

Výpočet výparu z volné zastíněné vodní hladiny

Calculation of evaporation from free shaded water surface

Karel Matějka

IDS, Na Komořsku 2175/2a, 143 00 Praha 4; matejka@infodatasys.cz

Abstract

The evaporation of water from the free water surface is influenced by many factors, the most important of which are air temperature (T), relative humidity (H) and wind speed (w). The first two variables define the water saturation complement (D ; eq. 2). Data from the Rudolfov meteorological station near České Budějovice (southern Bohemia) were used to derive the relationship between these variables and evaporation. Evaporation (ϵ) was determined by the weight method. The evaporation index I (eq. 1) was calculated from the measured weather characteristics. The determination index r^2 for the polynomial relationship (eq. 5) between I and ϵ reached 0.976 for 230 measured value pairs.

Keywords: drought; Rudolfov; temperature; water saturation complement; wind

Častým tématem ekologických, klimatologických i jiných studií je sucho (BLINKA 2005; FIALA 2006; MOŽNÝ 2006; KVĚTOŇ ET VALTER 2008; TREML 2011; POTOP ET AL. 2011, 2012; BRÁZDIL ET TRNKA 2015; CRHOVÁ ET AL. 2016; ŠERCL ET PECHA 2019). Sucho je jedním z hlavních stresových faktorů pro lesní ekosystémy, v nichž vede k oslabení rezistence stromů a k inicializaci gradace škůdců a patogenů (např. HLÁSNÝ ET AL. 2011, 2021; ALTMAN ET AL. 2017; CIENCIALA ET AL. 2017; HAIS ET AL. 2019). Ovlivňuje však i zcela odlišné ekosystémy, v nichž působí jako disturbanční faktor (např. FISCHER ET AL. 2020). Sucho je jev, který je chápán jako stav, kdy ztráty vody v systému jsou větší, nežli je přísun vody do systému. Tím systémem může být jeden určitý ekosystém nebo krajina, respektive krajinný segment (nejlépe ve smyslu ZLATNÍK 1976). V klimatologii bývá sucho definováno jednoduše na základě nějakého srážkového indexu (MATĚJKA 2014; ŠERCL ET PECHA 2019) nebo jako rozdíl mezi evapotranspirací a srážkovým úhrnem v nějakém období (POTOP ET AL. 2012). Mimo evapotranspirace může být použita i pouhá evaporace (výpar). Výpočty evapotranspirace jsou totiž vždy pouhým přiblížením, a to i vzhledem ke skutečnosti, že většinou neuvažují charakter vegetačního krytu (DAVIS 2006). Jiný přístup reprezentuje definice sucha jako jevu se sníženou dostupností vody pro rostliny v půdě (ŘEHOŘ ET AL. 2021).

Výpar vody je složitý proces, který je ovlivněn mnoha faktory, které modulují předávání energie mezi ovzduším a vodním zásobníkem. Důležitá je zvláště teplota vody u vodní hladiny a sluneční záření dopadající na vodní hladinu. Byly vyvinuty i různé typy výparoměrů (např. MOŽNÝ 2003). V případě zastíněné vodní hladiny můžeme sluneční záření z úvah eliminovat. Má-li vodní zásobník pouze malý objem, můžeme předpokládat, že teplota vody odpovídá teplotě vzduchu (přesněji řečeno je v rovnováze s teplotou vzduchu, protože je

snížena v důsledku odváděného tepla výparného). Základními veličinami pro odhad výparu z volné zastíněné vodní hladiny tedy jsou

T - teplota vzduchu ve °C
 H - relativní vlhkost vzduchu v %
 w - rychlost větru v m s⁻¹

Pro odvození vztahu mezi těmito proměnnými a výparem byla použita data shromážděná na meteorologické stanici Rudolfov u Českých Budějovic (MATĚJKA 2021). Na této stanici bylo prováděno měření výparu vázkovou metodou od září 2018. Výpar byl měřen v klasické meteorologické budce pomocí nádoby (váženky) s výparnou plochou 25.38 cm². Doba expozice pro výpar byla v závislosti na ročním období a počasí 1 až 7 dnů. Jako médium byla použita destilovaná voda.

Index výparu (I) je počítán v rozmezí časů t_0 a t_1 (zpravidla pro období jednoho dne až několika dnů)

$$I = \int_{t_0}^{t_1} D \sqrt{w} dt \quad (1)$$

kde sytostní doplněk (D) je počítán podle vztahu

$$D = (1-H/100) \times c \times E / (T+t_{K0}) \quad (2)$$

kde konstanta $c=216.674$ odpovídá plynové konstantě pro vodní páru ($R=461.522 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$). Konstanta $t_{K0} = 273.16$ slouží pro přepočet na absolutní teplotu v K.

Maximální napětí vodní páry (E v hPa) je počítáno podle práce KNOZOVÁ ET ROŽNOVSKÝ (2005):

$$E = \exp_{10}(10.79574*(1-1/c_t) - 5.028*\log_{10}(c_t) + 0.000150475*(1-\exp_{10}(-8.2969*(c_t-1))) + 0.00042873*(\exp_{10}(4.76955*(1-1/c_t))-1) + 0.78614) \text{ pro } T \geq 0 \quad (3a)$$

$$E = \exp_{10}(-9.09685*(1/c_t-1) + 3.56654*\log_{10}(c_t) + 0.87682*(1-c_t) + 0.78614) \text{ pro } T < 0 \quad (4b)$$

$$c_t = (T+t_{K0})/t_{K0}$$

Vztah mezi výparem (ε v mm) indexem výparu (I) je počítán na základě polynomické regrese metodou nejmenších čtverců

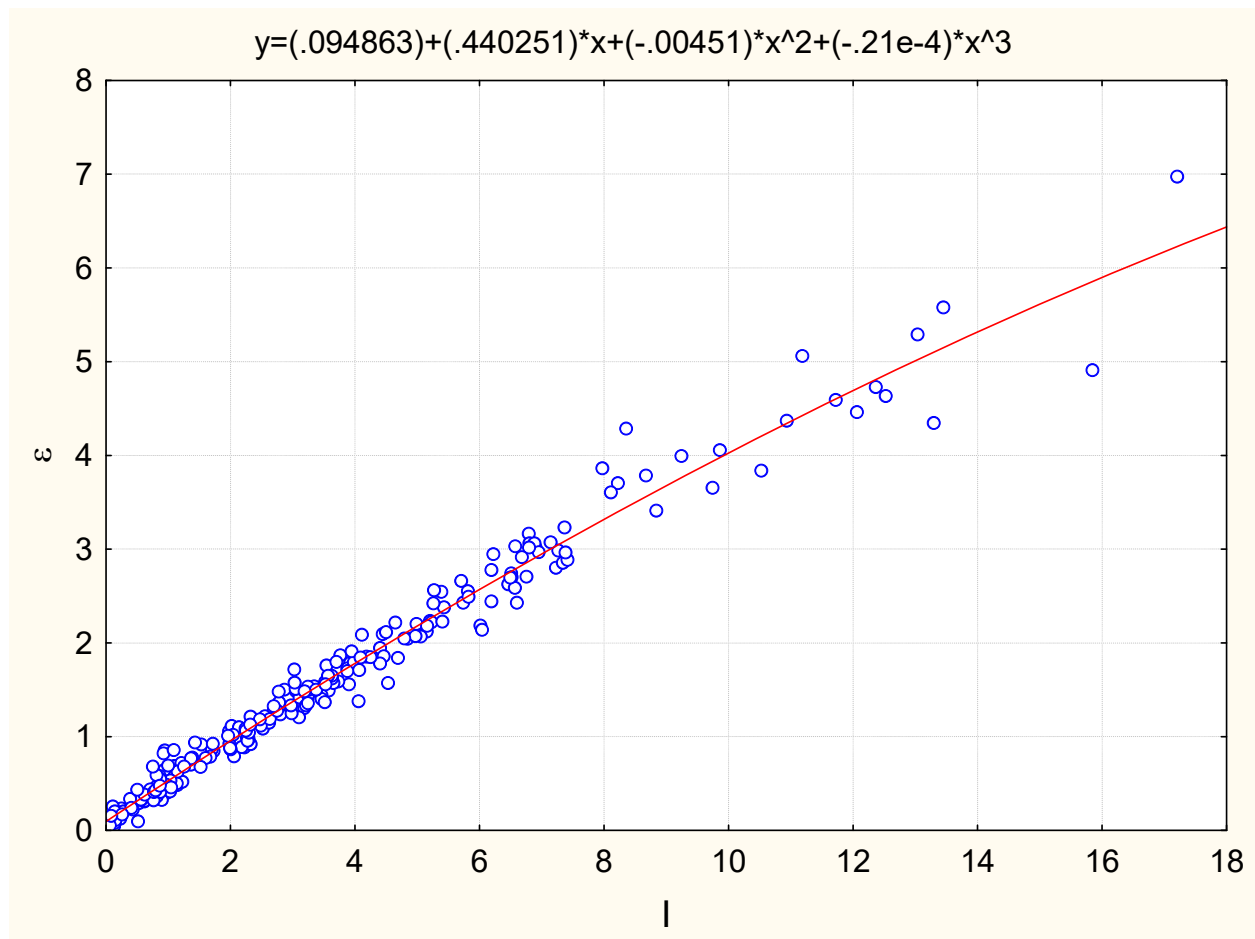
$$\varepsilon = a_0 + a_1 I + a_2 I^2 + a_3 I^3 \quad (5)$$

Pro sérii 230 měřených hodnot v průběhu let 2018-2021¹ na stanici Rudolfov vychází koeficienty

$$\begin{aligned} a_0 &= 0.09486 \\ a_1 &= 0.44025 \\ a_2 &= -0.0045094 \\ a_3 &= -0.000020529 \end{aligned}$$

index determinace $r^2 = 0.9763$ (obr. 1).

¹ Na základě dat v rozmezí 26.9.2018 až 18.7.2021



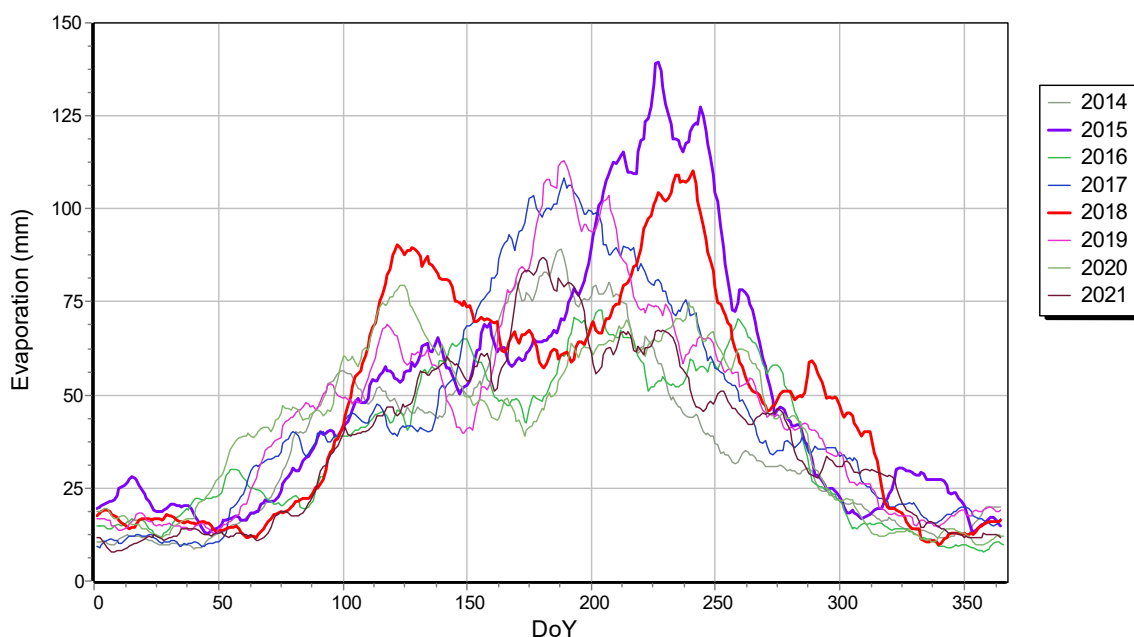
Obr. 1. Vztah mezi indexem výparu (I) a výparem z volné zastíněné vodní hladiny (ε). Jednotlivé hodnoty přepočteny na časový interval 24 hodin.

Relationship between evaporation index (I) and evaporation from free shaded water surface (ε). Individual values recalculated to an interval of 24 hours.

Odhad ročního výparu z volné zastíněné vodní hladiny počítaný pro stanici Rudolfov podle výše uvedeného postupu vychází v letech 2015 – 2021 na 73 % ve srovnání s evapotranspirací (ET) počítanou podle metodiky firmy DAVIS (2006) (Tabulka 1). Nejvyšší celkový roční výpar byl zaznamenán v roce 2015, druhá nejvyšší hodnota byla nalezena pro rok 2018, přičemž oba roky patřily k výrazně extrémním letům s pozorovaným silným suchem. Výše výparu v průběhu jednotlivých let se značně liší v závislosti na počasí (obr. 2). Extrémně vysoké hodnoty byly zjištěny v roce 2015, vysoký výpar v létě byl pozorován rovněž v letech 2017 a 2019. Zajímavá situace byla pozorována v roce 2018, kdy vysoký výpar byl pozorován od konce dubna, následně se hodnoty výparu snížily, aby v období srpna opět výrazně vzrostly. Maximální hodnota jednodenního výparu ve výši 7.78 mm byla zjištěna pro 7.8.2015. Jednalo se o den, kdy průměrná teplota vzduchu dosahovala 27.5 °C, minimální teplota 17.4 °C, maximální teplota 35.9 °C, průměrná relativní vlhkost vzduchu 46.8 % a rychlost větru byla 1.68 m s⁻¹ (maximální náraz 8.06 m s⁻¹).

Tabulka 1. Počítaný výpar z volně zastíněné vodní hladiny (ϵ) a evapotranspirace (ET) na stanici Rudolfov².
 Calculated evaporation from free shaded water surface (ϵ) and evapotranspiration (ET) at the Rudolfov station

Rok	ϵ [mm]	ET [mm]
2014	463.5	
2015	609.6	747.6
2016	451.6	669.0
2017	551.6	733.3
2018	583.3	770.4
2019	565.6	759.1
2020	504.9	736.5
2021	460.9	692.7



Obr. 2. Výpar z volně zastíněné vodní hladiny na stanici Rudolfov v průběhu let 2014 až 2021 vyjádřený jako klouzavá třicetidenní suma výparu. DoY - pořadové číslo dne v roce, jímž končí příslušné třicetidenní období.
 Evaporation from the free shaded water surface at the Rudolfov station during the years 2014 to 2021 expressed as a running thirty-day sum of evaporation. DoY - serial number of the day of the year at which the relevant 30-day period ends.

Závěr

Navržena byla metoda výpočtu výparu vody z volně nezastíněné vodní hladiny. Tento postup předpokládá, že teplota vody odpovídá teplotě vzduchu a současně je vodní hladina zastíněna, takže se dopadající sluneční energie nemůže přímo transformovat na teplo výparné. Jiná situace tedy bude u větších vodních nádrží, kde energie dopadajícího záření se rozděluje mezi teplo výparné a energii akumulovanou ve vodní mase.

Literatura

ALTMAN J., FIBICH P., ŠANTRŮČKOVÁ H., DOLEŽAL J., ŠTĚPÁNEK P., KOPÁČEK J., HŮNOVÁ I., OULEHLE F., TUMAJER J., CIENCIALA E. (2017): Environmental factors exert strong control over the climate-growth relationships of *Picea abies* in Central Europe. - *Science of the Total Environment*, 609: 506-516. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.07.134](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.134)

² Další data k této stanici viz <https://www.infodatasys.cz/climate/rudolfov/mereni.htm>

- BLINKA P. (2005): Klimatologické hodnocení sucha a suchých období na území České republiky v letech 1876-2002 [Climatological evaluation of drought and dry periods on the territory of Czech Republic in the years 1876-2002]. - Meteorologické zprávy, 58(1): 10-18.
- BRÁZDIL R., TRNKA M. (2015): Sucho v českých zemích: minulost, současnost, budoucnost. In: Historie počasí a podnebí v českých zemích, Vol. 11. - Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Brno, 401pp.
- CIENCIALA E., TUMAJER J., ZATLOUKAL V., BERANOVÁ J., HOLÁ Š., HŮNOVÁ I., RUSS R. (2017): Recent spruce decline with biotic pathogen infestation as a result of interacting climate, deposition and soil variables. - European Journal of Forest Research, 136: 307-317. DOI: [10.1007/s10342-017-1032-9](https://doi.org/10.1007/s10342-017-1032-9)
- CRHOVÁ L., PECHO J., VALERIANOVÁ A. (2016): Mimořádně teplé a suché léto 2015 v České republice [Extremely hot and dry summer 2015 in the Czech Republic]. - Meteorologické zprávy, 69(1): 10-16.
- DAVIS (2006): Derived variables in Davis weather products. Application note 28. - URL: www.davisinstruments.com/support/derived-variables-in-davis-weather-products/
- FIALA T. (2006): Vymezení období sucha a období převládající teploty vzduchu pomocí metody součtových řad na příkladu Vráže u Písku [Delimitation of drought periods and periods of prevailing air temperature in Vráž u Písku using the method of cumulative series]. - Meteorologické zprávy, 59(3): 76-79.
- FISCHER F.M., CHYTRÝ K., TĚŠITEL J., DANIHELKA J., CHYTRÝ M. (2020): Weather fluctuations drive short-term dynamics and long-term stability in plant communities: A 25-year study in a Central European dry grassland. - Journal of Vegetation Science, 31: 711-721. DOI: [10.1111/jvs.12895](https://doi.org/10.1111/jvs.12895)
- HAIŠ M., NEUDERTOVÁ HELLEBRANDOVÁ K., ŠRÁMEK V. (2019): Potential of Landsat spectral indices in regard to the detection of forest health changes due to drought effects. - Journal of Forest Science, 65(2): 70-78. DOI: [10.17221/137/2018-JFS](https://doi.org/10.17221/137/2018-JFS)
- HLÁSNÝ T., HOLUŠA J., ŠTĚPÁNEK P., TURČÁNI M., POLČÁK N. (2011): Expected impacts of climate change on forests: Czech Republic as a case study. - Journal of Forest Science, 57(10): 422-431.
- HLÁSNÝ T., ZIMOVÁ S., MERGANIČOVÁ K., ŠTĚPÁNEK P., MODLINGER R., TURČÁNI M. (2021): Devastating outbreak of bark beetles in the Czech Republic: Drivers, impacts, and management implications. - Forest Ecology and Management, 119075, 490:.. DOI: [10.1016/j.foreco.2021.119075](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119075)
- KNOZOVÁ G., ROŽNOVSKÝ J. (2005): Srovnání způsobů výpočtu průměrných denních teplot a vlhkosti vzduchu. - Meteorologické Zprávy, 58: 19-23.
- KVĚTOŇ V., VALTER J. (2008): Index meteorologicky možného sucha - nová metoda vyhodnocování výskytu sucha [Index of meteorologically possible drought - a new method of drought intensity estimation]. - Meteorologické zprávy, 61(3): 72-78.
- MATĚJKA K. (2014): Počasí na Churáňově (Šumava) v období 1983-2011 a jeho možná interpretace z hlediska dynamiky ekosystémů [Climate at the Churáňov station (Bohemian Forest) during 1983-2011 and possibilities of their interpretation related to the ecosystem dynamics] - URL: <https://infodatasys.cz/climate/churanov1983-2011.pdf>
- MATĚJKA K. (2021): Meteorologická stanice Rudolfov. - URL: <https://infodatasys.cz/climate/rudolfov/stanice.htm>

- MOŽNÝ M. (2003): Automatizace měření výparu z volné vodní hladiny [Automation of evaporation measurements from a small water level]. - Meteorologické zprávy, 56(5): 150-155.
- MOŽNÝ M. (2006): Monitoring zásoby využitelné vody v povrchové vrstvě půdy pod travním porostem [Monitoring of usable water supply in the surface soil layer under the grassland]. - Meteorologické zprávy, 59(4): 118-121.
- POTOP V., SOUKUP J., MOŽNÝ M. (2011): Drought at various timescales for secular lowland climatological stations in the Czech Republic. - Meteorologické zprávy, 64(6): 177-187.
- POTOP V., BORONEANT C., MOŽNÝ M., ŠTĚPÁNEK P., SKALÁK P. (2012): Využití standardizovaného srážkového evapotranspiračního indexu pro hodnocení vegetačního období v České republice [The application of the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index for the assessment the driest and wetness characteristics during the growing season in the Czech Republic]. - Meteorologické zprávy, 65(4): 112-120.
- ŘEHOŘ J., BRÁZDIL R., TRNKA M., FISCHER M., BALEK J., ŠTĚPÁNEK P., ZAHRADNÍČEK P., SEMERÁDOVÁ D., BLÁHOVÁ M. (2021): Effects of Climatic and Soil Data on Soil Drought Monitoring Based on Different Modelling Schemes. - Atmosphere, 913, 12:.. DOI: [10.3390/atmos12070913](https://doi.org/10.3390/atmos12070913)
- ŠERCL P., PECHA M. (2019): Hydrologické sucho a významné srážkoodtokové události v období 2015–2018 [Hydrological drought and significant rainfall-runoff events during the period 2015–2018]. - Meteorologické zprávy, 72(4): 114-121.
- TREML P. (2011): Největší sucha na území České republiky v období let 1875-2010 [The largest droughts in the Czech Republic in the period 1875-2010]. - Meteorologické zprávy, 64(6): 168-175.
- ZLATNÍK A. (1976): Lesnická fytoecologie. - SZN, Praha, 495p.