

VZŤAH MEDZI POTENCIÁLNOU A REFERENČNOU EVAPOTRAN- SPIRÁCIOU

František Matejka, Tatjana Hurtalová

Summary

The contribution aims to analyze relationships between the potential and reference evapotranspiration rates taking into account distinctions in their concepts. A close linear relationship was found between the reference and potential evapotranspiration calculated by Penman. The conditions are specified in which the daily totals of reference evapotranspiration can exceed corresponding values of the potential evapotranspiration. Using a mathematical model of the water exchange between plant stands and the atmosphere, the reference crop is better characterized and influence of its characteristics on evapotranspiration is quantitatively expressed. In conclusions, the different interpretations of the potential and reference evapotranspiration results are discussed from the point of view of possible applications in irrigation scheduling.

Key words: evaporative surface, vegetation, microclimate, reference crop, stomatal resistance.

Úvod

Sumárny výpar vody z listov rastlín a z povrchu pôdy pod nimi, nazývaný evapotranspirácia, má veľký význam pre rozvoj poznania vo viacerých vedných disciplínach, akými sú napr. hydrológia, ekológia, meteorológia ale tiež z hľadiska praktického využitia pri riadení závlah alebo v oblasti ochrany a tvorby životného prostredia. Okrem aktuálnej evapotranspirácie, alebo niekedy súčasne s ňou, sa však často používajú aj pojmy potenciálnej evapotranspirácie a referenčnej evapotranspirácie. Spoločným motívom pre vznik koncepcie potenciálnej evapotranspirácie alebo referenčnej evapotranspirácie, bola požiadavka vylúčiť vplyv zmien charakteristík porastu na intenzitu evapotranspirácie. Definícia potenciálnej evapotranspirácie bola formulovaná tak, aby umožnila stanoviť intenzitu evapotranspirácie hypotetického porastu s bližšie určenými, ale stálymi, biometrickými a aerodynamickými charakteristikami (Irmak a Haman, 2003), čo umožnilo použiť výsledky stanovenia potenciálnej evapotranspirácie na kvantifikáciu evaporačných požiadaviek ovzdušia. Naproti tomu,

v koncepcii referenčnej evapotranspirácie, vhodnejšej pre aplikácie v oblasti riadenia závlah, je porast špecifikovaný parametrami rozhrania medzi vyparujúcim povrchom a atmosférou (Allen a kol., 1998).

Hodnoty potenciálnej a referenčnej evapotranspirácie sa niekedy pokladajú za rovnocenné charakteristiky evaporačných požiadaviek atmosféry (Jensen a kol., 1990). V skutočnosti však môžu byť, v závislosti od metodiky stanovenia týchto veličín a merania vstupných dát, medzi ich korešpondujúcimi hodnotami značné rozdiely. Cieľom predloženého príspevku je analyzovať tieto rozdiely, identifikovať ich príčiny a posúdiť možnosti interpretácie a aplikácie výsledkov stanovenia potenciálnej a referenčnej evapotranspirácie.

Potenciálna evapotranspirácia

Pojem potenciálnej evapotranspirácie použili pravdepodobne ako prví Penman (1948) pri analýze výparu z pôdy nasýtenej vodou a Thornthwaite (1948) v súvisi s problematikou klimateckej rajonizácie. V tejto koncepcii sa pod potenciálnou evapotranspiráciou rozumie "the

evapotranspiration rate of a short green crop, completely shading the ground, of uniform height and never short of water" (Penman, 1948). V priebehu času sa ukázalo, že táto definícia nie je celkom jednoznačná a môže viesť k rôznym nedorozumeniam. Problémy spôsobuje v prvom rade to, že vyparujúci povrch nie je dosť presne špecifikovaný. Viacerí autori vzťahujú túto definíciu k pravidelne kosenému nízkemu trávnenému porastu, ktorý je štandardným povrchom pre sieť klimatologických staníc. Z tohto predpokladu vychádzal už Penman (1948), ktorý vo svojom vzťahu, navrhnutom pre výpočet potenciálnej evapotranspirácie, stanovil funkciu, popisujúcu závislosť intenzity výparu od rýchlosti prúdenia vzduchu pre hustý, kosený trávny porast. Takto stanovené denné sumy potenciálnej evapotranspirácie sú vo veľmi dobrej zhode so zodpovedajúcimi výsledkami meraní evapotranspirácie zo zavlažovaného hustého, krátko strihaného trávnik. Existuje však viacero druhov porastov, ktoré možno charakterizovať ako „short green crop“. Pritom sa denné sumy evapotranspirácie týchto porastov môžu navzájom líšiť o 10 až 30 percent (Irmak a Haman, 2003).

Ďalším faktorom, ktorý môže spôsobovať rozdiely v hodnotách potenciálnej evapotranspirácie je výber metodiky jej stanovenia. Keďže Penman-Monteithova metóda (Monteith, 1965) je pomerne náročná z hľadiska získavania potrebných vstupných dát, je celkom pochopiteľná snaha zjednodušiť si situáciu pomocou empirických vzťahov, pre ktoré stačí mať k dispozícii výsledky meraní len jedeného alebo dvoch základných meteorologických prvkov. Typickým príkladom takéhoto prístupu môže byť výpočet potenciálnej evapotranspirácie metódami, ktoré navrhli Thornthweit (1948), Blaney a Criddle (1950), Budyko (1956), Jensen a Haise (1963), Hargreaves (1974), Jensen a kol. (1990). Vzhľadom na to, že žiadna z týchto metód neberie do úvahy celý komplex meteorologických faktorov, ktoré ovplyvňujú potenciálnu evapotranspiráciu, výsledky získané týmito metódami sa môžu navzájom značne líšiť (McKenney a Rosenberg, 1993).

Nemožno však vylúčiť ani rozdiely vo výsledkoch stanovenia potenciálnej evapotranspirácie spôsobené nie celkom presným definovaním podmienok, za ktorých majú byť získané

vstupné údaje pre výpočet potenciálnej evapotranspirácie. Podstata problému spočíva v tom, že často potrebujeme stanoviť potenciálnu evapotranspiráciu za dlhší časový interval, prípadne aj počas celého roku, a to nielen v obdobiach, kedy je porast dostatočne zásobený pôdnou vodou, ale často aj v podmienkach pôdneho sucha. Pritom je známe, že hodnoty teploty vzduchu a sýtnostného doplnku nad porastom trpiacim vodným stresom sú obvykle nezanedbateľne vyššie v porovnaní so situáciou nad zavlaženým porastom (Havlík a Možný, 1990). Keďže výsledky stanovenia potenciálnej evapotranspirácie významným spôsobom určuje teplota a vlhkosť vzduchu nad vyparujúcim povrchom, získavame v takýchto prípadoch hodnoty potenciálnej evapotranspirácie, ktoré v zmysle svojej definície vlastne ani za potenciálnu evapotranspiráciu nemôžu byť pokladané.

V súvisi s definíciou a interpretáciou pojmu potenciálnej evapotranspirácie zostáva teda dosť nejasností a otvorených otázok. Toto bolo tiež jedným z dôvodov, prečo sa začiatkom sedemdesiatych rokov minulého storočia objavili pokusy hľadať k pojmu „potenciálna evapotranspirácia“ vhodnejšiu a jednoznačne definovanú alternatívu. Jedným z výsledkov takýchto snáh je koncepcia referenčnej evapotranspirácie.

Referenčná evapotranspirácia

Potenciálna evapotranspirácia, slúžiaca ako štandardná charakteristika evaporáčnych požiadaviek ovzdušia, často používaná v klimatológii, nie je dosť dobre prakticky aplikovateľná pri optimalizácii vodného režimu porastov poľných plodín, pretože sa podľa svojej definície nevzťahuje k presne špecifikovanému porastu. Preto sa už od polovice minulého storočia hľadala k potenciálnej evapotranspirácii vhodná alternatíva pre vyjadrenie evapotranspirácie konkrétneho referenčného porastu, dostatočne zásobeného pôdnou vodou, takže intenzita jeho evapotranspirácie nie je limitovaná obsahom vody v pôde. V tejto súvislosti sa koncepcia referenčnej evapotranspirácie po prvý raz objavila v polovici sedemdesiatych rokov minulého storočia (Doorenbos a Pruitt, 1975). Tento pojem bol neskôr oficiálne znovu zavedený panelom expertov FAO a za referenčnú evapotranspiráciu sa odvtedy všeobecne po-

kladá „the rate of evapotranspiration from a hypothetical reference crop with an assumed crop height of 0.12 m., a fixed surface resistance of 70 s/m and an albedo equal to 0.23, closely resembling an extensive surface of green grass” (Smith a kol., 1991). V nadväznosti na tento dokument bola neskôr pre stanovenie takto definovanej referenčnej evapotranspirácie odporúčaná Penman-Monteithova metóda (Monteith, J.L., 1965), úspešne adaptovaná k definovanému referenčnému povrchu (Allen a kol., 1998). Posledne menovaná publikácia obsahuje aj presné požiadavky kladené na postup pri získavaní experimentálnych dát a návrh metodiky pre posúdenie ich homogenity a doplnenie prípadných chýbajúcich údajov.

Pri takto jednoznačne definovanej referenčnej evapotranspirácii jej hodnoty nezávisia od vlastností pôdy, druhu porastu ani jeho vývojového štádia a sú určované výlučne meteorologickými faktormi. Referenčná evapotranspirácia teda charakterizuje evaporačné požiadavky ovzdušia v uvažovanom období pre danú lokalitu a súčasne môže slúžiť ako základ pre stanovenie konkrétnych hodnôt aktuálnej evapotranspirácie rôznych porastov pomocou plodných koeficientov.

Rozdiely medzi hodnotami potenciálnej a referenčnej evapotranspirácie

Z hľadiska porovnania hodnôt potenciálnej a referenčnej evapotranspirácie je v prvom rade dôležitý fakt, že pre stanovenie referenčnej evapotranspirácie je všeobecne akceptovaná jednotná metodika (Allen a kol., 1998). Naproti tomu, pre výpočet potenciálnej evapotranspirácie sa používa celý rad metód, ktoré sa líšia vo východiskových predpokladoch, vo vstupných údajoch i v časovom kroku. Následkom toho sa výrazne líšia aj samotné hodnoty potenciálnej evapotranspirácie stanovené rôznymi metódami. McKenney a Rosenberg (1993) zistili, že v ročných sumách potenciálnej evapotranspirácie môžu, v závislosti od použitej metódy, v niektorých prípadoch vzniknúť rozdiely presahujúce 100 % (obr. 1). Už len z tohto dôvodu je vzájomné porovnanie potenciálnej a referenčnej evapotranspirácie principiálne nemožné.

I v prípade výpočtu potenciálnej evapotranspirácie Penmanovou metódou, z ktorej vychá-

dza aj stanovenie referenčnej evapotranspirácie, môže byť variabilita získaných výsledkov značne veľká. V literatúre totiž existujú rôzne vyjadrenia funkčnej závislosti Penmanovej potenciálnej evapotranspirácie od rýchlosti vetra. Napriek tomu sa však dá odôvodnene predpokladať, že denné sumy referenčnej evapotranspirácie budú blízke k zodpovedajúcim denným sumám potenciálnej evapotranspirácie stanovenej Penmanovou metódou, keďže z tohto postupu vychádza aj štandardná metodika stanovenia referenčnej evapotranspirácie. Platnosť tohto predpokladu bola overená pomocou experimentálnych podkladov pozostávajúcich z výsledkov meraní radiačnej bilancie, rýchlosti vetra, teploty a vlhkosti vzduchu získaných v roku 2002 na Meteorologickom observatóriu Geofyzikálneho ústavu SAV v Mlyňanoch ($\phi = 48^{\circ} 19'$, $\lambda = 18^{\circ} 22'$, 198 m n. m.).

V zvolenom období bola stanovená referenčná evapotranspirácia použitím štandardnej metodiky FAO (Allen a kol., 1998). V súlade s touto metodikou boli denné sumy referenčnej evapotranspirácie počítané podľa vzťahu

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta R_n + \gamma \frac{900}{T + 273} u (e_a - e_s)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u)} \quad (1)$$

kde ET_0 znamená dennú sumu referenčnej evapotranspirácie [mm/d], Δ označuje deriváciu tlaku nasýtenej vodnej pary podľa teploty [kPa/°C], R_n je radiačná bilancia [MJ/m²d], γ je termodynamická psychrometrická konštanta [kPa/°C], u je rýchlosť vetra vo výške 2 metre nad vyparujúcim povrchom [m/s] a symboly e_a , e_s značia tlak vodnej pary, resp., tlak nasýtenej vodnej pary [kPa] v tej istej výškovej hladine.

Potenciálna evapotranspirácia bola počítaná podľa Penmana (1948) s pôvodným vyjadrením závislosti evapotranspirácie od rýchlosti vetra

$$ET_0 = 0.408 \frac{\Delta R_n + 6.43 \gamma f(u)(e_a - e_s)}{\Delta + \gamma} \quad (2)$$

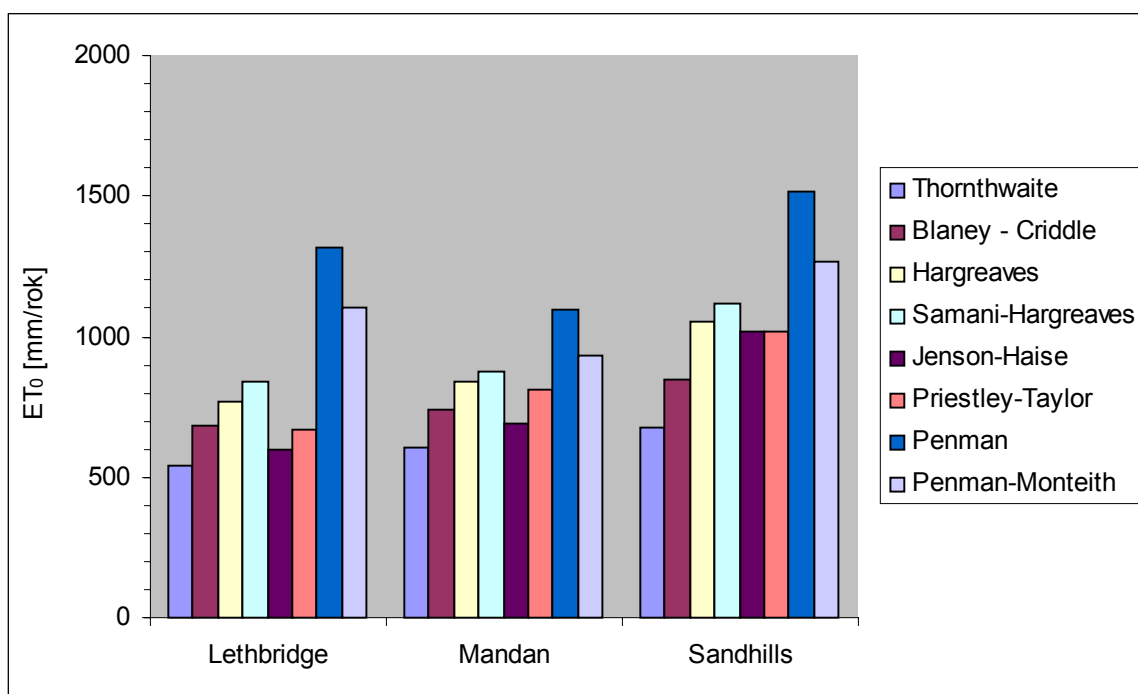
kde $f(u) = 1 + 0.537u$. Význam jednotlivých symbolov je rovnaký ako vo vzťahu (1).

Zo získaných výsledkov vyplynulo, že pri použitej metodike výpočtov, denné sumy potenciálnej evapotranspirácie systematicky prevyšujú referenčnú evapotranspiráciu. Pritom medzi obidvomi porovnávanými veličinami existuje tesný štatistický vzťah, ktorý možno vyjadriť lineárnou závislosťou (obr. 2).

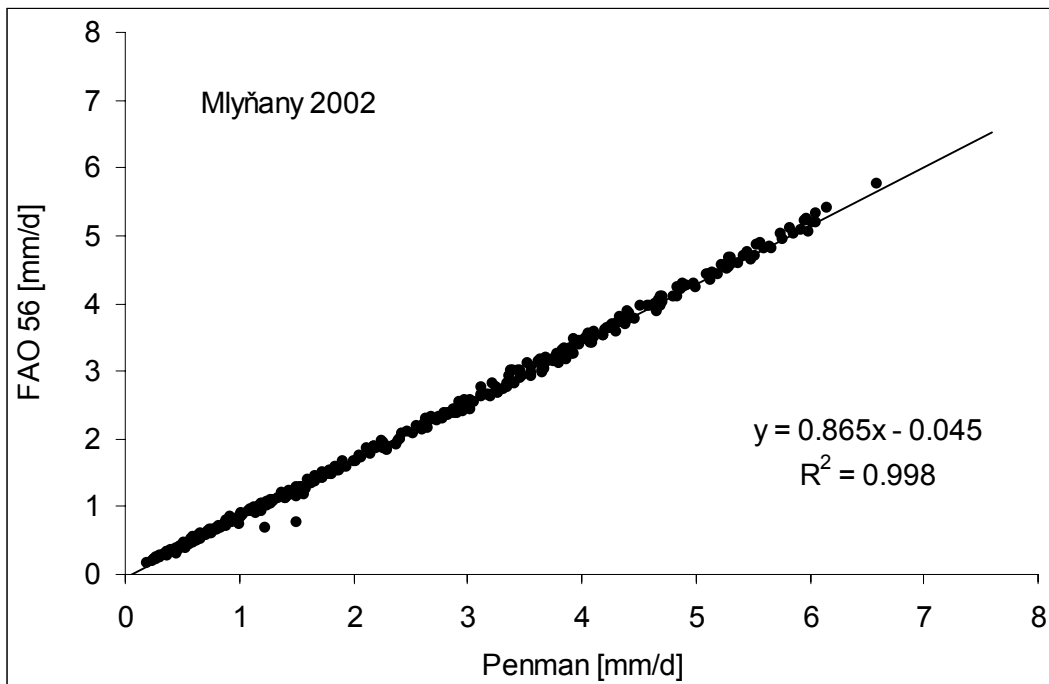
V dôsledku toho sa denná suma referenčnej evapotranspirácie rovná v priemere 84,2 % z dennej sumy zodpovedajúcej potenciálnej evapotranspirácie. Rozdiely medzi mesačnými sumami potenciálnej a referenčnej evapotranspirácie sa počas roku pohybujú v rozmedzí od 0,4 mm/deň do 0,93 mm/deň, pričom najväčšie hodnoty týchto rozdielov sa vyskytli na jar a začiatkom leta a najmenšie boli v zimnom období (obr. 3).

Na tomto mieste môže vzniknúť otázka, či je možné, aby denná suma referenčnej evapotranspirácie prekročila zodpovedajúcu hodnotu po-

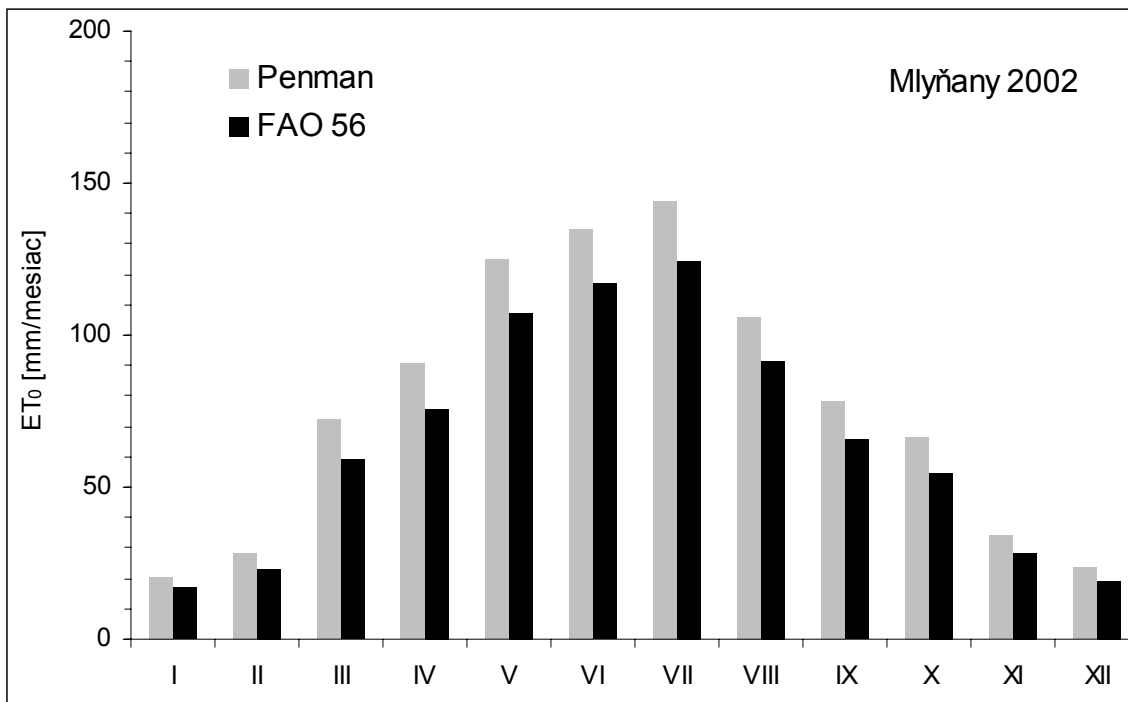
tenciálnej evapotranspirácie. Podrobná analýza vzťahov (1) a (2) vedie k záveru, podľa ktorého takáto situácia môže vzniknúť len za predpokladu, že by sa pri nízkej radiačnej bilancii vyskytli vysoké hodnoty teploty vzduchu a sýtostného doplnku. Napríklad, pri dennej sume radiačnej bilancie 1 MJ/m^2 za deň, by musela priemerná denná teplota vzduchu prekročiť $20 \text{ }^\circ\text{C}$ a sýtostný doplnok by musel dosiahnuť aspoň 1 kPa . V našich klimatických podmienkach je však takáto kombinácia meteorologických prvkov prakticky nemožná. Je teda takmer vylúčené, aby pri použitej metóde výpočtov, referenčná evapotranspirácia prekročila potenciálnu evapotranspiráciu. Treba však súčasne zdôrazniť, že pokiaľ by sme zvolili pre výpočet potenciálnej evapotranspirácie inú metódu, veľmi pravdepodobne by jej denné sumy nedosiahli úroveň denných súm referenčnej evapotranspirácie, keďže Penmanov vzťah vedie v porovnaní s inými metódami k vyššiemu výsledkom (McKenney a Rosenberg, 1993).



Obr. 1. Porovnanie ročných súm potenciálnej evapotranspirácie stanovenej rôznymi metódami pre tri lokality v USA (podľa McKenney a Rosengerg, 1993).



Obr. 2. Vzťah medzi dennými sumami potenciálnej a referenčnej evapotranspirácie súčasne stanovenými Penmanovou metódou a metodikou podľa FAO na Meteorologickom observatóriu GFÚ SAV v Mlyňanoch počas roku 2002.



Obr. 3. Porovnanie mesačných súm potenciálnej a referenčnej evapotranspirácie súčasne stanovených Penmanovou metódou a metodikou podľa FAO na Meteorologickom observatóriu GFÚ SAV v Mlyňanoch počas roku 2002.

Na tomto mieste sa tiež žiada pripomenúť, že zatiaľ čo vzorec (2) platí len na úrovni denných súm, vzťah (1) možno po príslušnej úprave použiť aj s hodinovým krokom a denné sumy referenčnej evapotranspirácie sa potom môžu stanoviť ako súčet hodinových súm. V takomto prípade však nemožno počítať s konštantnou hodnotou rezistencie porastu, ktorá je definíčne fixovaná na hodnote 70 s/m, ale treba pri výpočtoch rešpektovať denný chod tejto veličiny (Lecina a kol., 2003). V tom prípade je však nevyhnutné doplniť štandardnú metodiku FAO algoritmiami niektorého z dostupných matematických modelov, umožňujúcich simulovať dennú dynamiku hodnôt prieduchovej rezistencie porastu, resp., rezistencie vyparujúceho povrchu ako celku, čo kladie vyššie nároky na vstupné údaje.

Záver a diskusia

Zistený tesný lineárny vzťah medzi dennými sumami potenciálnej a referenčnej evapotranspirácie znamená na jednej strane isté zjednodušenie, pretože umožňuje jednoduchý a pomerne presný vzájomný prepočet potenciálnej evapotranspirácie na referenčnú alebo naopak. Súčasne však celkom prirodzene vzniká otázka, či nie je existencia oboch týchto pojmov duplicitou, a ak áno, ktorý z nich stráca svoj význam ako charakteristika vysušovacej schopnosti atmosféry, resp., ako referenčná hodnota, umožňujúca stanoviť potenciálne a následne aj aktuálne požiadavky rastlín na ich zásobenie pôdnou vodou.

Doteraz publikované poznatky svedčia tom, že koncepcia potenciálnej evapotranspirácie bola často úspešne využitá v súvisi s klimatologickou rajonizáciou a pri klimatologickej charakteristike jednotlivých regiónov a lokalít. Napriek tomu však doteraz nie je celkom jasné ako možno v súlade s definíciou potenciálnej evapotranspirácie správne interpretovať jej hodnoty v zimnom období pri absencii vegetácie. Značným problémom je aj skutočnosť, že pre stanovenie potenciálnej evapotranspirácie sa používajú rôzne metódy, vychádzajúce z rozdielnych predpokladov a používajúce rozdielny stupeň zjednodušenia a empirie, takže ich výsledky sú často principiálne neporovnateľné.

Potenciálna evapotranspirácia sa však ukázala ako nie celkom vyhovujúca z hľadiska jej využitia pri optimalizácii vodného režimu rastlinných porastov, hlavne preto, že v jej definícii nie je dost' presne špecifikovaný vyparujúci povrch. To bolo snád' hlavným dôvodom pre vznik koncepcie referenčnej evapotranspirácie s jednoznačne definovaným referenčným porastom. Ďalšou výhodou koncepcie referenčnej evapotranspirácie je takmer všeobecne akceptovaná jednotná metodika jej stanovenia.

Ukazuje sa však, že ani toto nie je ideálnym riešením. Pre praktické využitie v oblasti riadenia závlah predstavuje totiž isté obmedzenie tá skutočnosť, že definícia referenčnej evapotranspirácie sa týka výlučne hustého, zapojeného porastu v pokročilom štádiu svojho vývoja. Takýto referenčný porast má zrejme oveľa vyššie požiadavky na pôdnu vodu než rovnaký druh porastu, ktorý je však riedky a nedostatočne vyvinutý. Prepočet referenčnej evapotranspirácie na aktuálnu evapotranspiráciu konkrétneho porastu je v metodike FAO (Allen a kol., 1998) riešený na úrovni sezónnych chodov pomocou plodínových koeficientov.

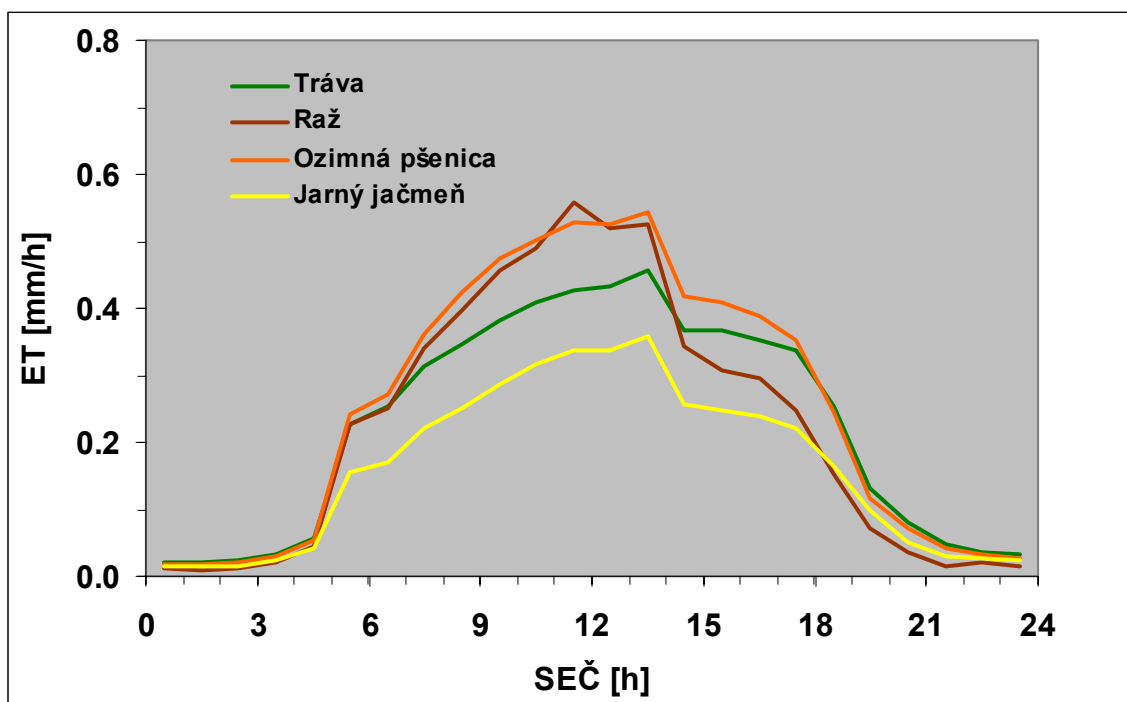
V mnohých prípadoch sú však z hľadiska vodného režimu rastlinných porastov rozhodujúce jednotlivé dni, alebo situácia v poludňajších hodinách dní s extrémnymi evaporačnými požiadavkami ovzdušia. Túto skutočnosť možno ilustrovať na konkrétnom príklade stanovenia denných chodov evapotranspirácie trávy v porovnaní s ďalšími tromi porastami počas vybraného jasného letného dňa. Všetky sledované porasty rástli v jednej lokalite v rovnakých pôdnych podmienkach a v priebehu vybraného dňa boli dostatočne zásobené pôdnou vodou. Pre analýzu dennej dynamiky evapotranspirácie bol v tomto prípade využitý experimentálne verifikovaný matematický model interakčných vzťahov v systéme pôda-porast-atmosféra (Matejka, 1977). Výsledky modelových simulácií poukazujú na značné rozdiely v intenzite evapotranspirácie jednotlivých porastov vyskytujúcich sa hlavne v poludňajších hodinách jasných letných dní (obr. 4).

Aktuálna koncepcia referenčnej evapotranspirácie teda nedostatočne zohľadňuje vplyv biometrických charakteristík porastu, akými sú

napríklad index listovej pokrývnosti, alebo stupeň rozvoja koreňového systému. V súčasnej dobe existuje celý rad experimentálne verifikovaných matematických modelov výmeny tepla a vodnej pary medzi rastlinným porastom a okolitým ovzduším, ktorých výsledky jednoznačne dokazujú nezanedbateľný vplyv biometrických charakteristík porastu na intenzitu evapotranspirácie a môžu byť využité na simuláciu evapotranspirácie konkrétnych porastov v daných pôdných a meteorologických podmienkach. V tejto súvislosti sa v posledných dvoch desaťročiach často kládol dôraz na modelovú simuláciu evapotranspirácie porastu s presne špecifikovanými biometrickými charakteristikami za predpokladu, že je porast dostatočne zásobený pôdnou vodou a obsah vody v pôde teda nie je limitujúcim faktorom pre intenzitu evapotranspirácie. Pre takto chápanú evapotranspiráciu porastu sa v anglicky písanej literatúre zaužívalo označenie „drought-free evapotranspiration“. Takáto koncepcia evapotranspirácie sa v posledných rokoch často využíva

pri stanovení požiadaviek rastlín na zásobenie pôdnou vodou pre daný porast rastúci v konkrétnych environmentálnych podmienkach.

Záverom možno konštatovať, že definícia pojmu potenciálnej evapotranspirácie nešpecifikuje dosť presne vyparujúci povrch, ani podmienky získavania experimentálnych podkladov. Okrem toho, nie je vypracovaná jednotná metodika stanovenia tejto veličiny, čo vedie k značným rozdielom v stanovených hodnotách potenciálnej evapotranspirácie a spôsobuje nedorozumenia pri ich interpretácii. Tieto problémy sa nevyskytujú pri používaní koncepcie referenčnej evapotranspirácie, ktorá je definovaná jednoznačne a všeobecne akceptovaná metodika jej stanovenia je rozpracovaná do najmenších detailov. Je teda celkom opodstatnené, preferovať referenčnú evapotranspiráciu ako štandard pre posudzovanie evaporačných požiadaviek ovzdušia ako aj pri hodnotení vlhovej potreby porastov poľných plodín.



Obr. 4. Denná dynamika evapotranspirácie štyroch porastov, rastúcich v jednej lokalite počas jasného letného dňa.

PodĎakovanie. Autori ďakujú Grantovej agentúre VEGA (projekt č. 2/5006/25) za finančnú podporu pri riešení uvedeného projektu.

Použitá literatúra:

- [1] ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S. RAES, D., SMITH, M., 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. United Nations Food and Agriculture Organization, Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy, 300 p.
- [2] BUDYKO, M.I., 1956: Teplovoj balans zemnoj poverchnosti. Leningrad, Gidrometeoizdat, 255 s.
- [3] BLANEY, H.F. AND CRIDDLE, W.D., 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. USDA Soil Conservation Service Tech. Paper No. 96, 48 p.
- [4] DOORENBOS, J. AND PRUITT, W.O. 1975. Guidelines for predicting crop water requirements, Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 179 p.
- [5] HARGREAVES, G.H., 1974. Estimation of potential and crop evaporation. Trans. ASAE, 17, 701-704.
- [6] HAVLÍK, V., MOŽNÝ, M., 1990: Vliv kapkové závlahy na teplotní režim v porostu kukuřice. Met. zprávy, 43, 42-47.
- [7] IRMAK, S., HAMAN, D.Z., 2003: Evapotranspiration: Potential or Reference? ABE 343, Inst. of Food and Agric. Sci., University of Florida., <http://edis.ifas.ufl.edu>.
- [8] JENSEN, M.E. AND HAISE, H.R., 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. J. Irrig. Drainage Div. ASCE, 89,15-41.
- [9] JENSEN, M.E., BURMAN, R.D. AND ALLEN, R.G. (Editors), 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. Manual and Reports on Engineering Practice No. 70, Am. Soc. Civil Eng., New York, 360 p.
- [10] McKENNEY, M, S., ROSENBERG, N.J., 1993: Sensitivity of some potential evapotranspiration estimation methods to climate change. Agric. and Forest Meteorol., 64, 81-110.
- [11] LECINA S., MARTÍNEZ-COB, A., PÉREZ, P.J., VILLALOBOS, F.J., BASELGA, J.J., 2003: Fixed versus variable bulk canopy resistance for reference evapotranspiration estimation using the Penman–Monteith equation under semiarid conditions. Agric. Water Manage., 60, 181–198.
- [12] MATEJKA, F., 1977: A three layer SVAT model for homogeneous land surfaces. Contrib. Geophys. Inst. of SAS, Ser. Meteorol., Vol. 17, 45-53.
- [13] MONTEITH, J.L., 1965. Evaporation and Environment. 19th Symposia of the Society for Experimental Biology, University Press, Cambridge, 19, 205-234.
- [14] PENMAN, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings of the Royal Society of London, A193: 120-146.
- [15] SMITH, M., ALLEN, G.R., MONTEITH, G.L., PERRIER, A., PEREIRA, L., SEGEREN, A., 1991: Report of the expert consultation on procedures for revision of FAO guidelines for prediction of crop water requirements. UN-FAO, Rome, 54 p.
- [16] THORNTHWAITE, C. W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. Geograph. Rev., 38, 55-94.