduchu a měsíčních a ročních úhrnů srážek, reprezentujících místní resp.

mezoklimatické poměry v oblasti lužních lesů. Teplotní řady byly použity ze stanic Strážnice (1926-2011) a Lednice (1901-2011), srážkové řady byly použity ze stanic Strážnice (1908-2011) a Valtice (1876-2001), (Polišenský, 1988). Tyto časové řady ještě nejsou dostatečně dlouhé pro objektivní hodnocení vývoje vláhové bilance v oblasti lužních lesů jižní Moravy. Proto se v první fázi metodiky přistoupilo k rekonstrukci časových řad teplot a srážek. Na základě korelační a regresní analýzy (metody vícenásobné lineární regrese) byly řady průměrných měsíčních teplot rozšířeny až k roku 1775 a řady měsíčních úhrnů srážek k roku 1808 (Hadaš, 2003). K tomuto účelu byly použity stanice, pro které jsou k dispozici ověřené dlouhé časové řady teplot a srážek. Byly použity stanice Wien-Hohe Warte (teplotní řada 1775-1990, srážková řada 1851-1996), Praha-Klementinum (teplotní řada 1771-1975, srážková řada 1801-1975), Bratislava-Ivanka (srážková řada 1775-1970), Hurbanovo (srážková řada 1871-1960). Stanice Wien-Hohe Warte, Bratislava-Ivanka a Hurbanovo leží v podobné klimatické oblasti jako studovaná oblast lužních lesů. Parametry vícenásobné regresní funkce jsou odvozeny pomocí metody nejmenších čtverců (Meloun, Militký, 1998). Údaje pro stanici Praha-Klementinum a Hurbanovo byly převzaty z publikace HMÚ Praha (Kolektiv, 1972), údaje pro stanice Wien-Hohe warte a Bratislava-Ivanka byly převzaty z databáze projektu HISTALP (Auer et al., 2007). Poloha, respektive vzdálenost meteorologických stanic od oblasti lužních lesů jižní Moravy, použitých pro časovou rekonstrukci teplotní a srážkové řady, je znázorněna na obrázku 1.

V rámci třetí fáze přípravy meteorologických dat byla do hodnocení vláhové bilance použita i hodnota potenciálního množství horizontální srážky. Modelový výpočet množství horizontálních srážek z rosy a jinovatky napodobuje podmínky vzniku a trvání radiační mlhy z vyzařování a z vypařování. Jsou využívána měřená data teploty vzduchu, relativní vlhkosti vzduchu v porostním mikroklimatu paseky a stanoviště les-paseka (Hadaš, 2003). Do výpočtu vláhové bilance byly použity měsíční hodnoty úhrnů horizontálních srážek porostního mikroklimatu odvozených jako průměr ze tří měřených lokalit za období 1998-2002, které jsou uvedeny v tab 1. Vychází se z předpokladu, že tyto srážky vylepšují vláhovou bilanci ekosystému lužního lesa.

Obr. 1. Poloha stanic používaných pro měření porostního mikroklimatu (Herdy, Ranšpurk, Soutok) ekosystému lužních lesů jižní Moravy a meteorologických stanic, použitých k rekonstrukci časových řad teplot a srážek.



Tab. 1. Dlouhodobé měsíční úhrny srážek ( $R_n$ ), průměrných měsíčních teplot ( $T_n$ ), potenciální evapotranspirace ( $EVP_n$ ) a měsíčních úhrnů horizontálních srážek (HP) v oblasti lužních lesů za období 1851-2011 (všechny hodnoty jsou v mm).

Parametr	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.-XII.
$EVP_n$	0.8	2.6	16.9	47.9	83.0	103.2	116.1	110.9	68.6	39.8	10.2	1.8	601.8
$R_n$	27.6	26.0	30.3	36.7	55.5	62.8	66.1	57.7	40.6	37.9	36.9	33.1	511.4
$T_n$	-1.4	0.2	4.3	9.6	14.5	17.8	19.6	18.9	15.0	9.6	4.1	0.1	9.35
$HP^+$	3.3	2.1	1.1	2.6	2.6	3.8	3.2	5.8	5.8	3.9	4.9	3.1	42.2

Pozn.: <sup>+</sup> průměrné hodnoty horizontálních srážek jsou odvozeny z jinovatky a rosy za období 1998-2002 ze tří studovaných lokalit porostního mikroklimatu

Vývoj vláhové bilance v oblasti lužních lesů v měřítku mezoklimatu za období 1851-201 je založen na základním vztahu (Možný, 1993)

$$VB=(R_a - R_n) - (ETP_a - ETP_n), \quad (1)$$

kde  $R_a$  je měsíční úhrn srážek v daném roce v mm,  $R_n$  je dlouhodobý úhrn srážek v daném měsíci,  $ETP_a$  je měsíční úhrn potenciální evapotranspirace v daném roce v mm,  $ETP_n$  je dlouhodobý úhrn potenciální evapotranspirace v daném měsíci v mm. Suma vláhové bilance je vypočtena pro měsíce duben až září. Potenciální evapotranspirace (ETP) je odvozena

nepřímou metodou podle Thornthwaita (Mottl, 1983). Pro použití horizontálních srážek byl vztah (1) upraven na tvar

$$VB = [(R_a + HP) - R_n] - (ETP_a - ETP_n). \quad (2)$$

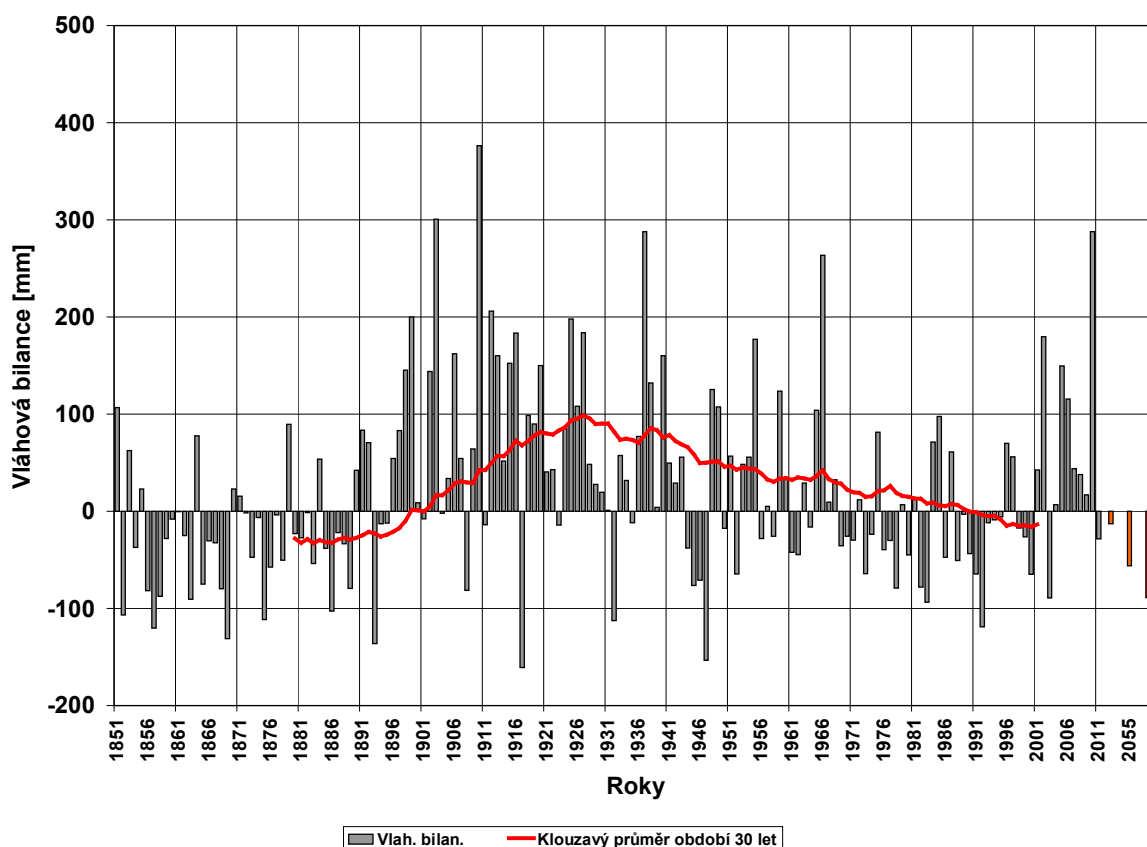
Dále bylo provedeno vyhodnocení vláhové bilance pro časové horizonty 2025 (2010-2039), 2055 (2040-2069), 2085 (2070-2099). Vláhová bilance byla vyhodnocena dle prognózy změn měsíčních hodnot teploty vzduchu a měsíčních sum atmosférických srážek. Změny teplot a atmosférických srážek pro území ČR byly stanoveny jako medián modelových výstupů (tzv. multimodelový medián) z 8 globálních cirkulačních modelů (AR4 modelů) RCGCM, CNRM, CSIRO, IPSL, MIROC, ECHAM5, MRI a HADCM3 (Kalvová, Holtanová, Motl, Mikšovský, Pišoft, Raidl, 2010). Při vytvoření teplotních řad se použil aditivní postup (přičtení teplotních změn), u atmosférických srážek se použil multiplikativní postup (násobení koeficientem srážkových změn). Účelem tohoto postupu bylo definovat budoucí očekávaný stav vlhkostních poměrů v časových horizontech 2025, 2055, 2085.

Vývoj vláhové bilance je tedy zpracován na základě rekonstrukce průběhu průměrných měsíčních teplot vzduchu, srážkových úhrnů v oblasti jižní Moravy, na základě přístrojového měření teplot a srážek. Do výpočtu vláhové bilance je začleněn i vliv horizontálních srážek. Vychází se z předpokladu, že tyto srážky vylepšují vláhovou bilanci ekosystému lužního lesa. Délka časové řady vláhové bilance dosahuje 161 let. Vývoj vláhové bilance byl porovnán s aktivitou Slunce. Pro znázornění trendu vývoje vláhové bilance a srovnání s činností Slunce byly hodnoty shlazený 30-letým a 90-letým klouzavým průměrem. Slunce mění svou aktivitu v několika cyklech: 11-letém, 90-letém a 200-letém, byl vybrán 90-letý průměr. Údaje o vývoji aktivity Slunce pomocí počtu slunečních skvrn byly použity z databáze, která je přístupná na adrese [ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR\\_DATA/SUNSPOT\\_NUMBERS](ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS).

## **Výsledky a diskuse**

Vývoj vláhové bilance (dále jako VB) v letech 1851-2011, 30-letý klouzavý průměr a prognóza očekávaného vývoje VB v časových horizontech 2025, 2055, 2085 v oblasti lužních lesů jsou znázorněny na obrázku 2. Z průběhu 161-leté časové řady VB vyplývá, že největší deficit byl dosažen v roce 1917 s hodnotou  $-160.7$  mm, maximální přebytek VB se vyskytl

v roce 1910 s hodnotou +376.5 mm. V roce 1851 končí osmileté mírně nadnormální srážkové období, dokazuje to vysoký přebytek VB s hodnotou +107 mm. V dalším průběhu VB se formuje období let 1852-1890 s výraznou převahou vláhového deficitu. Svoboda, Vašků, Cílek (2003) uvádí, že v tomto období se vyskytlo na území Čech několik epizod s výrazným snížením srážkové činnosti (1852-1862). Deficit vláhy na území lužních lesů jižní Moravy dosahuje hodnot -80 až -120 mm. Dále se vyskytla vysoce podnormální srážková činnost v letech 1863-1880, kdy se vyskytly zcela mimořádně suché roky 1863 a 1865 (deficit VB - 91 a -75 mm). V letech 1881-1891 nastala mírně vlhká klimatická epizoda s dvouletým srážkově vysoce nadnormálním obdobím 1890 a 1891 (přebytek VB je +42 mm a +84 mm). Suché roky končí srážkově podnormálním obdobím v roce 1893 s deficitem VB -136.0 mm.



Avšak i v této suché periodě se mohou vyskytnout roky, kdy VB jde do výrazného přebytku. Například v roce 1880 východní a jižní Moravu zasáhly regionální deště, při kterých se VB dostává do přebytku 89.4 mm.

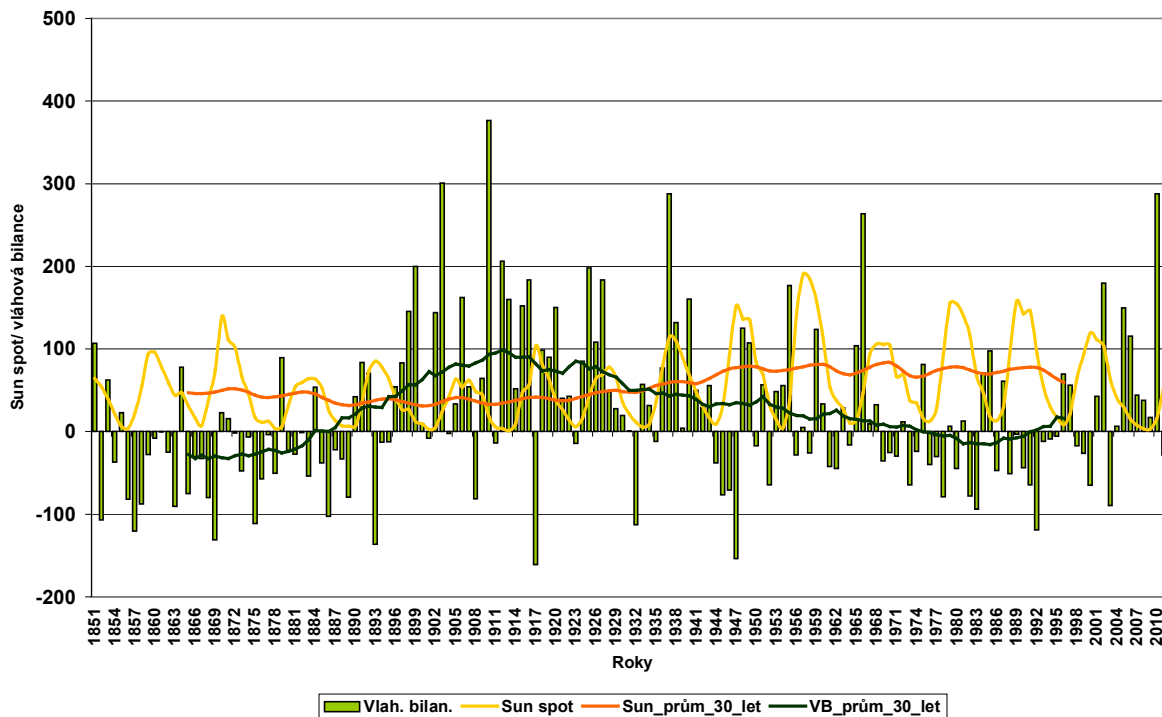
Obrázek 2. Vývoj, 30-leté klouzavé průměry vláhové bilance v letech 1851-2011 v oblasti lužních lesů jižní Moravy za vegetační období a prognóza vláhové bilance pro časové horizonty 2025, 2055, 2085, které rovněž reprezentují 30-leté období.

V následujících letech 1894-1910 dochází k výraznému zvýšení srážkové činnosti, kdy převažují přebytky VB s maximem v roce 1910 (+376.5 mm). Od roku 1910 do 1943 převládají přebytky VB. Přesto se v tomto období na území jižní Moravy vyskytl nejnižší deficit VB v roce 1917 s hodnotou -160.5 mm a v roce 1932 s hodnotou -122.5 mm. Po období zvýšených srážkových úhrnů (končící rokem 1943) se vyskytla čtyřletá suchá perioda, kdy deficit vláhy klesá postupně s hodnot -37.9 mm až na druhou nejnižší hodnotu deficitu VB -153.5 mm v roce 1947 - rok s katastrofálním suchem. V dalších letech se ve vývoji VB střídají periody s přebytkem i s deficitem (po dvou letech deficitu následuje rok s přebytkem 1973-1987), ale hodnoty přebytku se postupně snižují až na nulu. V následujících osmi letech 1988-1995 pak leží VB stále v deficitu. Pro vývoj VB v dalších letech je charakteristické velké střídání hodnot v rozmezí od -89.3 mm (rok 2003) až do +287.7 mm (rok 2010). Výrazné přebytky jsou v tomto období spojeny s výskytem povodní např. v roce 2002 a 2010.

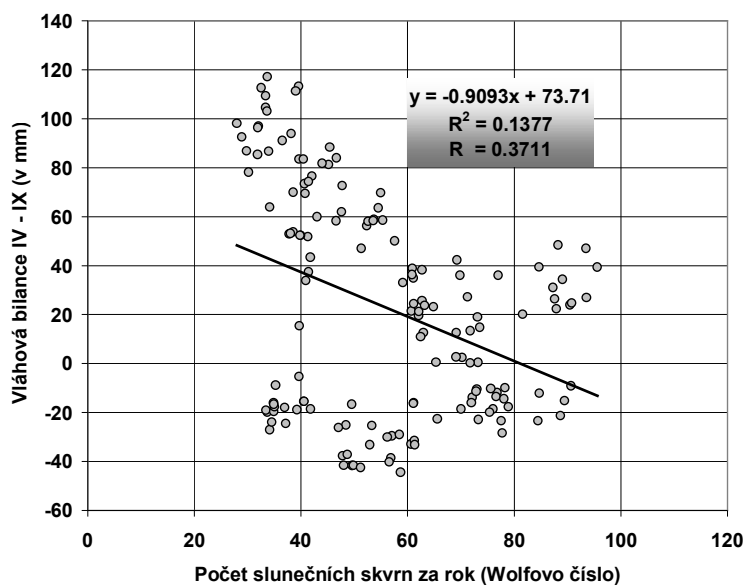
Současný stav vývoje VB se v mnohém podobá počátku časové řady, periodě let 1851-1900. Převažují rovněž hodnoty deficitů nad přebytky VB. Z vývoje VB dále vyplývá, že i v suchých periodách se může vyskytnout přebytek VB a naopak ve vlhkých periodách deficit VB. Určitý rozdíl však můžeme identifikovat - růst extremity klimatu. Projevuje se ve střídání stavů, kdy jeden rok je VB v přebytku a v následném roce v deficitu, např. v roce 2002 +179.8 mm, v roce 2003 -89.3 mm, nebo v roce 2010 +287.7 mm, v roce 2011 -28.3 mm. Tento trend se začal projevovat cca od roku 1965.

Použitím klouzavých průměrů došlo k vyrovnání cyklických fluktuací a byl tak získán globální trend. Z obrázku 2 vyplývá, že ve vývoji vláhové bilance můžeme sledovat vzestupnou fázi trendu, která dle 30-letého klouzavého průměru začíná na „globálním“ vláhovém deficitu -35 mm vrcholí na konci 30-let minulého století v roce (rok 1927) téměř 100 mm přebytkem vláhy. Od tohoto roku dochází k poklesu, který trvá do současnosti, kdy dosahuje deficit vláhy -15 mm. Pro tyto 30-leté periody byly zpracovány i prognózy budoucího vývoje VB v časových horizontech 2025, 2055 a 2085. Prognózu VB lze tak porovnat s jejím skutečným „globálním“ vývojem. Z prognózy vyplývá, že trend skutečné (měřené) VB se již dostává pod úroveň očekávaných hodnot vláhové bilance časového horizontu 2025. Průměr období 2010-2039 dosahuje deficit VB -13 mm, současný stav

„globálního“ trendu dosahuje deficit VB  $-16$  mm. V dalším období lze očekávat výrazné zhoršení VB, očekává se další pokles hodnoty deficitů na  $-56$  až  $-88$  mm.



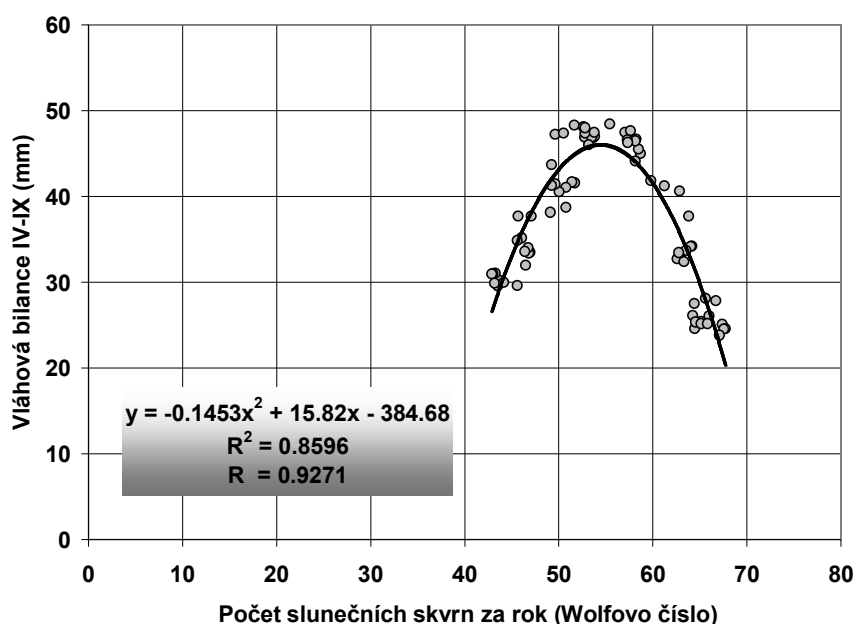
Obr. 3. Vývoj VB a sluneční činnosti (sun spots) a jejich 11-leté klouzavé průměry za období 1851-2011.



Obr. 4. Regresní závislost 11-letých klouzavých průměrů VB a sluneční aktivity za období 1851-2011.



Byl proveden pokus hodnotit vývoj VB s aktivitou Slunce vyjádřenou pomocí relativního Wolfova čísla. Pro tato hodnocení byl odvozen 11-letý a 90-letý klouzavý průměr jak pro vývoj VB tak pro vývoj Sluneční aktivity za období 1851-2011. Na obr. 3 je znázorněn vývoj VB a sluneční činnosti a jejich 11-leté klouzavé průměry. Korelační analýza odvozených klouzavých průměrů (11-letých a 90-letých ) je znázorněna na obr. 4 a 5.



Obr. 5. Regresní závislost 90-letých klouzavých průměrů VB a sluneční aktivity za období 1851-2011.

Z provedené korelační analýzy 11-letých a 90-letých klouzavých průměrů vyplývá, že koeficient korelace mezi vývojem VB a sluneční činností dosahuje u 11-letých klouzavých průměrů  $R=0.3711$  (lineární závislost) u 90-letých je  $R=0.9271$  (polynom 2 stupně). Vzhledem k tomu, že kritická hodnota koeficientu korelace je  $R_{krit} = 0.15471$  jsou korelace statisticky průkazné. Odvozený polynom druhého stupně vyjadřující závislost VB na sluneční činnosti vykazuje vysokou hodnotu korelace a dokáže téměř z 86 % vysvětlit hodnoty VB pomocí aktivity Slunce, avšak z matematického i logického pohledu je nepoužitelný, poněvadž pro jednu hodnotu VB existují dvě hodnoty. Odvozená lineární závislost VB na aktivitě Slunce dokáže vysvětlit VB pomocí sluneční činnosti pouze z 13.8 %, což je v souladu s obdobným hodnocením vlivu činnosti Slunce na klima. Podíl sluneční činnosti

v mixu vlivů na klima dosahuje jen 20 %. Odvozená funkce je významná z jiného pohledu. Vyjadřuje statisticky průkaznou nelineární závislost VB na aktivitě Slunce, tzn. s poklesem aktivity sluneční činnosti se zlepšují vlhkostní podmínky v oblasti lužních lesů jižní Moravy a naopak, s růstem aktivity Slunce se oblast lužních lesů stává sušším. U prognóz aktivity Slunce se objevují informace, že Slunce se nyní uklidňuje, v letech 2030-2040 se očekává minimum jeho činnosti. Oproti prognózám globální změny klimatu by to znamenalo nástup chladnějšího a vlhčího klimatu.

## **Závěr**

Z provedené analýzy dlouhodobého vývoje VB v oblasti lužních lesů jižní Moravy vyplývá:

- a) Současný stav vývoje VB se v mnohém podobá počátku časové řady, periodě let 1851-1900. Převažují rovněž hodnoty deficitů nad přebytky VB. Určitý rozdíl však můžeme identifikovat - růst extremity klimatu. Projevuje se ve střídání stavů, kdy jeden rok je VB v přebytku a v následném roce v deficitu, např. v roce 2002 přebytek +179.8 mm, v roce 2003 deficit -89.3 mm, nebo v roce 2010 +287.7 mm, v roce 2011 -28.3 mm.
- b) V suchých periodách se může vyskytnout rok s přebytek VB a naopak ve vlhkých periodách deficit VB.
- c) Dle 30-letého klouzavého průměru je „globálním“ vláhový deficit v současnosti na hodnotě -15 mm a má tendenci nadále klesat. Tento pokles trvá již od 1927.
- d) „Globální“ hodnota VB se již v současnosti dostává pod úroveň očekávaných hodnot vláhové bilance časového horizontu 2025, kdy se předpokládá průměrný deficit VB -13 mm. V časových horizontech 2055 a 2085 lze očekávat další zhoršení VB s poklesem hodnoty průměrných deficitů VB na -56 až -88 mm.
- e) Pokud bude docházet k očekávanému oteplování klimatu, které je spojeno se zvýšením evapotranspiračních požadavků vegetace, budou hrát horizontální srážky jako zdroj vláhy významnou úlohu.
- f) Tento trend jde proti novým poznatkům souvisejících s aktivitou Slunce. Byla odvozena statisticky průkazná lineární závislost VB na aktivitě Slunce, která dokáže vysvětlit VB pomocí sluneční činnosti z 13.8 %. Z funkční závislosti vyplývá, že s poklesem aktivity sluneční činnosti se zlepšují vlhkostní podmínky v oblasti lužních lesů jižní Moravy a naopak, s růstem aktivity Slunce se oblast lužních lesů stává sušším. U prognóz aktivity

Slunce se objevují informace, že Slunce se nyní uklidňuje, v letech 2030-2040 se očekává minimum jeho činnosti. Oproti prognózám globální změny klimatu by to znamenalo nástup chladnějšího a vlhčího klimatu.

## Literatura

- Auer I. et al., 2007: HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *Int J. Climatol.* 27: 17-46
- Hadaš, P., 2003: Temperature and humidity conditions of the floodplain forest with respect to stand microclimate and mesoclimate. *Ekológia (Bratislava)*, Vol. 22, Supplement 3/2003, p. 19-46
- Kalvová, J., Holtanová E., Motl M., Mikšovský J., Pišoft P., Raidl A., 2010: Odhad rozsahu změn klimatu České republiky pro tři časová období 21. Století na základě výstupů AR4 modelů. *Meteorologické zprávy*, 63: 57-66.
- Kolektiv, 1972: Podnebí Československé socialistické republiky. Textová část. HMÚ, Praha, 355 str.
- Meloun M., Militký J., 1998: Statistické zpracování experimentálních dat. EAST PUBLISHING Praha. 839 str.
- Mottl W., 1983: Abschätzung der potentiellen Evapotranspiration aus Klimadaten und Vergleich verschiedener Berechnungsmethoden. *Österreichische Wasserwirtschaft*, 35, 9/10: 247-254.
- Možný M., 1993: Potenciální evapotranspirace jako významná agroklimatická charakteristika. *Meteorologické zprávy*, 46, 5: 152-156.
- Polišenský A., 1988: Stoletá řada atmosférických srážek na stanici Valtice na jižní Moravě. *Meteorologické zprávy* 41, 3: 75-81
- Svoboda J., Vašků Z., Cílek V., 2003: Velká kniha o klimatu zemí Koruny české. Regia Paha, 655 str.
- Vinš B. a kol., 1996: Dopady možné změny klimatu na lesy v České republice – Územní studie změny klimatu, Element 2. Národní klimatický program České republiky – svazek 19. ČHMÚ Praha, 135 str.

## Poděkování

Práce vznikla v rámci výzkumného grantu Ústavu ekologie lesa LDF MZLU v Brně s názvem NAZV – QJ1220033 Optimalizace vodního režimu na modelovém území Pomoravské nivy.

## Kontakt:

RNDr. Pavel Hadaš, Ph.D,  
zpracování dat, posudků a studií,  
Veselská 31, 696 62 Strážnice  
606420140, hadas@c-mail.cz