

VLÁHOVÁ BILANCE EKOSYSTÉMU LUŽNÍCH LESŮ JIŽNÍ MORAVY V ROCE 2003

Pavel Hadaš

Úvod

Nejzranitelnějším místem ekosystému lužního lesa je narušení jeho vláhové bilance s přímým dopadem na vlhkostní režim půd a na zásoby vody v půdě. Vzhledem k tomu, že ekosystém lužních lesů je vázán na vodu, je pro účely objektivního hodnocení extrémního vývoje klimatických poměrů v oblasti lužních lesů z pohledu zajištění trvale udržitelného obhospodařování lužních lesů provedeno vyhodnocení stavu vláhové bilance.

V době vegetačního období je zvýšený výdej vody evapotranspirací obvykle kompenzován buď dotací půdní a podzemní vody nebo atmosférickými srážkami. V tomto příspěvku je hodnocení vláhové bilance zaměřeno na množství srážek a na základní parametry ovlivňující evapotranspiraci. Údaje pro hodnocení vláhové bilance jsou obvykle získávány na základě modelového výpočtu. Konkrétní aplikace modelového výpočtu závisí na tom, jaké meteorologické parametry máme z měření k dispozici. Pro hodnocení vláhové bilance ekosystému lužních lesů jižní Moravy jsou využita jak data z mikroklimatických, tak mezoklimatických pozorování, která jsou v této oblasti prováděna.

Materiál a metody

Výpočet parametrů vláhové bilance se opírá o kontinuální měření teplot, relativních vlhkostí vzduchu, atmosférických srážek a fotosynteticky aktivní radiace (dále jako FAR) v porostním mikroklimatu. Měření porostního mikroklimatu probíhá v rámci monitoringu abiotických parametrů ekosystému lužního lesa jižní Moravy (Prax, Hadaš, Hybler, 1997, Hadaš, Prax, 2001, Hadaš, 2003) byl v roce

2002 rozšířeno v lokalitě Herdy a Pohansko o parametry porostního mikroklimatu. Je měřena teplota a relativní vlhkost vzduchu (čidla jsou 150 cm nad povrchem půdy), teplota povrchu půdy a teplota v 5 cm pod povrchem a atmosférické srážky (záchytná plocha je cca 200 cm nad povrchem půdy). K měření uvedených parametrů mikroklimatu jsou použita čidla pro teplotu, vlhkost vzduchu a atmosférické srážky spojená s registrátorem HOBO (výrobce Onset Computer, USA). Na počátku roku 2003 bylo měření v lokalitě Herdy doplněno o čidlo FAR (výrobce DETEGO Třeboň). I toto čidlo je spojeno s registrátorem HOBO. Jedná se o miniaturní bateriový registrátor s příslušným čidlem a vlhkostním senzorem, respektive senzorem pro snímání srážkové vody, který provádí v 30 minutových intervalech elektronický záznam teploty a vlhkosti vzduchu, teploty povrchu půdy nebo množství srážek. S registrátorem lze komunikovat přes přenosný počítač pomocí obslužného programu přes sériový port a propojovací kabel. Obslužný program umožňuje přehrávat naměřená data do přenosného počítače (notebooku). V lokalitě Herdy je měření parametrů porostního klimatu doplněno o objemovou vlhkost půdy v 10 a 60 cm a o úroveň hladiny podzemní vody. Měření objemové vlhkosti půdy je prováděno pomocí senzorů VIRIB (výrobce AMET Velké Bílovice) a je také pravidelně zaznamenáváno a kontrolováno gravimetrickou metodou. Měření úrovně hladiny podzemní vody se provádí pomocí tlakového čidla propojeného rovněž s dataloggerem. Měření parametrů porostního klimatu probíhá ve třech odlišných stanovištích lužního lesa. Poloha měřicích stanovišť je uvedena na obrázku 1. V lokalitě Herdy (geografické souřadnice 48°48'32",

Kontaktní adresa:

RNDr. Pavel Hadaš, hadas@mendelu.cz, +420 545134188

Ústav ekologie lesa, LDF MZLU v Brně, Zemědělská 3, Brno 613 00, Česká republika,

16°47'18", 162 m) jsou měření (mimo srážky) prováděna na pasece uprostřed lesa s obnovou dubu (stáří 6 let), v dospělém zapojeném dubovém porostu a na okraji lesa a paseky. V lokalitě Pohansko (geografické souřadnice 48°43'44", 16°55'08", 158 m) je měření prováděno na rozsáhlé otevřené pasece s obnovou dubu (stáří 5 let).

Pro specifické účely výpočtu horizontálních srážek, globální radiace, porovnání hodnot potenciální evapotranspirace byla rovněž použita data (rychlost větru, délku slunečního svitu, evapotranspiraci podle Penmana) klimatologické stanice Lednice - Mendeleum (data poskytl RNDr. Litschmann), která reprezentuje klimatické poměry bezlesého území jižní Moravy.



Obrázek 1. Rozložení automatických stanic s měření abiotických parametrů ekosystému lužních lesů řek Moravy a Dyje v úseku od Nových Mlýnů po soutok Moravy a Dyje.

Pro hodnocení vláhové bilance musíme vedle množství srážek znát i hodnotu evapotranspirace. Potenciální měsíční výpar v porostním klimatu je odvozen na základě vztahu mezi měřenou teplotou a relativní vlhkostí vzduchu podle vzorce Ivanova (Tomlain, 1979)

$$EVP = 0.0018 (25 + T_m)^2 (100 - RH_m), \quad (1)$$

kde T_m je průměrná měsíční teplota vzduchu, RH_m je průměrná měsíční relativní vlhkost vzduchu. Hodnota EVP je v mm za měsíc. Pro hodnocení dlouhodobého vývoje vláhové bilance je potenciální evapotranspirace (ETP) odvozena nepřímou metodou podle Thornthwaita (Mottl, 1983). Vypočtený výpar v mm se převádí na normální den o 12 hodinách slunečního svitu a

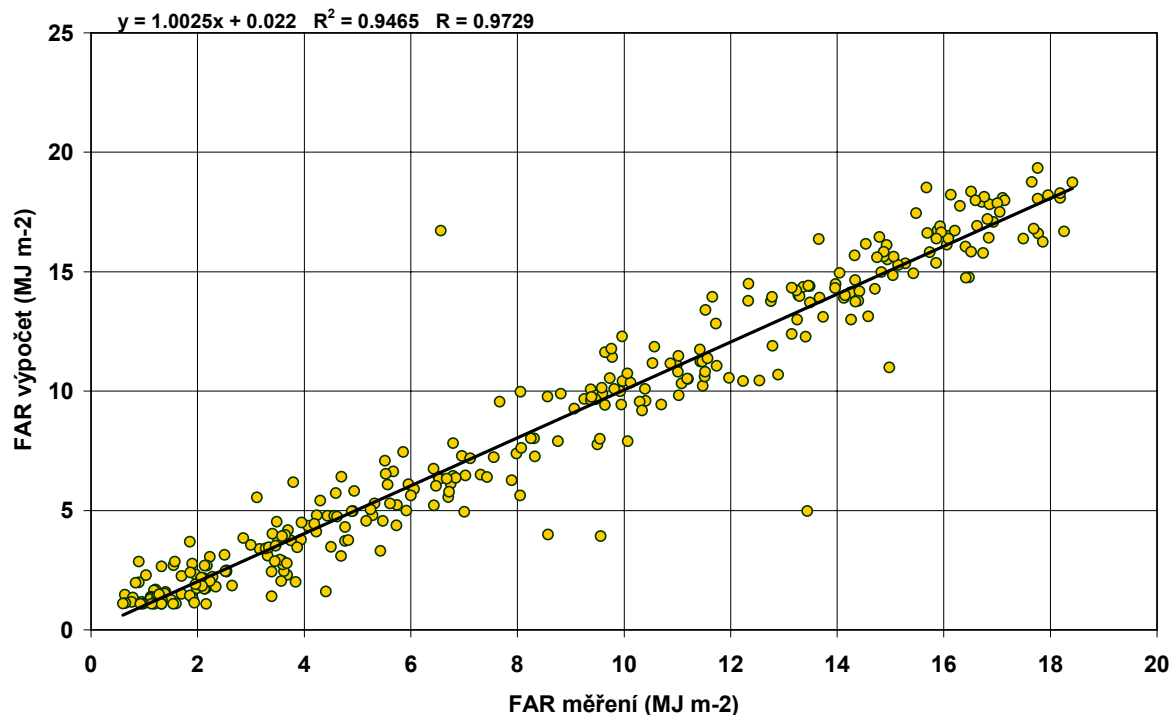
na příslušnou zeměpisnou šířku. K tomuto účelu Thornthwaite sestavil tabulku (Nosek, 1972). Pro denní hodnoty potenciální evapotranspirace je použit podle Turca (1961):

$$PET = \frac{\{[(R_g/0.041868) + 50] 0.013 T_d\}}{(T_d + 15)}, \quad (2)$$

kde R_g je denní suma globální radiace ($MJ m^{-2}$) a T_d je denní průměr teploty vzduchu ($^{\circ}C$). Hodnota PET je v $mm den^{-1}$. Pro výpočet PET bylo nutné odvodit hodnoty denních sum globální radiace R_g . Měřené denní sumy FAR na stanovišti Herdy paseka byly použity ke kalibraci modelového výpočtu FAR (Hadaš, 2002). V modelovém výpočtu byly použity údaje o denní době trvání slunečního svitu ze

stanice Lednice - Mendeleum. Měřené a vypočítané hodnoty FAR jsou znázorněny na obrázku 2. Z koeficientu determinace ($R^2=0.9465$) vyplývá, že model počítá denní sumy FAR s chybou 5.35 %. Pomocí

kalibrovaného modelu byl pak proveden výpočet denních sum globální radiace jak pro lokalitu Herdy, tak pro lokalitu Pohansko.



Obrázek 2. Porovnání měřených a modelem vypočítaných denních sum FAR pro stanoviště Herdy - paseka v roce 2003

V rámci hodnocení vláhové bilance porostního mikroklimatu je proveden modelový výpočet potenciálního množství horizontálních srážek (z rosy a jinovatky). Výpočet množství horizontálních srážek z rosy a jinovatky je založen na podmínkách vzniku radiční mlhy z vyzařování a mlhy z vypařování. Příčinou jejího vzniku je kondenzace (desublimace) vodní páry v přízemní vrstvě vzduchu. Při výpočtu množství horizontálních srážek se vychází z několika podmínek: teplota vzduchu (T) je nižší nebo rovna teplotě rosného bodu (DP), rychlost větru není větší než 3 m s^{-1} (Zverev, 1986), minimální relativní vlhkost vzduchu při $T > 0 \text{ °C}$ je $\geq 90 \%$, při $T \leq 0 \text{ °C}$ je $\geq 80 \%$ (Chromov, 1968). Dny s vysokou hodnotou relativní vlhkosti vzduchu a s výskytem srážek nejsou do výpočtu uvažovány. V podmínkách střední Evropy dosahuje voda z rosy za jedinou

noc 0.1 až 0.3 mm srážek (Havlíček a kol., 1986). Na základě hodnot relativní vlhkosti vzduchu a množství horizontálních srážek (HP) z rosy byla sestavena funkční závislost

$$HP = a e^{b RH}, \quad (3)$$

kde parametry a , b jsou odvozeny pro $T > 0 \text{ °C}$ i pro $T \leq 0 \text{ °C}$. Tato závislost vyjadřuje potenciální vodní hodnotu rosy nebo jinovatky v mm podle změřené hodnoty relativní vlhkosti vzduchu v době od 20 hod. do 8 hod. SEČ následujícího dne při uplatnění všech uváděných podmínek. Údaje o rychlosti větru byly použity ze stanice Lednice - Mendeleum.

Vývoj vláhové bilance v oblasti lužních lesů v měřítku mezoklimatu za období 1808-2001 je založen na základním vztahu (Možný, 1993)

$$VB=(R_a - R_n) - (ETP_a - ETP_n), \quad (4)$$

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_a , ETP_n) je odvozena nepřímou metodou podle Thornthwaita.

Výsledky a diskuse

Vývoj vláhové bilance je vypracován na základě rekonstrukce průběhu průměrných měsíčních teplot vzduchu, srážkových

úhrnů v oblasti jižní Moravy (Hadaš, 2003). Suma vláhové bilance je vypočtena pro měsíce duben až září. Vzhledem k dostupnosti potřebných údajů je potenciální evapotranspirace odvozena nepřímou metodou podle Thornthwaita. Dlouhodobé měsíční úhrny srážek a potenciální evapotranspirace oblasti lužních lesů jsou uvedeny v tabulce 1. Ve výpočtu vláhové bilance se uvažovaly rovněž hodnoty úhrnů horizontálních srážek porostního mikroklimatu odvozených jako měsíční průměr ze tří měřených lokalit (Herdy, Ranšpurk, Soutok) z období 1998-2002. Potenciální množství horizontálních srážek dosahuje v dlouhodobém ročním úhrnu srážek 8.4 % podíl, v dlouhodobém úhrnu srážek za vegetační období dosahuje podíl 7.6 %.

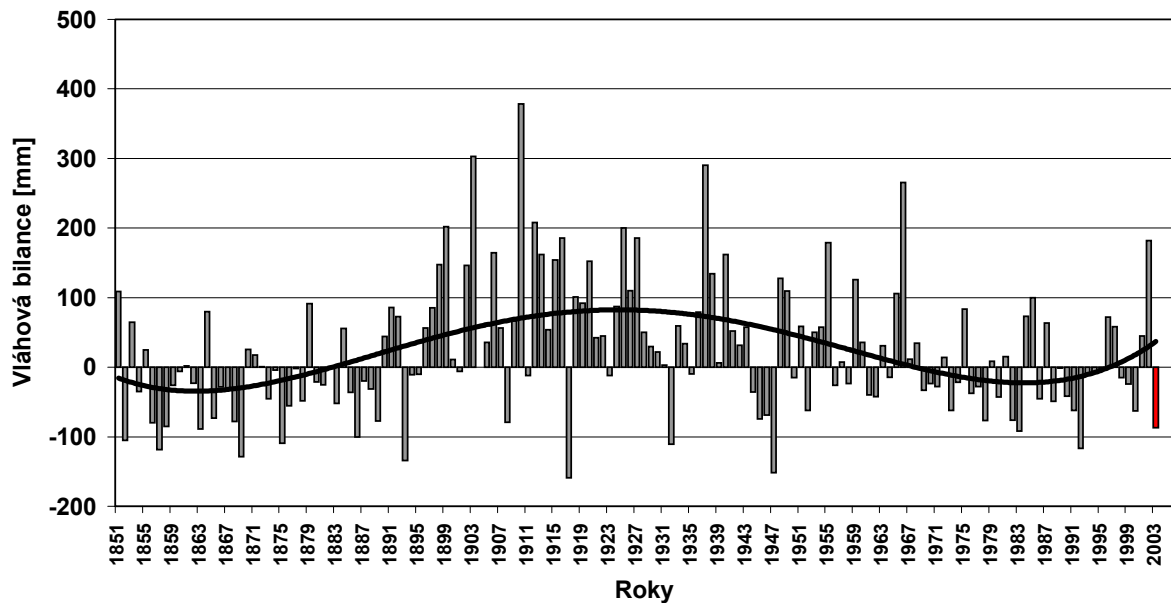
Tabulka 1. Dlouhodobé měsíční úhrny potenciální evapotranspirace (ETP_n) a srážek (R_n) v oblasti lužních lesů jižní Moravy za období 1851-2003. Úhrny měsíčních srážek (vertikálních) jsou zvýšeny o úhrny měsíčních horizontálních srážek (HP) (všechny hodnoty jsou v mm).

Parametry	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	I.-XII.	IV.-IX.
EVP_a	0.7	2.6	16.9	47.4	82.7	103.0	115.9	110.8	68.8	39.9	10.0	1.8	600.6	528.6
R_a	27.2	25.5	29.3	36.6	54.3	61.7	65.7	57.0	40.2	38.4	37.2	33.3	315.4	506.3
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	23.8

Pozn.: ⁺ průměrné hodnoty horizontálních srážek jsou odvozeny za období 1998-2002 ze tří studovaných lokalit porostního mikroklimatu

Vývoj vláhové bilance vegetačního období pro období 1851-2003 v oblasti lužních lesů jižní Moravy je znázorněn na obrázku 3. Z obrázku 3 vyplývá, že trend vývoje vláhové bilance můžeme znázornit sinusoidou (polynomem 4. st.). Jak v periodě záporných hodnot vláhové bilance, tak v periodě kladných hodnot se vždy vyskytují roky s opačným extrémem. Není tomu jinak ani na přelomu 20. a 21. století, kdy křivka přechází do kladných hodnot s výskytem kladných extrémů - povodně 2002,

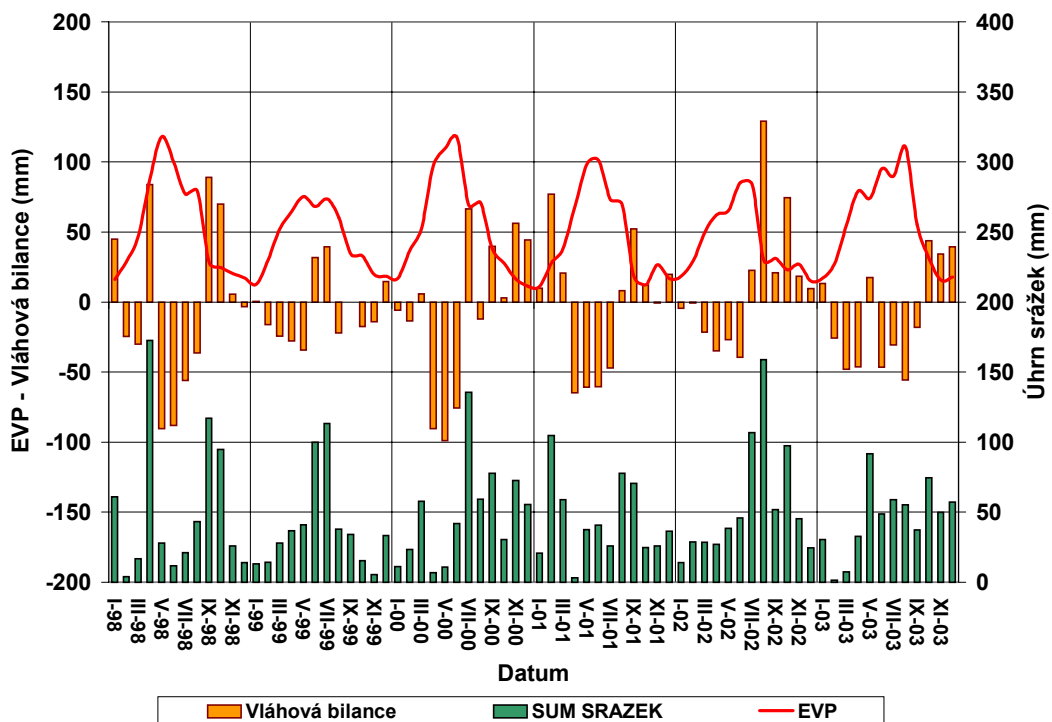
i záporných extrémů vláhové bilance - sucho 2003. Vláhová bilance v roce 2003 dosáhla hodnoty -87.2 mm, což ve 153 letém období řadí rok 2003 na 13. pořadí co do velikosti záporné hodnoty. S vývoje vláhové bilance vyplývá, že v minulosti se vyskytly ještě větší extrémy, než v roce 2003. Největší deficit vláhové bilance se vyskytl v roce 1917 s hodnotou -158.4 mm, druhý nejvyšší s hodnotou -151.4 mm v roce 1947.



Obrázek 3. Vývoj vláhové bilance vegetačního období v oblasti lužních lesů jižní Moravy v letech 1851-2003. Periodický trend vláhové bilance je proložen polynomem 4 stupně.

Je zřejmé že extrémní změny vláhové bilance jsou vyvolány změnou teplotních a srážkových poměrů jak v úrovni mezoklimatu, tak v úrovni porostního klimatu. Odlišné teplotní a vlhkostní poměry porostního klimatu v jednotlivých letech modifikují odlišný měsíční chod vláhové bi-

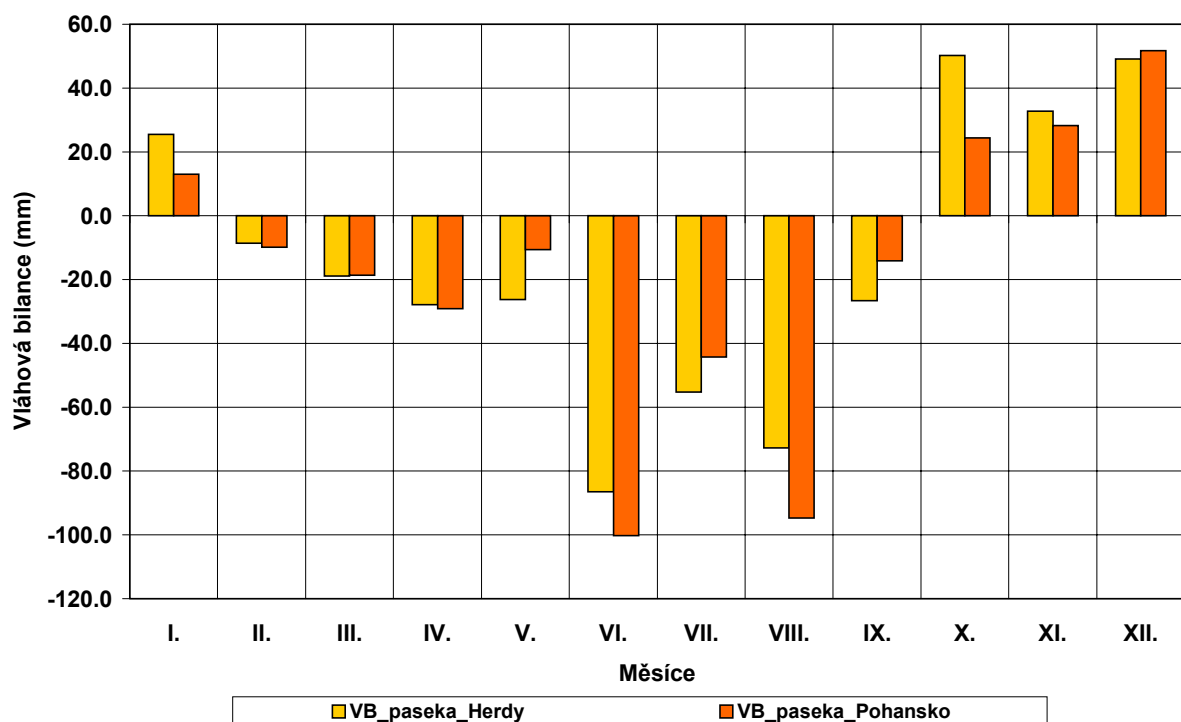
lance. Na obrázku 4 je znázorněn vývoj srážkových úhrnů (suma vertikálních a horizontálních srážek), potenciální evapotranspirace (podle Ivanova) a vláhové bilance stanoviště okraje lesa a paseky v lokalitě Herdy.



Obrázek 4. Vývoj vláhové bilance, srážek (sumy horizontálních a vertikálních srážek) a výparu (EVP podle Ivanova) stanoviště okraje lesa a paseky v lokalitě Herdy za období 1998-2003.

Z vývoje měsíčních sum výparu, horizontálních a vertikálních srážek vyplývá, že deficit vláhové bilance se formuje téměř pravidelně (na jaře) během vegetačního období (od dubna do září). Během června až července přechází obvykle vláhová bilance do kladných hodnot. Deficit vláhové bilance, který dosáhl v roce 2003 hodnotu -180 mm, se formoval a postupně prohluboval během téměř celého vegetačního období. Zvýšeným množstvím srážek v květnu přešla vláhová bilance nepatrně do kladných hodnot (+17.4 mm). Avšak pokračující extrémně teplé počasí a pokles srážek opět vrátilo vláhovou bilanci do deficitu. Pozitivní vliv na zmírnění deficitu vláhové bilance byl zjištěn u horizontálních srážek, které snížily deficit o 55.7 mm, což představuje více než 17 % podíl

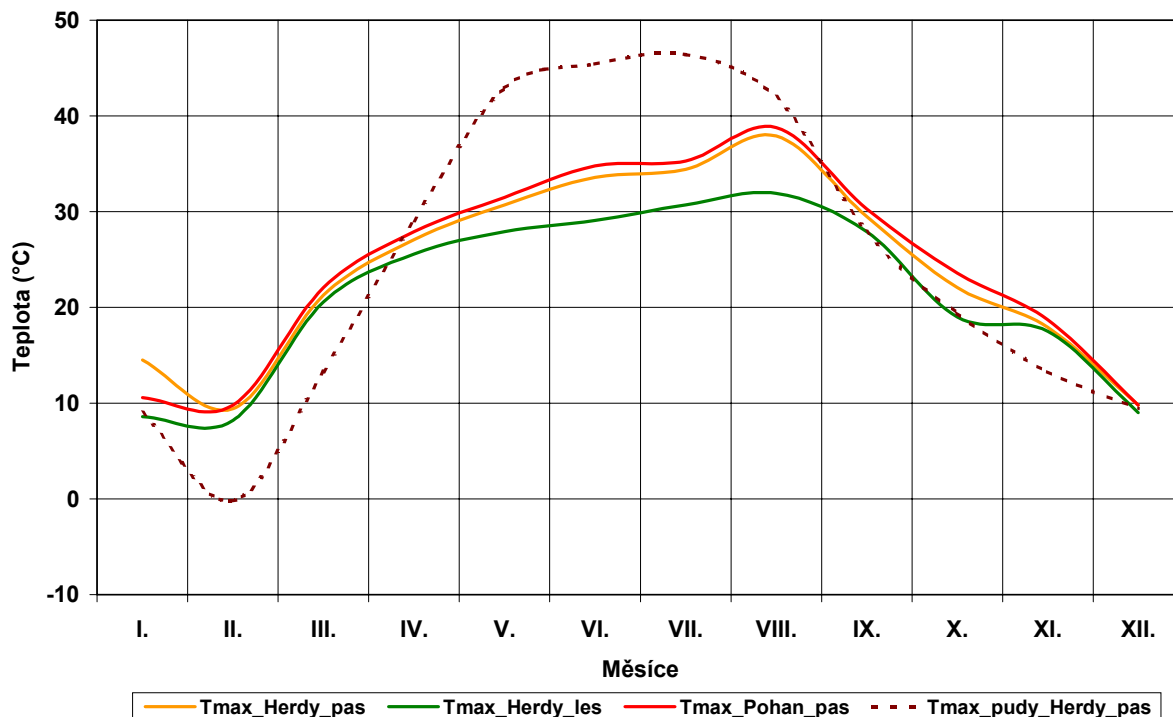
na srážkovém úhrnu vegetačního období. Vláhová bilance na extrémním stanovišti - na lesní pasece vykazovala roce 2003 deficit přesahující -295 mm. Na obrázku 5 je znázorněn průběh vláhové bilance na pasece v lokalitě Herdy a Pohansko v roce 2003. Hodnoty potenciální evapotranspirace jsou odvozeny podle Turca. Vysoké hodnoty deficitu jsou způsobeny jednak poklesem srážkových úhrnů, ale především extrémně vysokými teplotami vzduchu a povrchu půdy, které zvyšovaly evapotranspiraci. Na obrázku 6 je znázorněn průběh maximálních teplot vzduchu na pasece Herdy a Pohansko a teploty povrchu půdy na pasece Herdy. Pro srovnání teplotních poměrů je uveden i průběh maximálních teplot vzduchu v lokalitě Herdy les.



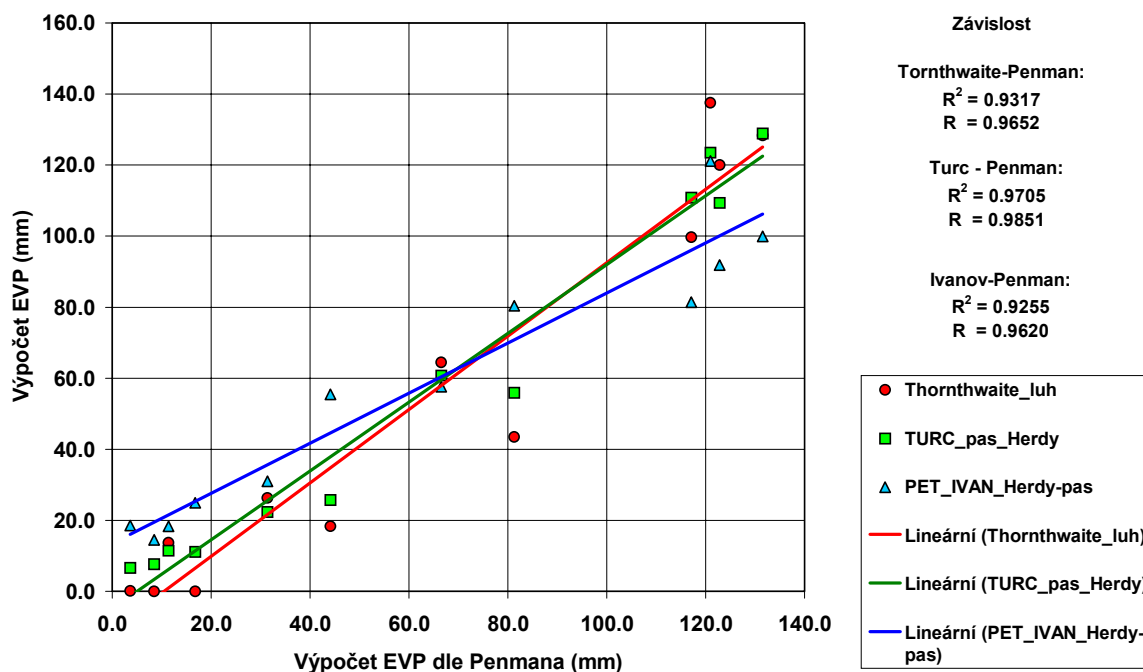
Obrázek 5. Vývoj vláhové bilance (VB) na stanovišti lesní paseky v lokalitách Herdy a Pohansko v roce 2003.

Z obrázku 6 vyplývá, že během období květen až září na obou sledovaných pasekách přesahují maximální teploty vzduchu 30 °C, nejvyšší maximum teploty vzduchu v 170 cm nad povrchem půdy s hodnotou 38.8 °C bylo změřeno na pasece Pohansko.

Velmi vysoké hodnoty vykazuje i teplota povrchu půdy, kde během měsíců květen až srpen, neklesají maxima pod 40 °C. Nejvyšší hodnota teploty povrchu půdy 46.4 °C byla změřena v červenci na pasece Herdy.



Obrázek 6. Průběh maximálních teplot vzduchu na pasece Herdy a Pohansko a teploty povrchu půdy na pasece Herdy v roce 2003. Pro srovnání je uveden průběh maximálních teplot vzduchu v lese (Lokalita Herdy).



Obrázek 7. Srovnání vypočítaných hodnot potenciální evapotranspirace použitých k hodnocení vláhové bilance v oblasti lužních lesů v roce 2003. Jako srovnávací hodnota byla použita potenciální evapotranspirace odvozená podle Penmana.

V práci jsou použity tři různé přístupy ve výpočtu potenciální evapotranspirace - pro dlouhodobé hodnocení podle Thornthwaita, pro detailnější posouzení měsíčních hodnot podle Ivanova a pro výpočet denních hodnot evapotranspirace je použit vztah podle Turca. Pro ověření správnosti výpočtů byly měsíční sumy porovnány se standardní metodou odvození potenciální evapotranspirace podle Penmana. S porovnáním vyplývá, že dle koeficientu determinace dosahuje metoda podle Thornthwaita přesnost 93.2 %, metoda podle Ivanova přesnost 92.6 % a metoda podle Turca přesnost 97.1 %.

Je zřejmé, že dlouhodobé deficity vláhové bilance nepříznivě ovlivňují stav nasycení půdy vodou, množství disponibilní vody pro fyziologické procesy stromů, keřů a zejména vývoje obnovovaných porostů na pasekách. Rovněž je zřejmé, že stromy lužního lesa zejména na méně příznivých mikroklimatických stanovištích kryjí velkou část své spotřeby vody ze zdrojů podzemní vody. Díky kontinuálnímu měření objemové vlhkosti půdy a úrovně hladiny podzemní vody a dosažených údajů použitých z hodnocení vláhové bilance je možné vysvětlit změny hodnot objemové vlhkosti půdy. Na základě aplikace regresní a korelační analýzy byly odvozeny

$$OVP60 = 26.250 HPV + 0.0370 RH + 0.0293 SRA - 0.0605 EPA + 69.6700, \quad (5)$$

s hodnotou koeficientu determinace R^2 , koeficientem korelace $R=0.9932$. Dopady porostního mikroklimatu na vláhovou bilanci jsou v souladu s dřívějším zjištěním, že vlhkostní režim nívních půd charakterizovaný objemovou vlhkostí půdy v 30 cm je během vegetačního období v průměru z 53 % ovlivněn vývojem hladiny podzemní vody, z 6 % teplotním režimem ovzduší a z 0.9 % místními denními srážkovými úhrny (Hadaš, Prax, 2001).

Závěr

Z dosažených výsledků vláhové bilance vyplývá, že srážky nemohou být jediným

vícenásobné regresní funkce definující závislost objemové vlhkosti půdy v 10 a 60 cm na abiotických parametrech lesního prostředí na úrovni hladiny podzemní vody, na množství srážek, na evapotranspiraci a na relativní vlhkosti vzduchu.

Na základě parciálních koeficientů determinace byl stanoven podíl vybraných parametrů prostředí na hodnotě vlhkosti v půdním profilu 10 cm a 60 cm. Výsledky analýzy jsou uvedeny v tabulce 2. Z tabulky vyplývá, že objemová vlhkost půdy v 10 cm na pasece v lokalitě Herdy je z téměř 32 % ovlivněna úrovní hladiny podzemní vody, téměř 21 % připadá na relativní vlhkost vzduchu, 17.5 % na srážkové úhrny a více jako 28 % na potenciální evapotranspiraci odvozené podle Turca. Na ostatní faktory připadá cca 1.5%. Objemová vlhkost půdy v 60 cm na pasece v lokalitě Herdy je z téměř 81 % ovlivněna úrovní hladiny podzemní vody, více jak 4 % připadá na relativní vlhkost vzduchu, 0.5 % připadá na srážkové úhrny a více jako 13 % na potenciální evapotranspiraci odvozené podle Turca. Na ostatní faktory připadá cca 1.4 %. Pro objemovou vlhkost půdy sledovanou v 60 cm byl odvozen vícenásobný lineární regresní vztah:

zdrojem vody pro existenci ekosystému lužních lesů. Potvrzují to výsledky regresní a korelační analýzy vztahu objemové vlhkosti půdy v 10 a 60 cm k abiotickým parametrům prostředí lužního lesa. Parametry vláhové bilance (srážky a potenciální evapotranspirace) ovlivňují zásobu půdní vláhy v 10 cm pod povrchem téměř z 46 %, v 60 cm pod povrchem téměř ze 14 %. Je zřejmé, že růst a distribuce vegetace i vývoj škůdců a obtěžujících forem hmyzu v ekosystému lužních lesů bude v letech se zápornou vláhovou bilancí limitován vodním deficitem půdy a úrovní hladiny podzemní vody pod povrchem půdy více, než

jakýmkoliv jiným faktorem prostředí. V takových situacích se zvyšuje význam porostního mikroklimatu, zejména jeho schopnost částečně tlumit stresové stavy

vyvolané suchem přes teplotu a relativní vlhkost vzduchu, které hrají významnou úlohu při vzniku horizontálních srážek (rosy atd.).

Tabulka 2. Stanovení váhového podílu vybraných parametrů abiotického prostředí na objemovou vlhkost půdy v lokalitě Herdy - paseka v roce 2003 v úrovni 10 a 60 cm.

Parametry prostředí	OVP10 %	OVP60 %
HPV	31.92	80.78
RH	20.78	4.18
SRA	17.54	0.58
PET (podle Turca)	28.31	13.09
Ostatní	1.45	1.36

Potenciální vláhová bilance ekosystému lužního lesa je řešena v rámci výzkumného záměru LDF MZLU v Brně pod číslem MSM 434100005 „*Trvale udržitelné hospodaření v lesích a v krajině. Od koncepce k realizaci*“.

Literatura

- Hadaš P, Prax A., 2001: Stress factors of soils moisture regime of floodplains forests. *Ekológia (Bratislava)*, Vol. 20, Supplement 1/2001, p. 143-162.
- Hadaš, P., 2002: Globální a UV složka radiace pro libovolné expozice reliéfu vyšších poloh Moravskoslezských Beskyd - modelový výpočet. *Beskydy*, 15:31-38.
- Hadaš, P., 2003: Temperature and humidity conditions of the floodplain forest with respect to stand microclimate and mesoclimate. *Ekológia (Bratislava)*, Vol. 22, Supplement 3: 19-46.
- Havlíček, V. a kol., 1986: *Agrometeorologie*. Státní zemědělské nakladatelství Praha, 264 str.
- Chromov S. P., 1968: *Meteorológia a klimatológia*. Vydavateľstvo Slovenskej akademie vied, Bratislava, 456 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.
- Nosek M., 1972: *Metody v klimatologii*. Akademie, Praha, 434 str.
- Tomlain J., 1979: Metódy určovania potenciálneho a skutočného výparu z povrchu pôdy. *Meteorologické zprávy*, 32, 2: 72-76.
- Turc, L., 1961: Evaluation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle. *Ann. Agron.*, 12:13-49.
- Zverev A. S., 1986: *Synoptická meteorológia*. ALFA Bratislava, SNTL Praha, 712 str.