

POTENCIÁLNÍ EVAPOTRANSPIRACE TRAVNÍHO POROSTU V OBLASTI LOKALITY PÁNOV NA HODONÍNSKU – DLOUHODOBÉ VÝVOJOVÉ TRENDY V OBDOBÍ LET 1961-2099

**Potential evapotranspiration of grass surface in location Pánov, Hodonín
region – long-term trend in period 1961-2099**

Kohut M., Hora P., Chuchma F.

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno

Abstrakt

Předkládaný příspěvek analyzuje dlouhodobé evapotranspirační podmínky (1961-2099) v oblasti lokality Pánov na Hodonínsku na jižní Moravě. Základní hodnocenou charakteristikou je potenciální evapotranspirace travního porostu počítaná v denním intervalu jednotným způsobem podle modelu AVISO („Agrometeorologická Výpočetní a Informační SOustava“) za použití modifikovaného způsobu výpočtu Penman-Monteith.

Vstupními daty jsou tzv. scénářová denní klimatická data základních meteorologických prvků (teplota a vlhkost vzduchu, trvání slunečního svitu, rychlost větru a zprostředkovaně srážky) za období 1961-2099. Ze 131 gridových bodů pravidelné sítě 25 x 25 km na území ČR, pro které byl aplikován výše uvedený model AVISO za účelem podrobného zpracování a vyhodnocení základních agroklimatických charakteristik, byl pro dlouhodobé hodnocení potenciální evapotranspirace na Hodonínsku vybrán gridový bod 2847 (194 m n.m.), který je situován nejbližší zájmové lokalitě Pánov. Scénářová denní data jsou produktem modelu ALADIN-CLIMATE/CZ při současném použití kvantilové metoda korekce, která vhodným způsobem eliminuje případné systematické chyby daného modelu.

Předkládaný příspěvek se konkrétně zabývá hodnocením potenciální evapotranspirace travního porostu za dlouhodobá období 1961-1990, 2010-2039, 2040-2069 a 2070-2099. Je provedena srovnávací analýza změn dlouhodobých úhrnů potenciální evapotranspirace travního porostu scénářových období k období referenčnímu (časové úseky rok, vegetační období, měsíce). Ve druhé části příspěvku je provedeno porovnání evapotranspiračních podmínek gridového bodu 2847, reprezentujícího Hodonínsko, s nejnižší položenými oblastmi ČR s nadmořskou výškou do 200 m, které jsou zastoupeny příslušnými gridovými body.

Klíčová slova: potenciální evapotranspirace travního porostu, Penman-Monteith, AVISO, ALADIN-CLIMATE/CZ, referenční období, scénářová období, scénářová data

Abstract

The aim of this paper is the analysis of long-term evapotranspiration conditions (1961-2099) in location Pánov, Hodonín region in south Moravia. Potential evapotranspiration of grass surface computed in daily step by model AVISO (modified Penman-Monteith evaluation) is basic analyzed characteristics.

So-called scenario daily climatic data of basic meteorological characteristics (air temperature, air moisture, sunshine duration, wind speed and precipitation) in period 1961-2099 are the input data. Grid point 2847 (194 m above sea level), which is situated close to location Pánov was chosen from 131 points of regular grid 25 x 25 km in Czech Republic to analyze potential evapotranspiration in Hodonín region. Scenario daily data are the output of model ALADIN-

CLIMATE/CZ revised using kvantil method which is suitable for elimination of possible systematic error.

Potential evapotranspiration in long-term period 1961-1990, 2010-2039, 2040-2069 and 2070-2099 is the subject of the article. Changes of long-term sums of potential evapotranspiration of grass surface in relationship with reference period are analyzed (year, vegetative period, months). In the second part of the paper, evapotranspiration conditions of grid point 2847 representing Hodonín region and the lowland regions of Czech Republic are compared.

Key words: potential evapotranspiration of grass surface, Penman-Monteith, AVISO, ALADIN-CLIMATE/CZ, reference period, scenario periods, scenario data

Úvod

Výpar (evaporace, evapotranspirace v případě existence rostlinného pokryvu) jako jeden ze tří základních prvků hydrologické bilance patří vzhledem k vzájemně velmi složité interakci půda x rostlina x atmosféra k nejkomplicovanějším a současně velmi obtížně stanovitelným prvkům v přírodě. V současné době nejsou k dispozici uspokojivé metody verifikace kompletního evaporačního procesu, které by se mohly realizovat v operativním měřítku. Existuje však celá řada vzorců od těch nejjednodušších až po ty nejsložitější, které jsou součástí různých matematických modelů. Vedle vlastní evaporace, případně evapotranspirace řeší také vlhkostní poměry v půdě a problematiku vláhových deficitů v půdě pod různými plodinami (porosty), resp. řeší otázky hydrologické bilance v krajinném prostředí.

Pomineme-li manuální, resp. automatická měření výparu (evaporace) z vodní hladiny pomocí starších výparoměrů GGI-3000 (pouze několik stanic na území ČR), resp. automatických výparoměrů EWM (cca 20 stanic na území ČR) na vybraných klimatologických stanicích sítě ČHMÚ, pravidelná a dlouhodobá měření výparu z povrchu půdy, pokrytého travním porostem, vzhledem k jeho složitosti a vysoké náročnosti neexistují. Jak bylo uvedeno výše, měření je nutno nahradit kvalifikovaným výpočtem. Na světě existuje celá řada algoritmů a výpočetních postupů, z nichž mnohé se vyznačují regionální platností.

Předkládaný příspěvek se snaží na základě scénářových (matematicky odvozených) denních dat základních meteorologických prvků (období 1961-2099) podle ověřených výpočetních algoritmů v denním kroku kvantifikovat hodnoty potenciální evapotranspirace travního porostu.

Materiál a metody

Ke zpracování potenciální evapotranspirace travního porostu na území ČR v horizontu let 1961-2099 byla vybrána celosvětově rozšířená a organizací FAO doporučovaná modifikovaná metoda podle Penmana-Monteitha, poskytující racionální a fyzikálně podložený způsob výpočtu výdeje vody z různých vypařujících povrchů. Úplná Penman-Monteithova kombinovaná rovnice s korekcí na teplotu vypařujícího povrchu a s vyjádřením vlhkosti vzduchu pomocí tlaku vodní páry je jedním ze základních vztahů agrometeorologického výpočetního modelu AVISO („Agrometeorologická výpočetní a informační soustava“), který je součástí operativního a režimového provozu na ČHMÚ, pobočce Brno.

Základní kombinovaná rovnice pro výpočet evapotranspirace ET podle modifikace Penman-Monteith má obecný tvar (Hough, Palmer, Weir, Lee, Barrie, 1997; Pal Arya, 2001):

$$\lambda * ET = \frac{\Delta * (R_n - G) + \rho * c_p * \frac{E_s - E}{r_a}}{\Delta + \gamma * \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad (1)$$

Postupnou úpravou rovnice (1) dostaneme závěrečnou verzi úplně kombinované Penman-Monteithovy rovnice pro určení evapotranspirace ET s korekcí na teplotu vypařujícího povrchu a s vyjádřením vlhkosti vzduchu ve formě tlaku vodní páry:

$$\lambda * ET = \frac{\Delta * (R_{ne} - G) + \frac{\rho * c_p * (E_s - E) * \left(1 + \frac{[4 * \varepsilon * \sigma * (273,16 + T_{scr})^3] * r_a}{\rho * c_p}\right)}{r_a}}{\Delta + \gamma * \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right) * \left(1 + \frac{[4 * \varepsilon * \sigma * (273,16 + T_{scr})^3] * r_a}{\rho * c_p}\right)} \quad (2)$$

Verze kombinované Penman-Monteithovy rovnice podle (2) se používá v modelu MORECS („The Meteorological Rainfall and Evaporation Computing System“), viz Hough, Palmer, Weir, Lee, Barrie, 1997. Pro lepší orientaci a přehlednost uvádíme jednotlivé proměnné:

- ET = intenzita evapotranspirace, tj. rychlost ztráty vody výparem [kg.m⁻².s⁻¹].
- λ = skupenské (latentní) teplo výparné [J.kg⁻¹], λ = 2465000 J.kg⁻¹ neboli 2,465 MJ.kg⁻¹. V podstatě se nejedná přesně o konstantu, avšak malé změny λ lze vyjádřit jednoduchou rovnicí v závislosti na teplotě vzduchu. Do modelu nutno dosadit v jednotkách [J.kg⁻¹].
- Δ = sklon křivky napětí nasycené vodní páry při dané teplotě vzduchu, tj. derivace závislosti mezi měrnou vlhkostí vzduchu nasyceného vodními parami a teplotou vzduchu [hPa.°C⁻¹, mb.°C⁻¹].
- Δ' = obdobný význam jako u Δ, pomocná proměnná při odvození teploty vypařujícího povrchu [hPa.°C⁻¹, mb.°C⁻¹].
- R_{ne} = radiační bilance na povrchu [W.m⁻²]. Položíme-li výchozí předpoklad shodnosti teploty vzduchu měřené ve standardní výšce 2 m a teploty vypařujícího povrchu, potom platí R_n = R_{ne}.
- G = tok tepla v půdě [W.m⁻²].
- ρ = hustota vzduchu [kg.m⁻³].
- c_p = měrné (specifické) teplo vzduchu při konstantním tlaku vzduchu a konstantní teplotě vzduchu 273,16 K [J.kg⁻¹.K⁻¹], c_p = 1004,6 J.kg⁻¹.K⁻¹.
- δq = deficit specifické vlhkosti vzduchu na úrovni měření ve standardní výšce 2 m [kg.kg⁻¹].
- E_s = tlak nasycené vodní páry při teplotě vzduchu měřené ve standardní výšce 2 m [hPa, mb].
- E = aktuální tlak vodní páry při teplotě vzduchu a relativní vlhkosti vzduchu měřené ve standardní výšce 2 m [hPa, mb].
- ε = koeficient emisivity (vyzařování) vypařujícího povrchu [-], ε = 0,95.
- σ = Stefan-Boltzmannova konstanta [W.m⁻².K⁻⁴], σ = 5,675.10⁻⁸ W.m⁻².K⁻⁴.
- T_{scr} = teplota vzduchu měřená ve standardní výšce 2 m [°C].
- r_a = aerodynamická rezistence (odpor) [s.m⁻¹].
- r_s = celková povrchová rezistence (odpor) plodiny a půdy [s.m⁻¹].

γ = psychrometrický koeficient (méně správně konstanta), $\gamma = 0,66$ pro teplotu vzduchu ve $^{\circ}\text{C}$ a tlak vodní páry v hPa nebo mb.

Je logické, že další proměnné meteorologického i nemeteorologického charakteru vstupují do výpočtů postupně. Pokud se konečný výsledek, získaný řešením rovnice (2) přenásobí počtem sekund za den ($\cdot 86400$), získáme hodnotu evapotranspirace ET v mm za den [$\text{mm}\cdot\text{den}^{-1}$].

Rovnice (2), aplikovaná v modifikaci v modelu AVISO, je následující:

$$ET = \frac{\Delta * (RN_{\text{day}} - G_{\text{day}}) + Ea}{Rs_{\text{day}}} + \frac{rE_{\text{night}} * 3600 * (24 - N)}{\lambda} \quad (3)$$

- kde: ET = intenzita evapotranspirace, tj. rychlost ztráty vody výparem [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$].
 Δ = sklon křivky napětí nasycené vodní páry při dané teplotě vzduchu, tj. derivace závislosti mezi měrnou vlhkostí vzduchu nasyceného vodními parami a teplotou vzduchu [$\text{hPa}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$, $\text{mb}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$].
 RN_{day} = průměrná denní hustota toku krátkovlnné a dlouhovlnné radiace za denní dobu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$].
 G_{day} = tok tepla v půdě za denní dobu [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$].
Rozdíl $RN_{\text{day}} - G_{\text{day}}$ představuje množství dostupné energie pro procesy evapotranspirace za denní dobu.
Ea = výsušnost atmosféry [-], která vedle teploty vzduchu závisí hlavně na sytostním doplnku a aerodynamické rezistenci.
 Rs_{day} = ekvivalent jmenovatele hlavního zlomku rovnice (2).
 rE_{night} = intenzita evapotranspirace travního porostu za noc [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$].
N = astronomicky maximálně možné trvání slunečního svitu [$\text{hod}\cdot\text{den}^{-1}$].
 λ = skupenské (latentní) teplo výparné [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$], $\lambda = 2465000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$ neboli $2,465 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Do modelu nutno dosadit v jednotkách [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$].

Vstupními údaji k výpočtům potenciální evapotranspirace travního porostu (dále jen PEVA_TP) byla scénářová denní klimatická data základních meteorologických prvků (průměrná teplota vzduchu ve $^{\circ}\text{C}$, průměrný tlak vodní páry v hPa, trvání slunečního svitu v hod, průměrná rychlost větru v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ a srážkové úhrny v mm) za období 1961-2099. Trvání slunečního svitu bylo odvozeno ze scénářových údajů globální radiace a tlak vodní páry byl vypočítán podle scénářových údajů teploty a vlhkosti vzduchu. Ze 131 gridových bodů pravidelné sítě $25 \times 25 \text{ km}$ na území ČR, pro které byl aplikován výše uvedený model AVISO, byl pro dlouhodobé hodnocení PEVA_TP na Hodonínsku vybrán gridový bod 2847 (194 m n.m.), který je situován nejbližší zájmové lokalitě Pánov (vzdálenost cca 11,1 km). Scénářová denní data jsou produktem modelu ALADIN-CLIMATE/CZ. Pomocí kvantilové metody korekce se vhodným způsobem eliminují případné systematické chyby daného modelu. Pro jednoduchost se ve všech výpočtech bral v úvahu travní porost, u něhož na rozdíl od zemědělských plodin nemusíme mít k dispozici žádné fenologické údaje.

V následující kapitole jsou pro lokalitu Pánov na Hodonínsku stručně popsány výsledky srovnávací analýzy změn dlouhodobých úhrnů PEVA_TP scénářových období 2010-2039, 2040-2069 a 2070-2099 vztahené k období referenčnímu (normálovému), tj. k období 1961-1990. Ve druhé části kapitoly je provedeno porovnání evapotranspiračních podmínek gridového bodu 2847, reprezentujícího Hodonínsko, s nejnižší položenými oblastmi ČR s nadmořskou výškou do 200 m, které jsou zastoupeny příslušnými gridovými body (3241 a 3319 v Polabí, 2766 a 2845 na jižní Moravě, 3007 na Hané).

Nutno zdůraznit, že zpracování proběhlo na scénářových datech dílčích 30letých období, nikoliv na datech naměřených (období 1961-1990).

Výsledky a diskuse

Pro oblast Pánova na Hodonínsku na jihovýchodní Moravě lze na základě scénářových dat předpokládat postupný nárůst dlouhodobých ročních úhrnů PEVA_TP od normálových 640,1 mm (1961-1990) až na 805,8 mm (2070-2099), tj. zvýšení PEVA_TP o cca 165 mm. Budeme-li referenční období 1961-1990 brát jako základ (100 %), ve scénářových obdobích postupně dojde k nárůstu PEVA_TP na úroveň cca 106 % (2010-2039), 116 % (2040-2069) - pro časově nejvzdálenější období 2070-2099 se odhaduje, že PEVA_TP bude nad úrovní 125 % hodnot referenčního období. Nejvyšší nárůst mezi obdobími je za předpokladu let 2040-2069 a 2070-2099 (zvýšení PEVA_TP o více než 60 mm).

Velmi podobné závěry platí i pro analýzu dlouhodobých evapotranspiračních podmínek za vegetační období (duben-září). Předpokládá se postupné zvyšování PEVA_TP až na úroveň téměř 650 mm (tj. nárůst o více než 130 mm oproti období referenčnímu) při současném zachování všech vývojových trendů, jak bylo uvedeno výše při rozboru dlouhodobých ročních úhrnů.

V obou případech (dlouhodobé roční úhrny i dlouhodobé úhrny za vegetační období) neshledáváme významnější rozdíly mezi Pánovem a vypočítaným průměrem z nejnižších ležících oblastí na území ČR s nadmořskou výškou do 200 m. Jsou zachovány velmi obdobné časové trendy vývoje, jinými slovy, oblast Pánova, charakterizovaná gridovým bodem 2847, vhodně reprezentuje vývoj evapotranspirace v nížinných územích ČR až k časovému horizontu roku 2099.

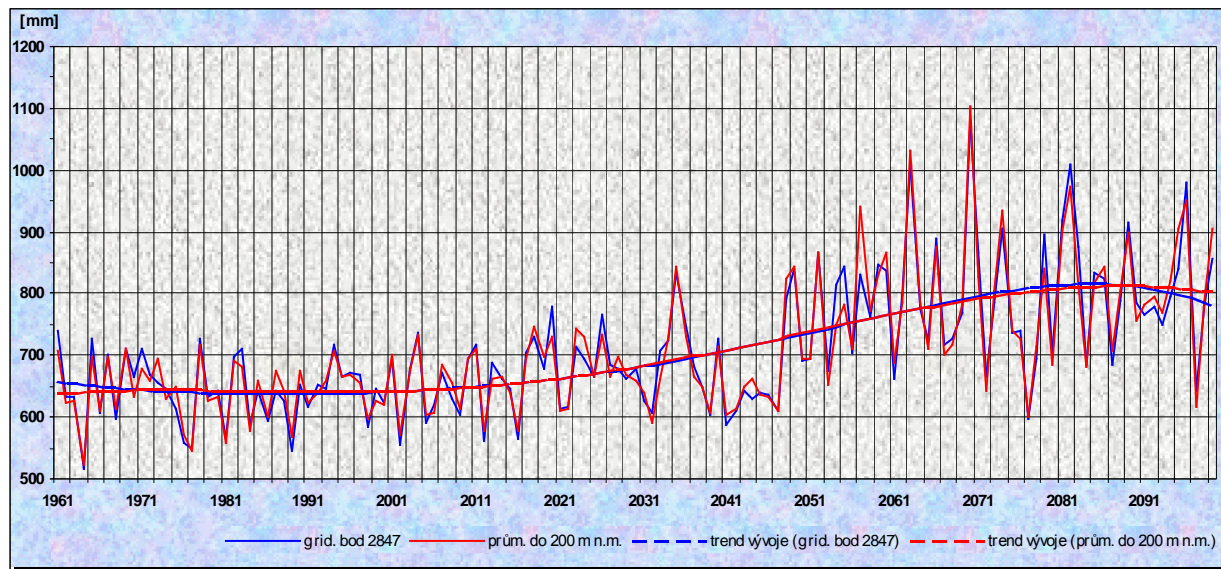
Tab. 1 Lokalita Pánov (2847), potenciální evapotranspirace travního porostu [mm] a její dlouhodobé průměrné úhrny včetně změny v % k období normálovému (referenčnímu), srovnání s nížinnými oblastmi ČR

období	Rok				Vegetační období (IV.-IX.)			
	grid. bod	% z	prům. do	% z	grid. bod	% z	prům. do	% z
	2847	1961-1990	200 m	1961-1990	2847	1961-1990	200 m	1961-1990
1961-1990	640,1	-	639,5	-	514,3	-	510,3	-
2010-2039	678,8	106,1	676,8	105,8	544,2	105,8	538,1	105,4
2040-2069	745,3	116,4	747,8	116,9	600,6	116,8	599,3	117,4
2070-2099	805,8	125,9	804,8	125,9	646,8	125,8	641,5	125,7

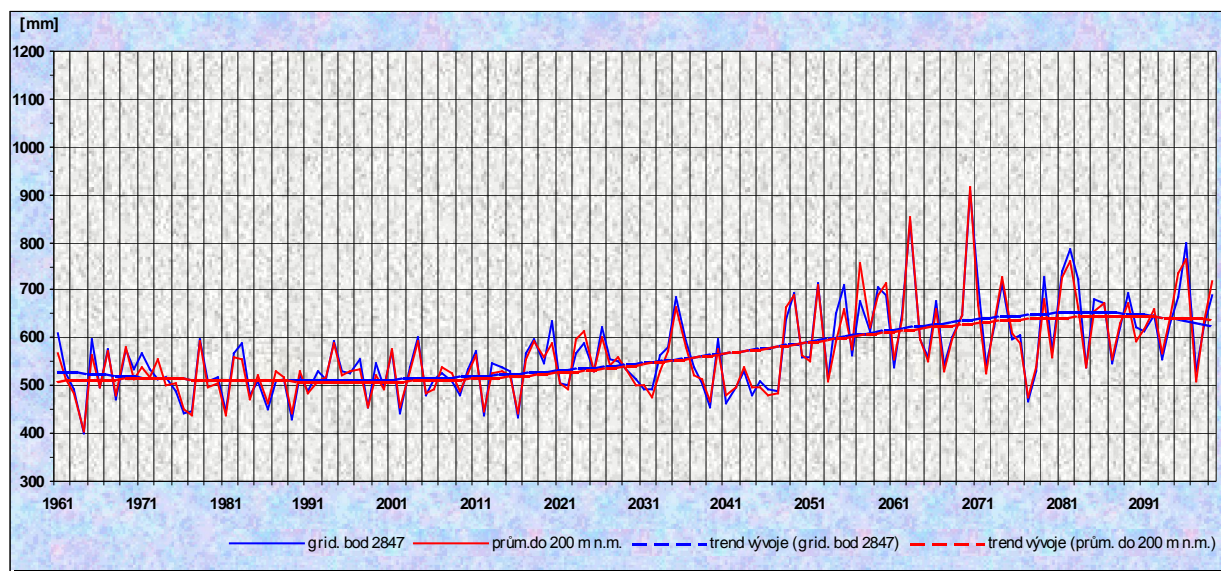
Následující grafy na obr. 1 a 2 dokumentují časové řady ročních úhrnů PEVA_TP a úhrnů PEVA_TP za vegetační období. Vhodnou doplňující informací je vývojový trend prezentovaný polynomickým rozvojem 6. stupně.

Jak z obou grafů vyplývá, roční úhrny i úhrny PEVA_TP za vegetační období se vyznačují výraznou časovou variabilitou, což je dáno především kvalitou vstupních scénářových dat pro výpočet evapotranspirace. Zatímco v referenčním období 1961-1990 se nejvyšší roční úhrn blížil 750 mm (rok 1961) a minimální mírně přesáhl 500 mm (rok 1964), pro závěrečné scénářové období 2070-2099 je na základě scénářových dat prognózován roční maximální úhrn přesahující 1000 mm (rok 2070), naopak roční minimální úhrn zůstává pod hranicí 600 mm (rok 2077). Extrémní úhrny za vegetační období jsou logicky na nižší kvantitativní úrovni, a to za referenční období 1961-1990 o přibližně 130 mm, resp. 115 mm, za scénářové období o přibližně 170 mm, resp. o 120 mm.

Nejvýraznější nárůst průměrné PEVA_TP je podle trendových křivek sledován v období let 2020-2070, období po roce 2070 se již vyznačuje stálým trendem vývoje ročních úhrnů a úhrnů PEVA_TP za vegetační období. Pro nížinné oblasti ČR jako celek prakticky platí tytéž závěry.



Obr. 1 Lokalita Pánov (2847), časová řada ročních úhrnů potenciální evapotranspirace travního porostu [mm] včetně časového trendu vývoje a její srovnání s nížinnými oblastmi ČR



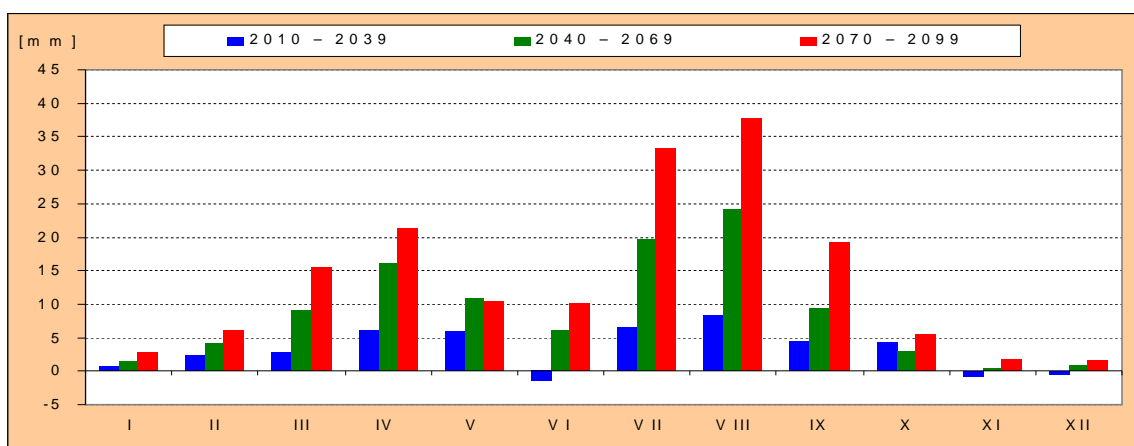
Obr. 2 Lokalita Pánov (2847), časová řada úhrnů potenciální evapotranspirace travního porostu [mm] za vegetační období včetně časového trendu vývoje a její srovnání s nížinnými oblastmi ČR

Podrobnější tabelárně-grafická analýza na úrovni dlouhodobých měsíčních úhrnů PEVA_TP je uvedena v tab. 2 a na obr. 3. Tabulka obsahuje konkrétní dlouhodobé měsíční (a celkový dlouhodobý roční) úhrny PEVA_TP referenčního a všech scénářových období až k horizontu roku 2099, graf přehledně dokumentuje měsíční rozdíly v mm jednotlivých scénářových

období 2010-2039, 2040-2069 a 2070-2099 k období normálovému (referenčnímu) 1961-1990.

Tab. 2 Lokalita Pánov (2847), dlouhodobá měsíční a roční potenciální evapotranspirace travního porostu [mm] ve scénářových obdobích

období	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	rok
1961-1990	8,7	13,5	33,6	67,6	93,2	99,1	102,4	93,2	58,9	37,8	20,0	12,1	640,1
2010-2039	9,4	15,9	36,4	73,7	99,1	97,6	109,0	101,5	63,3	41,9	19,3	11,7	678,8
2040-2069	10,1	17,6	42,8	83,6	104,1	105,2	122,1	117,3	68,3	40,7	20,4	13,0	745,3
2070-2099	11,4	19,7	49,2	88,9	103,8	109,3	135,6	131,0	78,1	43,2	21,8	13,7	805,8



Obr. 3 Lokalita Pánov (2847), dlouhodobá měsíční potenciální evapotranspirace travního porostu, rozdíly jednotlivých scénářových období k období normálovému (referenčnímu) 1961-1990 v mm

V rámci příslušných měsíců a ve shodě s dříve provedenou analýzou lze konstatovat, že v naprosté většině případů postupně narůstají dlouhodobé měsíční úhrny PEVA_TP, nejvyšší průměrné hodnoty jsou takto modelovým výpočtem predikovány až pro poslední scénářové období 2070-2099. Maximální dlouhodobé měsíční úhrny se vždy vyskytují v červenci (postupný nárůst v přibližných mezích 102 až 136 mm), druhotné maximum je vždy na konci léta v srpnu (postupný nárůst v přibližných mezích 93 až 131 mm). Postupný nárůst dlouhodobých měsíčních úhrnů PEVA_TP mezi jednotlivými obdobími výrazně převládá i v měsících přechodných období a v zimě, i když na nižších kvantitativních úrovních.

Graf na obr. 3 dokumentuje postupný nárůst rozdílových hodnot úhrnů scénářových období k období referenčnímu, všechny údaje jsou v mm. Je logické, že nejvyšší rozdíly v kladném slova smyslu jsou vypočítány pro závěrečné scénářové období 2070-2099 - pro letní měsíce červenec a srpen rozdílové údaje přesahují 30 mm, stejně tak jsou výrazné pro jarní měsíce březen a duben, ale i pro podzimní září s rozdílovými hodnotami přes 15 mm. Zbývající scénářová období se vyznačují menšími rozdílovými údaji při srovnání s obdobím referenčním.

V průběhu roku sledujeme nejvyšší rozdílové hodnoty úhrnů v letním období (červenec, srpen), obdobně vyplývá z analýzy jarních měsíců (zvláště březen a duben). Pro první letní měsíc jsou obecně typické malé rozdíly mezi obdobími, stejně tak malé rozdíly jsou logicky pro všechny podzimní a zimní měsíce.

Závěr

Předkládaný příspěvek se pokusil o rekonstrukci evapotranspiračních podmínek pro roky 1961-2099 pro nížinné oblasti ČR a konkrétně zájmovou lokalitu Pánov na Hodonínsku na jihovýchodní Moravě. K výpočtům potenciální evapotranspirace travního porostu modifikovanou metodikou Penman-Monteith podle agrometeorologického modelu AVISO byla použita denní scénářová data dlouhodobých období (referenční, normálové období 1961-1990, období scénářová 2010-2039, 2040-2069 a 2070-2099), která jsou výstupem modelu ALADIN-CLIMAT/CZ.

Uvedené výsledky dokladují možné postupné zvyšování úhrnů potenciální evapotranspirace v časovém horizontu do roku 2099. Tato skutečnost je či s velkou pravděpodobností může být příčinou zhoršující se vláhové či vodní bilance jak na území Pánova na Hodonínsku, tak i obecně v nížinných oblastech ČR

V příspěvku jsou publikovány pouze některé vybrané výsledky, případné zájemce o další informace odkazujeme na autory příspěvku.

Dedikace

Předkládaný příspěvek vychází z výsledků řešení výzkumného projektu Ministerstva školství a tělovýchovy ČR „Modelový projekt zamezení biologické degradace půd v podmínkách aridního klimatu“ (č. projektu 2B08020) v rámci Národního programu výzkumu II. a projektu VaV-SP/1a6/108/07 „Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření“.

Použitá literatura

Hough M., Palmer S., Weir A., Lee M., Barrie I. (1997):: The Meteorological Office Rainfall and Evaporation Calculation System: MORECS version 2.0. Meteorological Office Bracknell, Meteorological Office Wolverhampton, Bracknell, 82 p.

Hough M., Jones R. J. (1997): The United Kingdom Meteorological Office rainfall and evaporation calculation system: MORECS version 2.0 - an overview. Hydrology and Earth System Sciences, 1(2), p. 227-239.

Kohut M. (2003): Vybrané metody výpočtu evaporace a evapotranspirace. In: „*Mikroklima porostů*“. Brno, Bioklimatologická společnost, s. 172-186, CD-ROM.

Kohut M. (2007): Vláhová bilance zemědělské krajiny. Doktorská disertační práce, MZLU Brno, Agronomická fakulta, Ústav aplikované a krajinné ekologie, 128 s.

Kohut M., Vitoslavský J. (1999): Agrometeorologická výpočetní a informační soustava - možnosti jejího využití. In: „*Agrometeorologické prognózy a modely*“. Velké Bílovice, s. 53-61.

Pal Arya S. (2001) Introduction to Micrometeorology. Academic Press, 2nd Edition, London, 421 p.

Štěpánek P. (2006) AnClim - software for time series analysis. Dept. Of Geography, Fac. of Natural Sciences, MU Brno, <http://www.climahom.eu/AnClim.html>

Štěpánek P. (2006): ProClimDB - software for processing climatological datasets. CHMI, regional office Brno, <http://www.climahom.eu/ProcData.html>

Thompson N., Barrie I. A., Ayles, M. (1981): The Meteorological Office Rainfall and Evaporation Calculation System: MORECS. Hydrological Memorandum, Bracknell, No. 45, 71 p.

Winkler L. (1991): Některé modely dynamiky vody v systému půda - rostlina - atmosféra a jejich využití v praxi. Kandidátská dizertační práce, Výzkumný ústav ekoagrotechniky, Hrušovany u Brna, 82 s.

Zpřesnění dosavadních odhadů dopadů klimatické změny v sektorech vodního hospodářství, zemědělství a lesnictví a návrhy adaptačních opatření. Projekt VaV-SP/1a6/108/07, odpovědný řešitel J. Pretel.

Kontaktní adresa 1. autora

Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno
Kroftova 43
616 67 Brno
mojmir.kohut@chmi.cz