

# Srovnání výpočetních metod potenciální evapotranspirace

Tomáš Litschmann

## Úvod

Správné stanovení potenciální evapotranspirace je jedním ze základních úkolů nejen při bilancování zásob vláhy v půdě, a to jak pro potřeby přípravy návrhových podkladů pro závlahové stavby, tak případně i při přímém řízení závlahového režimu. Údaje o časovém a prostorovém rozložení potenciální evapotranspirace jsou důležitými vstupními údaji pro celou řadu projektových studií v lesním a vodním hospodářství, zemědělství, energetice a v ochraně životního a přírodního prostředí (Špánik 1997).

V naší i zahraniční odborné literatuře se lze setkat s nejrůznějšími vztahy používanými k tomuto účelu v nejrůznějších podmínkách. Tyto vztahy uvažují v závislosti na své složitosti s různými meteorologickými veličinami, popřípadě jinými doplňujícími informacemi ohledně charakteru klimatu příslušné lokality. Ne vždy je totiž možno získat údaje potřebných meteorologických veličin potřebné k výpočtu pomocí některé z metod vycházejících z konceptu Penmana, které bývají považovány za nejpřesnější s ohledem na současný stav vědeckého poznání.

Cílem této práce je porovnat hodnoty získané různými způsoby výpočtu potenciální evapotranspirace pro různé lokality v ČR i SR s hodnotami stanovenými pomocí rovnice Penmana – Monteitha v úpravě FAO. Umožní to posouzení vhodnosti aplikace jak metod dříve používaných u nás, tak i jiných, doposud příliš neaplikovaných, popřípadě upozorní na některé jejich nedostatky. Poněvadž ne vždy jsou k dispozici veškeré potřebné veličiny ke stanovení potenciální evapotranspirace Penmanovou metodou, je zapotřebí v takovém případě vybrat z nabízených metod takovou, která poskytuje s daným množstvím informací pokud možno co nejtěsnější shodu ve výsledcích.

## Materiál a metodika

K ověření srovnatelnosti hodnot potenciální evapotranspirace stanovené nejrůznějšími postupy s údaji vypočítané metodou Penmana-Monteitha byly použity meteorologické údaje vybraných meteorologických stanic nalézajících se na území České a Slovenské republiky. Jejich výčet i zpracované období je uvedeno u každého postupu samostatně. Hodnoty potenciální evapotranspirace podle Penmana – Monteitha byly vypočítány podle postupu publikovaném Allenem a kol. (1998).

## Výpočet potenciální evapotranspirace podle Papadakis

Papadakisova metoda byla v minulosti poměrně často používána na pracovištích ČHMÚ, zejména v dobách, kdy možnosti výpočetní techniky byly mírně až velmi omezené. Použil ji m.j. např. i Kott (1992) k výpočtu vláhové bilance na území České republiky v letech 1974 – 1990. Vychází ze vztahu:

$$ETP = 5,625(e_{mx} - e_{mn})$$

kde

ETP – potenciální evapotranspirace [mm.měs<sup>-1</sup>]

$e_{mx}$  – napětí nasycené vodní páry vypočítané z měsíčního průměru maximálních denních teplot vzduchu ve výšce 2 m nad zemí [hPa]

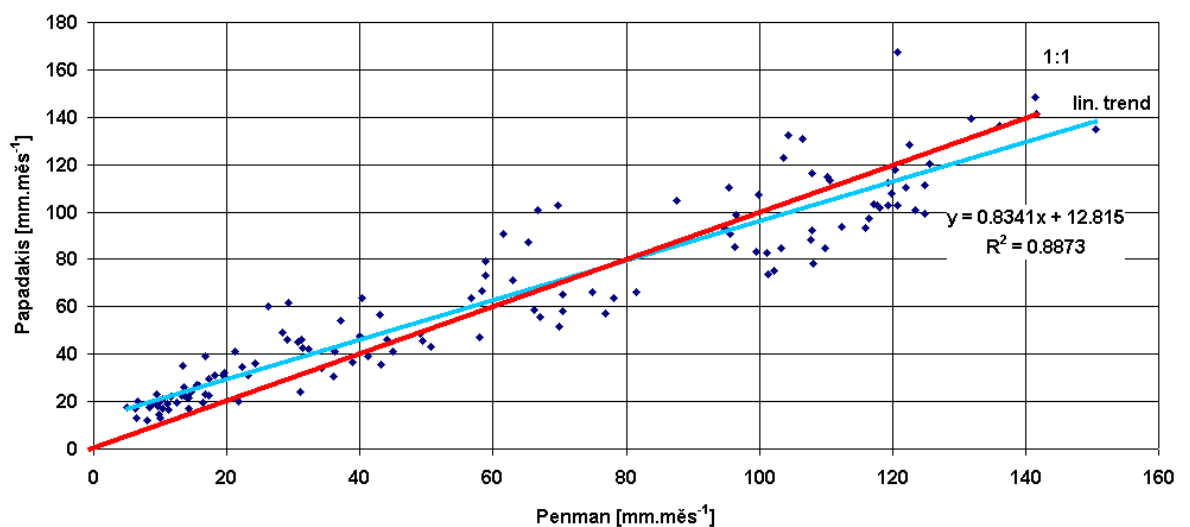
$e_{mn}$  - napětí nasycené vodní páry vypočítané z měsíčního průměru minimálních denních teplot vzduchu ve výšce 2 m, od něhož byly odečteny 2 °C [hPa]

Pro porovnání této metody s metodou Penmanovou jsme použili průměrné měsíční hodnoty maximální a minimální teploty vzduchu za období 1993 – 2003 pro stanici Lednice na Moravě a porovnali s potenciální evapotranspirací vypočítanou metodou Penmana – Monteitha na základě denních hodnot pro stejnou stanici a období.

Jak vyplývá z regresní závislosti znázorněné na obr. 1, jedná se o poněkud volnější vztah s regresní přímkou téměř odpovídající poměru 1:1, přičemž některé body se dosti vzdalují od regresní přímky. Tomu odpovídá i poměrně nízký koeficient determinace.

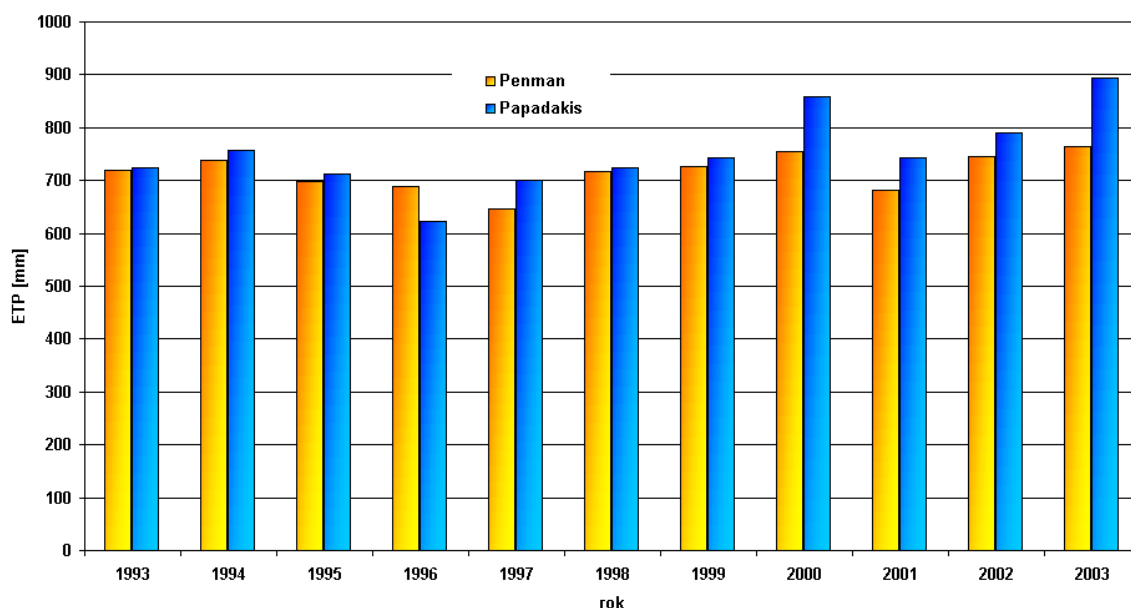
S rostoucí délkou výpočetního období se odchylky většinou vzájemně vykompenzovávají a proto lze předpokládat, že pokud má směrnice regresní přímky hodnotu blízkou jedné, budou se výsledné hodnoty lišit velmi málo. Lze proto pozorovat, že při srovnání ročních hodnot potenciální evapotranspirace, tak jak jsou znázorněny na obr. 2, je zřejmé, že ve většině případů se hodnoty získané oběma metodami příliš neliší, výraznější rozdíly je však možno pozorovat v extrémně teplých letech, jako byly roky 2000 a 2003, přičemž zejména v posledním roce rozdíl přesáhl více než 100 mm ve prospěch Papadakisovy metody.

**Porovnání měsíčních úhrnů potenciální evapotranspirace podle Penmana a Papadakis  
(Lednice na Moravě, 1993-2003)**



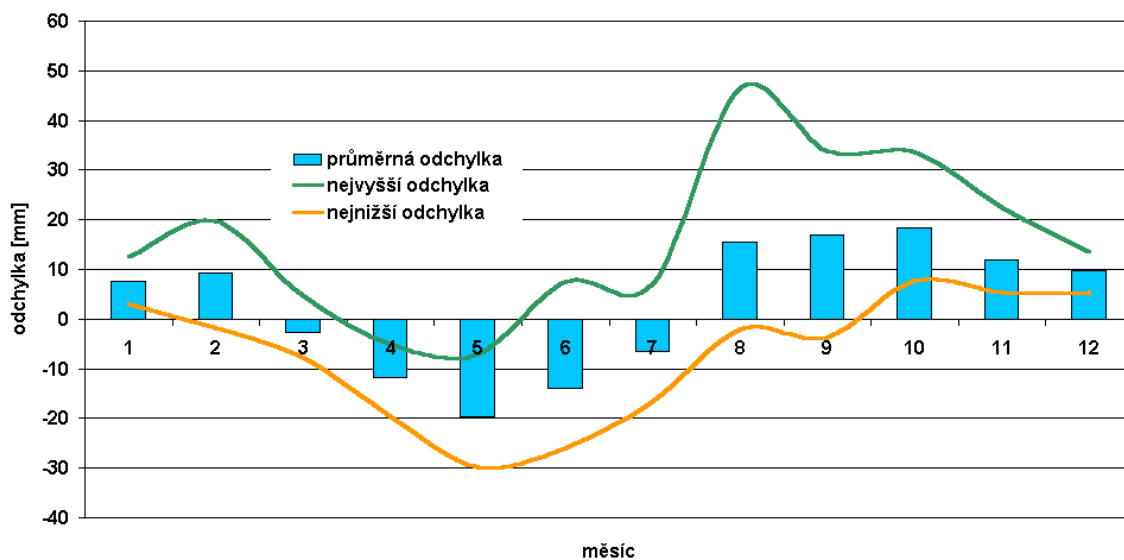
Obr. 1

**Potenciální evapotranspirace v jednotlivých letech pro Lednici na Moravě podle Penmana a Papadakis**



Obr. 2

**Roční chod odchylek mezi ETP podle Penmana a Papadakis pro Lednici za období 1993 - 2003**



Obr. 3

Pokud můžeme považovat v ročních úhrnech a v nepříliš extrémních letech údaje získané oběma metodami za dosti shodné, při bližším pohledu na měsíční hodnoty v průběhu několika let musíme konstatovat u jejich odchylek výrazný roční chod, který zachycuje obr.

3. V měsících od dubna do června jsou údaje podle metody Papadakise nižší než podle Penmana, od srpna začínají převažovat kladné odchylky.

*Papadakisova metoda v letech bez výraznějších anomálií v průběhu povětrnosti dává v ročním úhrnu hodnoty dosti shodné s hodnotami stanovenými podle Penmana – Monteitha, v extrémních letech jsou její údaje poněkud nadsazené. Během jednotlivých měsíců mají odchylky výrazný roční chod, v jarních měsících poskytují podhodnocené údaje, v letních a především pak v podzimních zase naopak nadhodnocené.*

### Výpočet evapotranspirace podle Budyka a Zubenokové

Pravděpodobně nejvíce prací vztahujících se k stanovení evapotranspirace na území Československa a zvláště Slovenska bylo vytvořeno J. Tomlainem, používajícím metodu vypracovanou Budykem a Zubenokovou, (Budyko, M.I., Zubenok, L.I., 1961, cit. podle Tomlain, J., 1965)

Základem je určení potenciální evapotranspirace, aktuální evapotranspirace se potom vypočítá z empirické závislosti mezi tzv. poměrnou evapotranspirací ve tvaru  $E / E_0$  a vlhkostí půdy. Jejich metoda je založena na společném řešení rovnic vodní a energetické bilance, stejně tak na experimentálním zjištění závislosti rychlosti vypařování na vlhkosti půdního pokryvu.

Na základě rovnice přenosu vodních par v přízemní vrstvě atmosféry Budyko navrhl tzv. komplexní metodu výpočtu potenciální evapotranspirace ve tvaru:

$$E_0 = \rho * D * (q_s - q)$$

kde  $E_0$  - potenciální evapotranspirace [mm].

$D$  - součinitel rychlosti turbulentního přenosu mezi úrovní vypařujícího povrchu a úrovní měření v meteorologické budce neboli integrální koeficient difúze [ $m \cdot s^{-1}$ ].

$\rho$  - hustota vzduchu [ $kg \cdot m^{-3}$ ].

$q_s, q$  - měrná vlhkost vzduchu nasyceného vodní párou při teplotě vypařujícího povrchu a měrná vlhkost vzduchu ve výšce 2 m, tj. na úrovni meteorologické budky [ $kg \cdot kg^{-1}$ ].

Komplexní metoda bere v úvahu všechny základní faktory, které mají vliv na výpar. Jak je často uváděno („Z fyzikálního hlediska dobře zdůvodněnou je metoda, kterou rozpracovali a navrhli M.I. Budyko a L.I. Zubenok“ (Tomlain, 1965), „Z fyzikálního hlediska dobře zdůvodněnou je metoda, kterou rozpracovali a navrhli M.I. Budyko a L.I. Zubenoková“ (Tomlain, J., 1979), „Fyzikálne najlepšie zdôvodnenou metódou určovania evapotranspirácie je metoda, ktorú navrhli M. I. Budyko a L.I. Zubenoková“ (Tomlain, J., 1985) „Fyzikálne najlepšie zdôvodnenou metódou určovania evapotranspirácie je metoda, ktorú navrhli M.I. Budyko a L.I. Zubenoková“ (Tomlain, J., 1991), „Popísaný model je veľmi dobre fyzikálne zdôvodnený.“ (Tomlain, J., 1996), „Popísaný model je veľmi dobre fyzikálne zdôvodnený“ (Tomlain, J. a kol. 2002), „Použitý model je veľmi dobre fyzikálne zdôvodnený“ (Škvarenina, J. a kol., 2002)) , jedná se o fyzikálně opodstatněnou metodu, která se osvědčila při výpočtu potenciální, ale též aktuální tzv. "klimatické" evapotranspirace. V roce 1965 byly touto metodou (Tomlain, J., 1965) vypočítány průměrné měsíční hodnoty výparu na 60-ti stanicích rovnoměrně rozložených na území ČSSR, přičemž za základní

materiál použitý pro výpočty sloužily dlouhodobé průměry klimatických charakteristik za období 1926-1960, popř. 1901-1960.

V rámci zpracování Klimatických poměrů Slovenska, publikovaných ve Zborníku prác SHMÚ 33 v roce 1991 zpracoval J. Tomlain údaje o potenciální evapotranspiraci a evapotranspiraci pro 54 stanic na území Slovenska za období 1951 – 1980.

V roce 2002 byla tato metoda použita k analýze modelového výpočtu měsíčních, ročních a sezónních úhrnů potenciální a aktuální evapotranspirace, též však i evapotranspiračního deficitu na 31 stanicích na Slovensku za období 1951 – 2000 (Tomlain, J. a kol. 2002).

Pro porovnání hodnot potenciální evapotranspirace stanovené pomocí metody Penmana – Monteitha (P-M) a podle Budyka – Zubenokové (B-Z) jsme použili vypočítané hodnoty P-M z 17 stanic rozmístěných na území Slovenska za období 1971 – 2000 s doposud publikovanými údaji B-Z za různá období. Přehled stanic a jednotlivé průměrné měsíční hodnoty potenciální evapotranspirace jsou uvedeny v tab. 1. Tento poněkud zvláštní postup je dán tím, že jsme neměli k dispozici potřebné meteorologické údaje za stejné období, jak je však zřejmé, změny mezi jednotlivými obdobími jsou ve většině případů poměrně malé, pouze u Popradu se hodnoty za období 1951-1980 dosti podstatně liší od hodnot za zbývající dvě období.

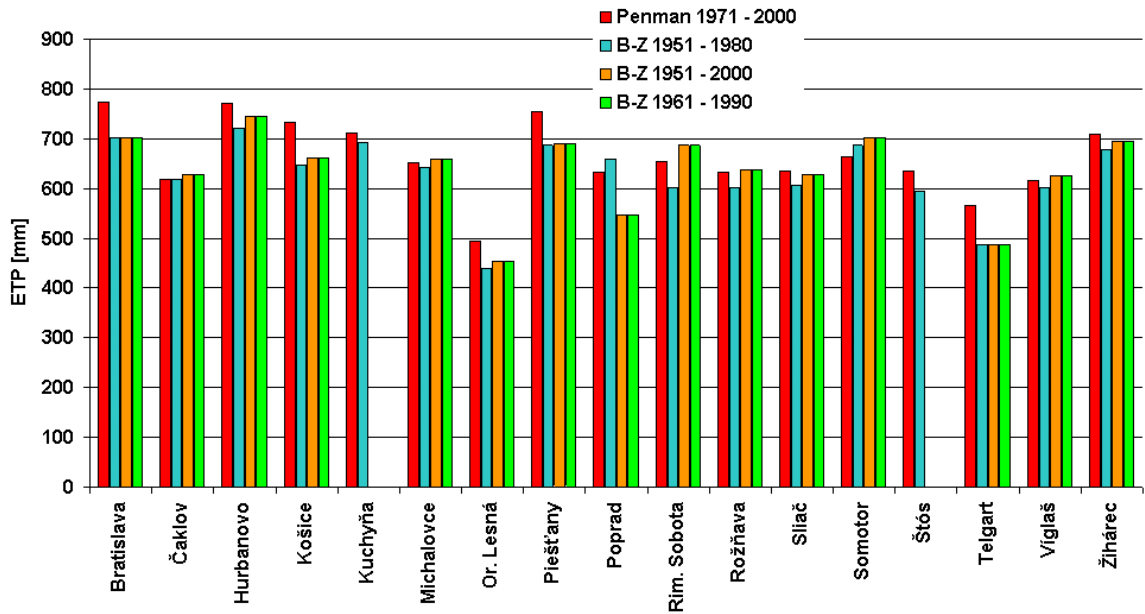
Stanice	P-M 1971–2000 [mm]	B-Z 1951-1980 [mm]	B-Z 1951-2000 [mm]	B-Z 1961-1990 [mm]	Teplota [°C]	Sl. svit [hod.]	Rychlost větru [m.s <sup>-1</sup> ]
Bratislava	773	701	701	697	10.2	1843	3.2
Čaklov	619	619	627		8.7	1520	2
Hurbanovo	771	720	744	750	10.3	1918	2.9
Košice	734	648	661	654	8.8	1753	3.5
Kuchyňa	711	692		670	9.5	1822	2.4
Michalovce	652	641	658		9.3	1615	2.1
Or. Lesná	495	439	453	450	5	1394	1.5
Piešťany	754	688	691	691	9.4	1835	3.1
Poprad	632	659	546	551	6.1	1785	3.6
Rim. Sobota	654	601	688	680	9.1	1734	1.7
Rožňava	632	602	637	640	8.5	1618	1.8
Sliac	636	606	629	625	8.3	1712	1.6
Somotor	664	687	703	705	9.6	1672	1.9
Štós	635	594			7.6	1563	2.7
Telgárt	566	487	486	483	5	1699	3.7
Víglaš	617	602	626	626	7.8	1664	1.7
Žihárec	710	677	694		9.8	1864	2.7

Tab. 1

Přehlednější grafické znázornění těchto hodnot je uvedeno na obr. 4. Pro většinu lokalit je patrná dobrá shoda obou způsobů stanovení potenciální evapotranspirace, jsou však stanice, u nichž vycházejí vypočítané hodnoty podle P-M výrazně vyšší než podle B-Z. Jedná se především o stanice Bratislava, Košice, Piešťany a Telgárt. Jak je vidět z tab. 1, jsou to především stanice s vyššími průměrnými rychlostmi větru, přesahující 3 m.s<sup>-1</sup>, u nichž jsou

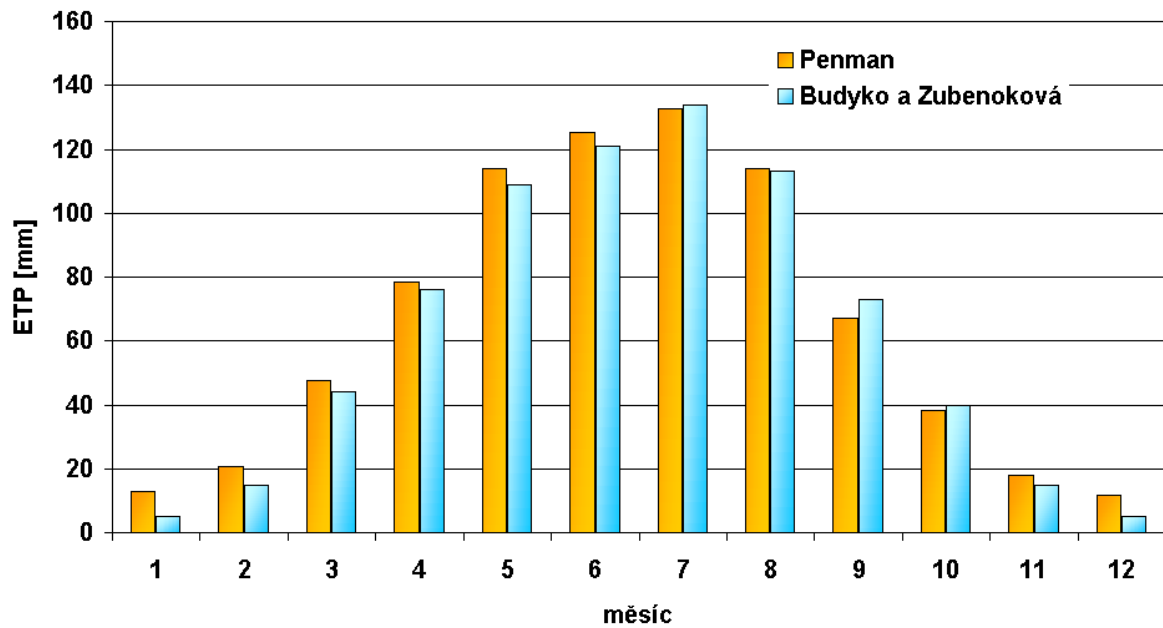
tyto odchylky nejvyšší. Tato závislost je však pouze orientační a množství dostupných údajů neumožňuje stanovit exaktnější závislosti.

**Potenciální evapotranspirace podle Penmana a Budyka se Zubenokovou**



Obr. 4

**Roční chod ETP podle Penmana a B-Z v Hurbanově**



Obr. 5

Pokud jde o srovnání ročního chodu vypočítaných měsíčních hodnot potenciální evapotranspirace, jak jsou znázorněny na obr. 5, je zde poměrně dobrá shoda v průběhu celého roku.

*Dá se proto konstatovat, že metoda používaná J. Tomlainem v dlouhodobém průměru dává ve většině případů výsledky shodné s metodou Penmana – Monteitha, přičemž vyžaduje menší množství údajů. Rozdělení odchylek v průběhu roku je obdobné jako u metody Papadakise, jejich velikost je však výrazně nižší. Je zajímavou skutečností, že ve světové literatuře se s touto metodou již prakticky nelze setkat, většinou jsou preferovány jiné metody.*

### Výpočet evapotranspirace podle Thornthwaita

Při výpočtu evapotranspirace vychází Thornthwaite pouze z průměrné měsíční teploty vzduchu, díky čemuž je jeho metoda velmi často používána, např. při výpočtu Palmerova indexu závažnosti sucha (PDSI), anebo při studiích dlouhodobějšího kolísání hodnot potenciální evapotranspirace, kdy dostupné časové řady meteorologických údajů obsahují pouze hodnoty teploty vzduchu. Rovnice pro výpočet, tak jak ji např. uvádí Palutikof a kol. (1994), má tvar:

$$ETP = 1,6(10t/I)^a \quad [\text{cm.měs}^{-1}]$$

kde

t – průměrná měsíční teplota

$$I = \sum_1^{12} (T_i / 5)^{1,51}$$

$T_i$  – dlouhodobá průměrná teplota vzduchu v i-tém měsíci v roce

$$a = (0,675 \times 10^{-6})I^3 + (77,11 \times 10^{-6})I^2 + (17,921 \times 10^{-3})I + 0,49239$$

Mezi nevýhody této metody patří skutečnost, že v případech, kdy je průměrná měsíční teplota vzduchu v daném měsíci menší anebo rovná nule, přiřazuje se nulová hodnota i potenciální evapotranspiraci.

Mintz a Walker (1993) linearizovali původní Thornthwaitovu rovnici do vztahu:

$$ETP = 0.17 * (n_{\max} / 12) * T_m$$

kde

ETP – potenciální evapotranspirace [ $\text{mm.den}^{-1}$ ]

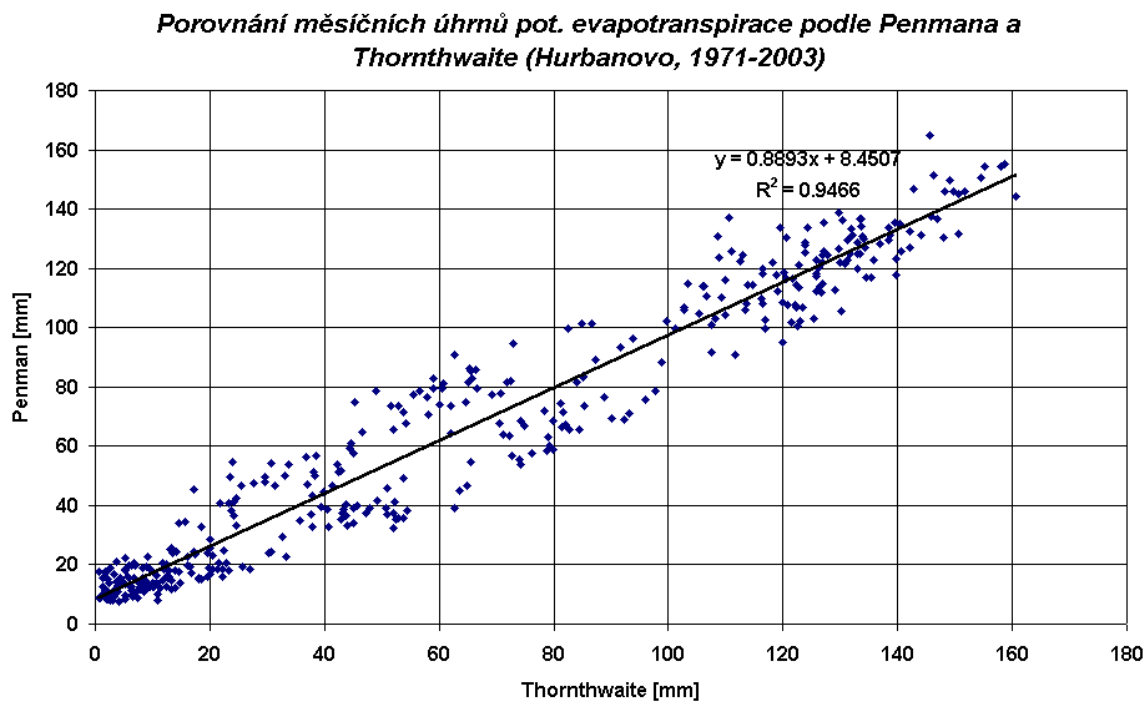
$n_{\max}$  – astronomicky možná délka slunečního svitu [hod]

$T_m$  – průměrná denní teplota vzduchu [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Tím je umožněno počítat potenciální evapotranspiraci pro jednotlivé dny, v případě záporných teplot vzduchu se rovná potenciální evapotranspirace nule.

Provedli jsme výpočet takto definované ETP pro jednotlivé dny v Hurbanově za období 1971 – 2003 a porovnali s hodnotami stanovenými metodou P-M. Při vzájemné korelaci denních hodnot vykazují jednotlivé odchylky poměrně značný rozptyl a dostáváme poměrně nízký koeficient determinace ( $R^2 = 0,84$ ), při zpracování měsíčních údajů, tak jak původně předpokládal Thornthwaite, je již tato závislost těsnější a můžeme ji sledovat na obr. 6.

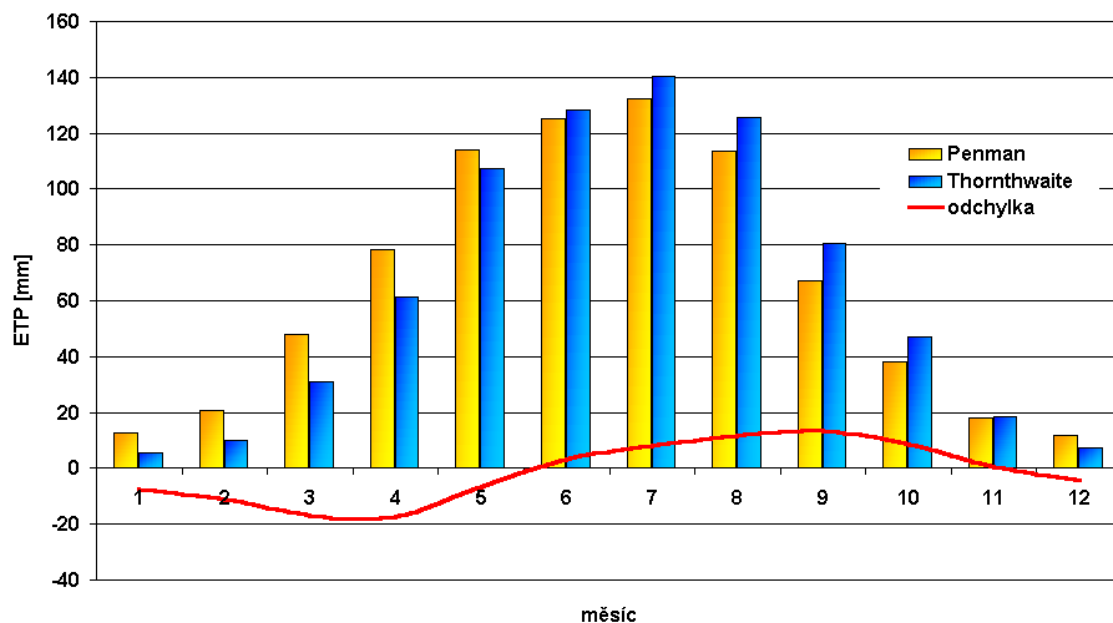
V ročním chodu dosahují odchylky největších hodnot v jarních měsících, v letních měsících, kdy je zapotřebí mít co nejpřesnější hodnoty, je poměrně dobrá shoda mezi oběma metodami (viz. obr. 7). Pokud jde o srovnání potenciální evapotranspirace v jednotlivých letech, dosahují odchylky většinou poměrně nízkých hodnot, jak je patrné z obr. 8. Pouze v letech 1973 a 2003 byly poněkud větší, nepřesáhly však hodnoty 100 mm.



Obr. 6

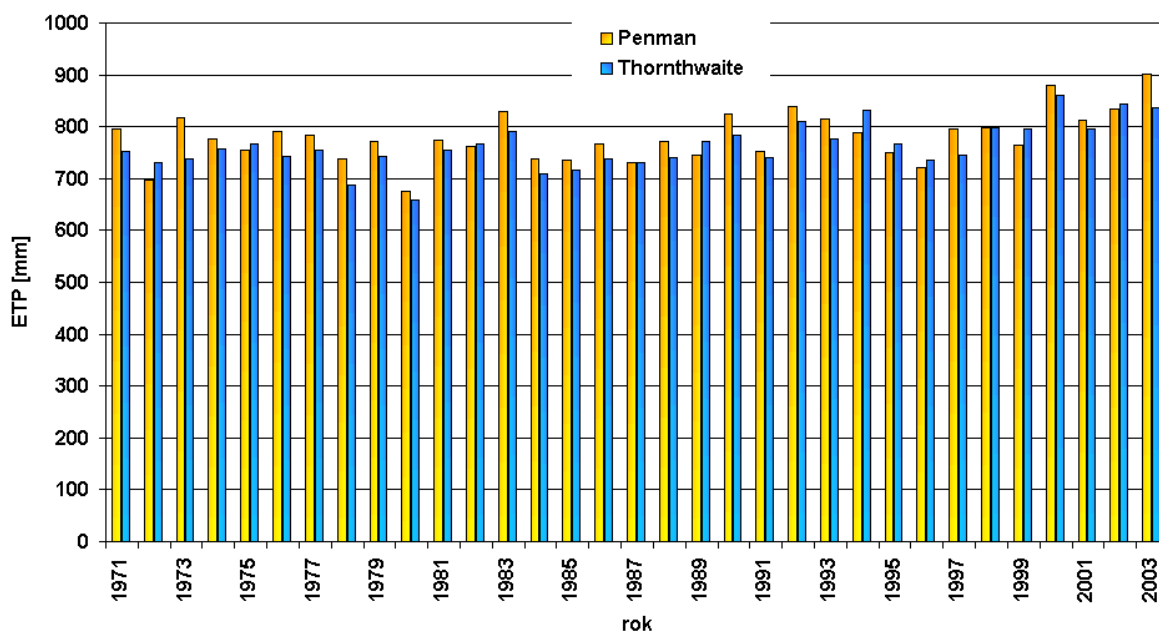


### Roční chod ETP podle Penmana a Thornthwaite v Hurbanově



Obr. 7

### Porovnání ročních hodnot podle Penmana a Thornthwaite pro Hurbanovo



Obr. 8

### Stanovení potenciální evapotranspirace na základě sytostního doplňku

Sytostní doplněk býval v minulosti velmi často používán jako míra výsušnosti atmosféry a jako prostředek ke stanovení vláhové potřeby plodin. Již v roce 1962 publikuje

Farský podrobnější příspěvek, v němž se zabývá nedostatky použití transpiračních koeficientů při výpočtu vláhových potřeb vody a po přehledu několika dalších metod výpočtu konstatuje „Z uvedeného rozboru a jeho preverenia v našich podmienkach možno vyvodit' záver, že v našej projekcii treba definitívne ustúpiť od výpočtu potreby vody z transpiračných koeficientov a v plnom rozsahu využiť zistené vzťahy medzi spotrebou vody a sýtosným doplnkom.“ Doporučuje používať vzťah

$$E = 0,75D$$

kde

E – celková vláhová potreba

D – součet sytostních doplňků za celé vegetační období

Tento poměrně jednoduchý vztah nenáročný na výpočetní techniku se stal v dalších letech základem dalšího bádání především pak autorů Pýchy a Slámy, kteří místo výše uvedeného koeficientu 0,75 stanovili na základě polních pokusů tzv. „koeficienty biologické křivky“ pro jednotlivé vegetační fáze základních plodin. Postup stanovení koeficientů biologických křivek pro kukuřici na siláž popisuje např. Sláma (1972), pro kukuřici na zrno Pýcha (1967), pro rané brambory Pýcha (1965), pro cukrovku Sláma (1967). Vždy se jednalo o mnohaleté pokusy v přesných závlahových podmínkách. V sedmdesátých a počátkem osmdesátých let byla metoda „koeficientů biologické křivky“ použita k výpočtům hodnot vláhové potřeby, vstupujících do rovnice vláhové bilance v retrospektivní metodě, pomocí níž byly stanovena závlahová množství jednotlivých plodin pro hlavní oblasti bývalého Československa. Takto stanovené hodnoty jsou stále ještě součástí ČSN 75 0434.

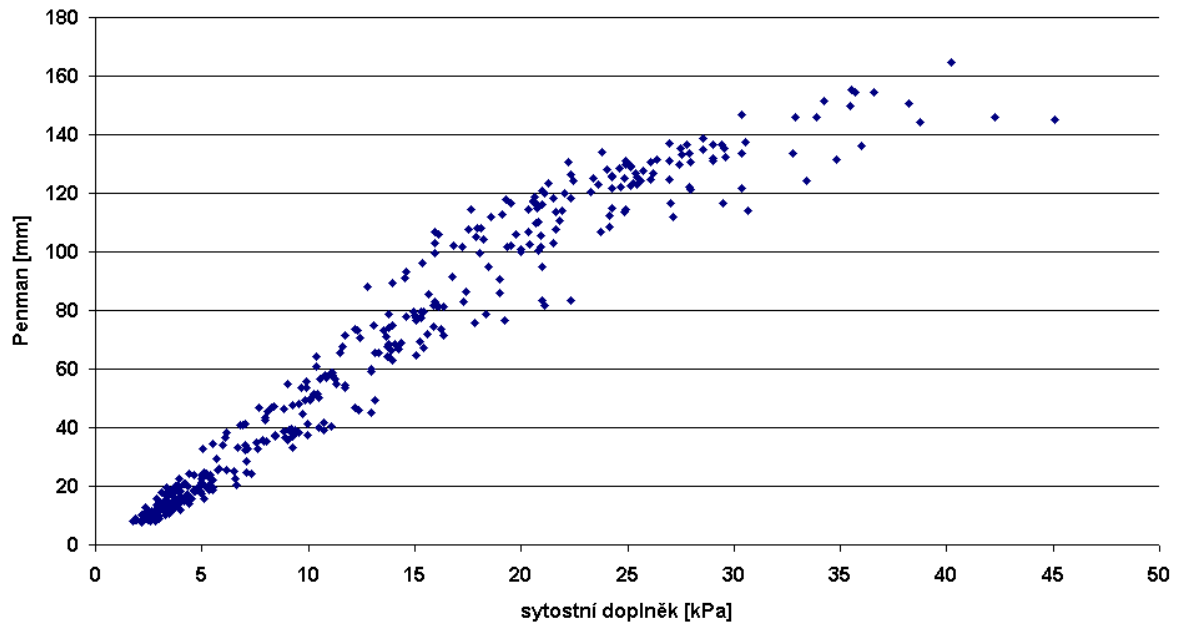
Brežný (1977) použil koeficientů biologických křivek pro předpověď potřeby závlahy sedmi polních plodin. Na základě údajů meteorologických stanic (teplota, srážky, sytostní doplněk) se v týdenních intervalech stanovoval deficit vody v půdě, závlahová dávka a počet dní do závlahy jednotlivých plodin v závlahových oblastech Slovenska.

Při ověřování závislosti mezi sytostním doplňkem a pot. evapotranspirací podle Penmana–Monteitha jsme použili jejich měsíční úhrny pro stanici Hurbanovo za období 1971 – 2003. Z obr. 9 je zřejmé, že jejich závislost je lineární přibližně do velikosti měs. úhrnu potenciální evapotranspirace 150 mm, se zvyšující se hodnotou sytostního doplňku již hodnota pot. evapotranspirace neroste. Pro stanovení lineární regresní závislosti jsme proto použili pouze hodnoty do velikosti 35 kPa. Takto přepočítané hodnoty jsou zachyceny na obr. 10. Koeficient determinace je poměrně těsný a příliš se neliší od hodnoty stanovené u Thornthwaitovy metody.

Odchyšky v ročním chodu jsou opět nejvyšší v květnu a červnu, kdy dosahují záporných hodnot, v červenci jsou nulové a v následujících měsících jsou mírně kladné (viz. obr. 11).

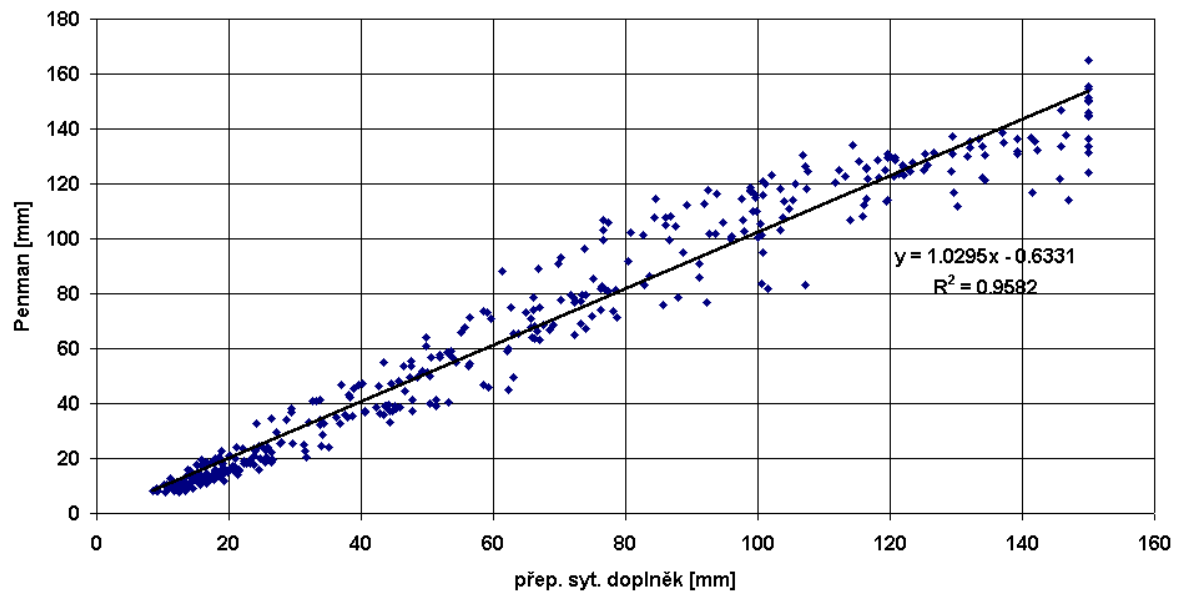
Variabilita ročních odchylek obou způsobů stanovení potenciální evapotranspirace, tak jak je znázorněná na obr. 12, je obdobná jako v předcházejících případech, pouze v roce 1972 dosahuje rozdíl více než 100 mm.

**Porovnání měsíčních úhrnů pot. evapotranspirace podle Penmana a sytostního doplněku (Hurbanovo, 1971-2003)**



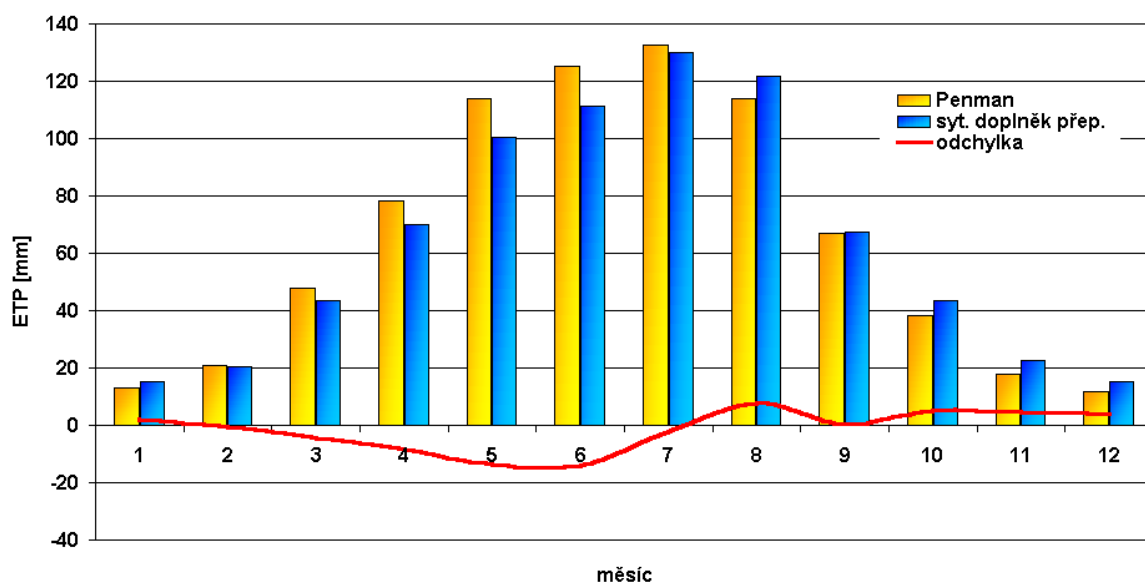
Obr. 9

**Porovnání měsíčních úhrnů pot. evapotranspirace podle Penmana a vypočítané ze sytostního doplněku (Hurbanovo, 1971-2003)**



Obr. 10

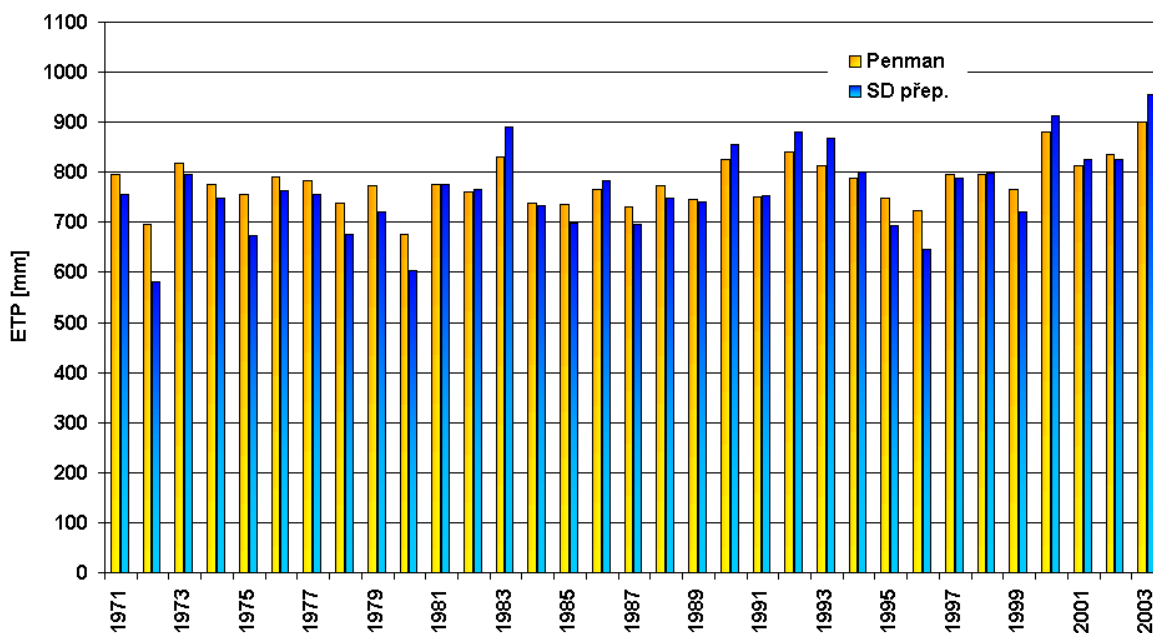
**Roční chod ETP podle Penmana a přepočítaného sytostního doplňku v  
Hurbanově**



Obr. 11

*Při tomto hodnocení jsme nemohli vycházet přímo z již určeného vztahu mezi potenciální evapotranspirací a sytostním doplňkem, poněvadž většina autorů stanovila pouze závislost mezi sytostním doplňkem a vláhovou potřebou plodin. Námí vypočítaný regresní vztah ukazuje, že lze použít hodnoty sytostního doplňku za delší období ke stanovení potenciální evapotranspirace s dostatečnou přesností, které je na úrovni ostatních zpracovaných metod.*

**Porovnání ročních hodnot podle Penmana a přepočítaného syt. doplňku  
pro Hurbanovo**



Obr. 12

#### Závěr:

Je velmi obtížné stanovit, která metoda výpočtu potenciální evapotranspirace na základě empirických vzorců je nejpřesnější, vždy je zapotřebí vycházet z dostupnosti vhodných meteorologických podkladů a cíle a účelu výpočtu. Pokud vyjdeme z předpokladu, že nejpřesnější hodnoty poskytuje rovnice podle Penmana – Monteitha, nejsou vzácností odchylky ostatních metod v některých jednotlivých měsících  $\pm 20$  mm, v dlouhodobějších průměrech se tyto odchylky většinou vzájemně kompenzují. Ne bez zajímavosti jsou velikosti odchylek v ročním chodu, v jarních měsících většinou bývají údaje z empirických rovnic většinou podhodnocené, ve zbývajících nadhodnocené, přičemž velikost odchylek se liší v závislosti na použité metodě.

Potenciální evapotranspirace vyjadřuje schopnost atmosféry odnímat vodu z rostlinného krytu, popřípadě z půdního povrchu. Jelikož se v případě transpirace nejedná pouze o proces fyzikální, avšak uplatňují se zde i vlivy fyziologické, mohou proto podstatně větší odchylky oproti skutečnosti vzniknout při transformaci hodnot potenciální evapotranspirace do vlastní vláhové potřeby konkrétního porostu, kde je zapotřebí počítat s mnoha faktory, jejichž zevšeobecnění je dosti problematické.

#### Literatura:

1. Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M.: Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, 301 p. Roma 1998
2. Benetin, J. a kol.: Závlahy. Příroda, I. vydání, Bratislava 1979, 544 s.
3. Brežný, O.: Predpoveď potreby zavlažovania na základe meteorologických faktorov pomocou počítača. Vedecké práce Výskumného ústavu závlahového hospodárstva v Bratislave, 12, 1977, s. 73 – 79
4. Budyko, M.I., Zubenok, L.I.: Opredelenije isparenija s poverchnosti suši. Izv. AN SSSR, ser. geogr. No. 6, 1961
5. ČSN 750434 Potřeba vody pro doplňkovou závlahu. Český normalizační institut, 1993, 32 s.
6. Dorenbos, J., Pruitt, W.O.: Crop water requirements – Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 24, FAO, Rome, 1984, ISBN 92-5-100279-7
7. Farský, I.: Príspevok k riešeniu problému vlhovej potreby poľnohospodárskych plodín. Vedecké práce Výskumného ústavu závlahového hospodárstva v Bratislave, Vydavateľství SAV, Bratislava, 1962, s. 5 – 36
8. Jůva, K., Cablík, J.: Spotřeba závlahové vody. Věstník čs. akademie zemědělské, roč. XXV, Praha, 1951, s. 172-178.
9. Kohut, M.: Vybrané metody výpočtu evaporatione a evapotranspirace. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed): Seminář „Mikroklima porostů“, Brno, 26. března 2003, ISBN 80-86690\_05-9, str. 172-186
10. Kott, I.: Vláhová bilance na území České republiky v letech 1974 – 1990. Sborník prací ČHMÚ, sv. 42, 1992, 125 s.
11. Matejka, F., Rožnovský, J., Hortalová, T., Kohut, M.: Atmosférické sucho na začiatku tretieho tisícročia. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed): Seminář „Extrémy počasí a podnebí“, Brno, 11. března 2004, ISBN 80-86690-12-1

12. Novák V.: Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovanie. SAV, Bratislava, 1995, 257 str., ISBN 80-224-0409-8
13. Novák, V., Hurtalová, T., Matejka, F.: Sensitivity analysis of the Penman type equation for calculation of potential evapotranspiration. J. Hydrol. Hydromech., 45, 1997, 3, s.173-186
14. Novák, V.: Evapotranspiration and its Distribution over Slovakia. Život. Prostr., Vol. 35, 2001, No. 3, 133,
15. Mintz, Y., and Walker, G.K.: Global fields of soil moisture and land surface evapotranspiration derived from observed precipitation and surface air temperatures. Journ. Appl. Meteor., 32., 1993, p. 1305-1334
16. Palutikov, J. P., Goodess, C. M., Guo, X.: Climate change, potential evapotranspiration and moisture availability in the mediterranean basin. International journal of climatology, Vol. 14, 1994, s. 853 – 869
17. Pýcha, M.: Výzkum evapotranspirace zemědělských plodin v Polabí. In: Závlahy v procese zefektivňovania poľnohospodárskej výroby. Zborník prednášok zo sympózia pri príležitosti 25. výročia VÚZH Bratislava. Dom techniky ČSVTS Banská Bystrica, 1984, s. 101-106
18. Pýcha, M.: Výzkum biologické křivky vláhové potreby kukuřice na zrnó. Vedecké práce Výskumného ústavu závlahového hospodárstva v Bratislave, 4, 1967, s. 261 – 298
19. Pýcha, M.: Výzkum vláhové potreby raných brambor. Vedecké práce Výskumného ústavu závlahového hospodárstva v Bratislave, 3, 1965, s. 200 – 235
20. Reichrt, J.: Porovnanie niektorých metód výpočtu potenciálnej evapotranspirácie. Vedecké práce Výskumného ústavu závlahového hospodárstva v Bratislave, 19, 1990, s. 183 - 192
21. Spitz, P.: Výpočet režimu závlahy sadů a vinic retrospektivní vláhovou bilancí na počítači. Vedecké práce Výskumného ústavu závlahového hospodárstva v Bratislave, 14, 1978, s. 191 – 200
22. Sláma, V.: Evapotranspirace a závlahový režim silážní kukuřice. Vedecké práce Výskumného ústavu závlahového hospodárstva v Bratislave, 9, 1972, s. 179 – 212
23. Sláma, V.: Výzkum vláhové potreby cukrovky. Vedecké práce Výskumného ústavu závlahového hospodárstva v Bratislave, 5, 1967, s. 143 – 176
24. Škvarenina, J., Tomlain, J., Křižová, E.: Klimatická vodní bilance vegetačních stupňů na Slovensku. Meteorologické zprávy, 55, 2002, s. 103 – 109.
25. Špánik, F. a kol.: Aplikovaná agrometeorológia. SPU Nitra, 1997, ISBN 80-7137-421-0
26. Tomlain, J.: K charakteristike suchých a vlhkých oblastí ČSSR. Meteorologické zprávy, 31, 1978, s. 185-189
27. Tomlain, J.: Metódy určovania potenciálneho a skutočného výparu z povrchu pôdy. Meteorologické zprávy, 32, 1979, s. 40 – 45
28. Tomlain, J.: Mapové spracovanie evapotranspirácie na území SSR za obdobie 1951 – 1980. Meteorologické zprávy, 38, 1985, s. 140 - 145
29. Tomlain, J.: Priestorové a časové rozloženie výparu z povrchu pôdy na území ČSSR. Geografický časopis, roč. XVII, č. 3, Bratislava 1965, s. 240 – 253
30. Tomlain, J.: Důsledky očekávanéj klimatickej zmeny na zmeny potenciálnej a skutočnej evapotranspirácie na Slovensku. In.: Rožnovský, J., Litschmann, T. (ed.): XII. Česko-slovenská bioklimatologická konferencie, Velké Bílovice, 1996
31. Tomlain, J., Špánik, F., Valšíková, M.: Priemerné a extrémne úhrny potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie na území Slovenska za obdobie 1951-2000. SBkS SAV a SPU Nitra, Bratislava, Nitra, 2002, 59 s.

32. Tomlain, J.: Výpar z povrchu pôdy a rastlín. Zborník prác SHMÚ, No. 33, ALFA Bratislava 1991, s. 163 – 166, ISBN 80-05-00888-0
33. Úlehla J.: Závlahové režimy a počasí. Metodika ÚVTIZ, 41 str., Hrušovany u Brna 1982 .
34. Zdražil, K.: Výpočet potreby závlahy retrospektivní vláhovou bilancí na počítači. Habilitační práce, Brno 1969, 115 s.
35. Zdražil, K.: Zpřesnění metody výpočtu režimu závlah retrospektivní vláhovou bilancí na počítači. Dílčí závěrečná zpráva, M-O-5, etapa 02. Brno, 1973, 52 s.
36. Zdražil, K.: Prognóza potřeb závlahové vody podle retrospektivní bilance. Vodní hospodářství, 4/1981 – řada A, s. 111-112, Praha, SZN 1981