

DÔSLEDKY OČAKÁVANEJ KLIMATICKEJ ZMENY NA ZMENY POTENCIÁLNEJ A SKUTOČNEJ EVAPOTRANSPIRÁCIE NA SLOVENSKU

Ján Tomlain

Katedra meteorológie a klimatológie MFF UK v Bratislave

Výpar z povrchu pôdy a rastlín (evapotranspirácia), atmosférické zrážky a odtok sú určujúcimi zložkami vodnej bilancie ľubovoľného povodia. Preto informácie o priestorovom a časovom rozložení týchto hydrometeorologických charakteristík sú dôležitými vstupnými údajmi pre celý rad projektových akcií realizovaných v poľnohospodárstve, lesnom a vodnom hospodárstve, v tvorbe a ochrane životného a prírodného prostredia a pod. Merania evapotranspirácie sa na území Slovenska robia len na veľmi malom počte hydrometeorologických staníc, čo neumožňuje získať údaje o priestorovom a časovom rozložení tejto charakteristiky pre väčšie územné celky. Nedostatok priamych meraní vedie k stanoveniu evapotranspirácie pomocou empirických a poloempirických vzťahov, určujúcich spojitost' evapotranspirácie s meteorologickými prvkami meranými na meteorologických staniciach.

Predkladaná štúdia prináša výsledky modelového výpočtu mesačných a ročných úhrnov potenciálnej (E_0), skutočnej (E) evapotranspirácie a ich rozdielov ($E_0 - E$) tak za referenčné obdobie 1951 až 1980, ako aj v časových horizontoch rokov 2010, 2030 a 2075 na vybraných staniciach Slovenska. Mesačné úhrny uvedených charakteristík sme stanovili aplikáciou matematického modelu, rozpracovaného na Katedre meteorológie a klimatológie MFF UK v Bratislave, ktorý vychádza z metódy navrhutej M. I. Budykom a L. I. Zubenokovou [Budyko, 1980]. Model je založený na spoločnom riešení rovníc energetickej a vodnej bilancie povrchu a experimentálne zistenej závislosti intenzity evapotranspirácie od vlhkosti pôdy.

$$E = E_0 \frac{\bar{W}}{W_0} \quad (1)$$

Úhrny potenciálnej evapotranspirácie určujeme z rovnice turbulentného prenosu vodnej pary v atmosfére

$$E_0 = \rho D (q_s - q_2), \quad (2)$$

kde ρ je hustota vzduchu, D - integrálny koeficient difúzie (v zime $D \approx 0,30 \text{ cm.s}^{-1}$ a v lete $D \approx 0,6$ až $0,7 \text{ cm.s}^{-1}$), q_s - merná vlhkosť vzduchu nasýteného vodnou parou pri teplote vyparujúceho povrchu a q_2 - merná vlhkosť vzduchu v meteorologickej búde.

Priemernú vlhkosť pôdy $\bar{W} = \frac{W_1 + W_2}{2}$ určujeme z rovnice vodnej bilancie metódou

postupných priblížení (W_1 - vlhkosť pôdy na začiatku a W_2 - na konci uvažovaného časového intervalu). Kritická vlhkosť pôdy (W_0) závisí od klimatických pomerov a ročného chodu teploty vzduchu. Jej hodnoty pre najvyššiu jednometrovú vrstvu pôdy sa menia od 200 mm na jar do 100 mm v lete v našich najsuchších oblastiach.

Popísaný model je veľmi dobre fyzikálne zdôvodnený. Vstupnými údajmi sú teplota a vlhkosť vzduchu, oblačnosť, počet dní so snehovou pokrývkou a atmosférické zrážky, t.j. meteorologické prvky pravidelne merané v sieti meteorologických staníc.

Z hľadiska zrážkového režimu môžeme na Slovensku rozlíšiť dve oblasti. Severné Slovensko je viac ovplyvňované západným zonálnym prúdením, zatiaľ čo zostávajúca časť územia južnou meridionálnou cirkuláciou. Zvláštnym klimatickým režimom sa vyznačujú aj naše horské oblasti. Preto pri návrhu scenárov zmien E_0 a E sme zohľadnili tieto skutočnosti vytvorením 3 skupín meteorologických staníc s podobným klimatickým režimom. Do skupiny "Juh" sme zaradili stanice: Bratislava, letisko, Boľkovce (o. Lučenec), Somotor, Hurbanovo a Michalovce. Do skupiny "Sever" boli zaradené stanice: Čadca, Oravská lesná, Liptovský Hrádok, Poprad a Červený Kláštor. Do skupiny "Hory" patria stanice s nadmorskou výškou nad 900 m: Podbanské, Štrbské Pleso, Ždiar-Javorina a Telgárt.

Scenáre dlhodobých zmien teploty a vlhkosti vzduchu, oblačnosti, atmosférických zrážok a počtu dní so snehovou pokrývkou boli stanovené podľa modifikovaných scenárov zmien týchto meteorologických prvkov pre územie Slovenska pre 3 varianty GCM (Globálne modely všeobecnej cirkulácie atmosféry): CCCM (Canadian Climate Centre), GISS (Goddard Institute for Space Studies) a GFD3 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) [Lapin, Nieplová, Faško, 1995; Lapin, Faško, 1996; Hrvoľ, 1996]. Na základe analýzy vykonanej odborníkmi SHMÚ v Bratislave, dlhodobých trendov meraných údajov a modelových výpočtov k časovým horizontom rokov 2010, 2030 a 2075 podľa scenárov modelov CCCM, GISS a GFD3 dochádzame k názoru, že najlepšie výsledky pre územie Slovenska (hlavne pre južné Slovensko) poskytuje model CCCM, ktorý dobre simuluje ročný chod teploty vzduchu a atmosférických zrážok. Hodnoty teploty vzduchu sú však nadhodnotené v zime a úhrny zrážok mierne nadhodnotené v porovnaní s nameranými údajmi.

Scenáre zmien priemerných mesačných a ročných úhrnov potenciálnej a skutočnej evapotranspirácie prinášajú tab. 1 a tab. 2.

Tab. 1 Scenáre zmien priemerných mesačných a ročných úhrnov potenciálnej evapotranspirácie E_0 v % na Slovensku pre časové horizonty rokov 2010, 2030, a 2075 podľa CCCM

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | ROK | Σ (IV-IX) |
|---|---|-----|-----|----|----|-----|-----|------|----|----|----|-----|-----|------------------|
| Priemerné úhrny E_0 v mm za obdobie 1951-1980 | | | | | | | | | | | | | | |
| Juh | 2 | 10 | 39 | 70 | 99 | 113 | 122 | 104 | 68 | 35 | 13 | 4 | 679 | 576 |
| Sever | 0 | 3 | 23 | 50 | 78 | 89 | 93 | 78 | 52 | 28 | 9 | 0 | 503 | 440 |
| Hory | 0 | 3 | 8 | 40 | 70 | 80 | 86 | 76 | 50 | 27 | 7 | 1 | 448 | 402 |
| Scenáre zmien E_0 v % pre rok 2010 | | | | | | | | | | | | | | |
| Juh | - | 50 | 10 | 1 | 6 | 4 | 7 | 7 | 6 | 8 | 8 | - | 7 | 5 |
| Sever | - | 33 | 26 | 6 | 5 | 3 | 8 | 8 | 4 | 7 | 11 | - | 7 | 6 |
| Hory | - | 0 | 125 | 12 | 6 | 4 | 7 | 5 | 8 | 11 | 14 | - | 9 | 6 |
| Scenáre zmien E_0 v % pre rok 2030 | | | | | | | | | | | | | | |
| Juh | - | 60 | 15 | 6 | 9 | 5 | 11 | 10 | 12 | 8 | 8 | - | 11 | 9 |
| Sever | - | 133 | 30 | 12 | 8 | 7 | 12 | 12 | 8 | 7 | 11 | - | 12 | 10 |
| Hory | - | 0 | 225 | 18 | 8 | 6 | 12 | 9 | 12 | 15 | 28 | - | 14 | 10 |
| Scenáre zmien E_0 v % pre rok 2075 | | | | | | | | | | | | | | |
| Juh | - | 90 | 28 | 10 | 14 | 11 | 20 | 18 | 20 | 11 | 8 | - | 18 | 16 |
| Sever | - | 300 | 65 | 18 | 15 | 11 | 19 | 17 | 15 | 7 | 33 | - | 21 | 16 |
| Hory | - | 267 | 262 | 28 | 18 | 12 | 20 | 20 | 24 | 22 | 43 | - | 26 | 19 |

Tab. 2 Scenáre zmien priemerných mesačných a ročných úhrnov evapotranspirácie E v % na Slovensku pre časové horizonty rokov 2010, 2030, a 2075 podľa CCCM

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | ROK | $\Sigma(IV-IX)$ |
|---|---|-----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|-----|-----------------|
| Priemerné úhrny E v mm za obdobie 1951-1980 | | | | | | | | | | | | | | |
| Juh | 2 | 8 | 29 | 58 | 78 | 79 | 75 | 59 | 38 | 21 | 10 | 3 | 460 | 387 |
| Sever | 0 | 3 | 19 | 44 | 73 | 87 | 89 | 72 | 47 | 26 | 8 | 0 | 468 | 412 |
| Hory | 0 | 3 | 8 | 36 | 67 | 80 | 86 | 76 | 50 | 27 | 7 | 1 | 441 | 395 |
| Scenáre zmien E v % pre rok 2010 | | | | | | | | | | | | | | |
| Juh | - | 38 | 14 | 0 | 1 | -5 | -3 | -3 | 0 | 5 | 0 | - | 1 | -2 |
| Sever | - | 33 | 21 | 4 | 4 | 2 | 4 | 1 | 0 | 0 | 12 | - | 4 | 3 |
| Hory | - | 0 | 100 | 14 | 4 | 4 | 7 | 3 | 4 | 7 | 0 | - | 7 | 5 |
| Scenáre zmien E v % pre rok 2030 | | | | | | | | | | | | | | |
| Juh | - | 50 | 21 | 5 | 4 | -5 | -5 | -7 | 0 | 0 | 0 | - | 2 | -2 |
| Sever | - | 133 | 32 | 9 | 7 | 4 | 6 | 1 | -2 | 0 | 12 | - | 7 | 4 |
| Hory | - | 0 | 188 | 22 | 9 | 5 | 12 | 1 | 2 | 4 | 14 | - | 11 | 8 |
| Scenáre zmien E v % pre rok 2075 | | | | | | | | | | | | | | |
| Juh | - | 100 | 38 | 9 | 6 | -8 | -11 | -12 | -3 | 0 | 0 | - | 3 | -3 |
| Sever | - | 233 | 68 | 11 | 11 | 3 | 6 | -1 | -4 | -8 | 25 | - | 9 | 4 |
| Hory | - | 233 | 225 | 30 | 22 | 12 | 14 | 4 | 4 | 4 | 28 | - | 18 | 13 |

Podľa scenára modelu Canadian Climate Centre (CCCM) ročné úhrny E_0 k roku 2010 v porovnaní s referenčným obdobím 1951 až 1980 vzrastú na juhu a severe Slovenska o 7 % a v horách o 9 %. K roku 2030 tento rast bude predstavovať na juhu Slovenska 11 %, na severe Slovenska 12 % a v horách 14 %. Ročné úhrny E_0 k roku 2075 vzrastú na južnom Slovensku o 18 %, na severe o 21 % a v horách o 26 %.

Vidíme, že najintenzívnejšie bude E_0 vzrastať v horských oblastiach, kde celkové zvýšenie teploty vzduchu zapríčini ubúdanie počtu dní so snehovou pokrývkou, čo vyvolá zväčšovanie bilancie krátkovlnného žiarenia povrchu na jar.

Skutočná evapotranspirácia okrem energetických činiteľov veľmi silne závisí od množstva zrážok a ich rozloženia počas roka. Z tab. 2, kde sú uvedené scenáre zmien mesačných úhrnov E počas roka, vidíme, že aj ročné úhrny skutočnej evapotranspirácie sa budú postupne zväčšovať a k roku 2075 v porovnaní s obdobím 1951 až 1980 vzrastú na juhu Slovenska o 3 %, na severe o 9 % a v horách, kde je dostatok zrážok počas celého roka, až o 18 %. Podobný obraz zmeny E dostaneme aj pre vegetačné obdobie s výnimkou južného Slovenska, kde úhrny evapotranspirácie sa budú postupne znižovať a k roku 2075 ich pokles dosiahne 3 % v porovnaní s referenčným obdobím. Je to v súlade so scenármi zmien zrážkových úhrnov, ktoré predpokladajú postupné znižovanie zrážok od mája do septembra. V porovnaní s obdobím 1951 až 1980 úhrny E za mesiace jún až september tu klesnú k roku 2075 až o 9 %. Postupné znižovanie úhrnov evapotranspirácie pozorujeme aj na severe Slovenska na jeseň (september-október), kedy sa vyskytuje málo oblačné relatívne teplejšie počasie.

Produkcia poľných plodín pri dostatku tepla, svetla a modernej agrotechnike závisí predovšetkým od zásob vody v najvyššom horizonte pôdy. Efektívnosť zrážok, ktoré sú prirodzeným zdrojom zásob vody v pôde závisí tak od ich množstva a rozloženia počas roka, ako aj intenzity evapotranspirácie. Experimentálne bolo dokázané (ALPATJEV, 1952), že pri optimálnych podmienkach rastu poľných plodín skutočná evapotranspirácia (E) dosahuje maximálne možnú evapotranspiráciu (E_0) v daných klimatických podmien-

kach. Preto rozdiel medzi potenciálnou a skutočnou evapotranspiráciou ($E_o - E$) môžeme použiť na ocenenie dlhodobých oscilácií zásob vody v pôde. Rozdiel ($E_o - E$) charakterizuje deficit vody pre optimálny rast poľných plodín, t.j. udáva množstvo vody potrebnej na závlahu.

Výsledky výpočtu priemerných mesačných a ročných úhrnov ($E_o - E$) za obdobie 1951 až 1980 a pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075 podľa scenárov CCCM prináša tab. 3. Priemerný úhrn ($E_o - E$) za mesiace apríl až september referenčného obdobia dosiahol na južnom Slovensku 189 mm, na severe Slovenska 27 mm a v horách len 8 mm. Podľa scenára CCCM úhrny ($E_o - E$) za vegetačné obdobie sa rastom teploty vzduchu postupne budú zväčšovať, pričom najväčší rast pripadá na južné Slovensko. K roku 2075 bude tento rast na južnom Slovensku v porovnaní s referenčným obdobím predstavovať 103 mm, na severe Slovenska 52 mm a v horách 24 mm.

Tab. 3 Priemerné mesačné a ročné úhrny ($E_o - E$) v mm na Slovensku za obdobie 1951-1980 a pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075 podľa scenárov CCCM

| | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X | XI | XII | ROK | $\Sigma(IV-IX)$ |
|------------------|---|----|-----|----|----|----|-----|------|----|----|----|-----|-----|-----------------|
| Juh (South) | | | | | | | | | | | | | | |
| 1951-1980 | 0 | 2 | 10 | 12 | 21 | 34 | 47 | 45 | 30 | 14 | 3 | 1 | 219 | 189 |
| 2010 | 0 | 4 | 10 | 13 | 26 | 42 | 58 | 54 | 35 | 16 | 4 | 2 | 264 | 228 |
| 2030 | 1 | 4 | 10 | 14 | 27 | 44 | 64 | 59 | 39 | 17 | 4 | 2 | 285 | 247 |
| 2075 | 2 | 4 | 10 | 14 | 30 | 52 | 80 | 71 | 45 | 18 | 5 | 2 | 333 | 292 |
| Sever (North) | | | | | | | | | | | | | | |
| 1951-1980 | 0 | 0 | 4 | 6 | 5 | 2 | 4 | 6 | 4 | 2 | 1 | 0 | 34 | 27 |
| 2010 | 0 | 0 | 5 | 7 | 5 | 4 | 7 | 11 | 7 | 4 | 1 | 0 | 51 | 41 |
| 2030 | 0 | 0 | 5 | 7 | 6 | 5 | 10 | 14 | 10 | 4 | 1 | 0 | 62 | 52 |
| 2075 | 0 | 2 | 6 | 9 | 10 | 8 | 16 | 21 | 15 | 6 | 1 | 0 | 94 | 79 |
| Hory (Mountains) | | | | | | | | | | | | | | |
| 1951-1980 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 9 | 8 |
| 2010 | 0 | 0 | 2 | 4 | 4 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 1 | 0 | 16 | 12 |
| 2030 | 0 | 0 | 4 | 3 | 3 | 0 | 1 | 5 | 5 | 3 | 1 | 0 | 25 | 17 |
| 2075 | 0 | 1 | 3 | 4 | 1 | 0 | 5 | 12 | 10 | 5 | 1 | 0 | 42 | 32 |

LITERATÚRA

- ALPATJEV, A. M., 1952 : Isparjajemost' kak približennij pokazatel' potrebnosti sel'sko-chozjajstvennyh kul'tur v vode. Meteorologija i gidrologija, N° 5 .
- BUDYKO, M. I., 1980 : Klimat v prošlom i buduščem. Gidrometeoizdat, Leningrad, str.350.
- HRVOL, J., 1996: Modelové výpočty dôsledkov očakávaného oteplenia na zmeny globálneho slnečného žiarenia a celkovej radiačnej bilancie zemského povrchu. Projekt Country Study Slovenskej republiky, Katedra meteorológie a klimatológie MFF UK, Bratislava .
- LAPIN, M., NIEPLOVÁ, E., FAŠKO, P., 1995 : Climate Scenarios for Air Temperature and Precipitation Change in Slovakia. National Climatic Programme of the Slovak Republic, N°3, Bratislava.
- LAPIN, M., FAŠKO, P., 1996 : Regionálne inkrementálne scenáre zmien klimatických

charakteristik na Slovensku. Vybrané výsledky scenárov relatívnej vlhkosti vzduchu a snehovej pokrývky. Pracovné podklady N°8. Slovak Republics Country Study. Element 2, SHMÚ.

TOMLAIN, J., 1993: Distribution of Evapotranspiration on the Territory of Slovakia. Proc. of Symp. on Precipitation and Evaporation. Vol. 3, Bratislava, str.181-184.

TOMLAIN, J., 1994: Dôsledky zmien potenciálnej a skutočnej evapotranspirácie na zmeny obsahu vody v pôde na vybraných staniciach Slovenska. Národný klimatický program SR, Katedra meteorológie a klimatológie MFF UK, Bratislava .

SUMMARY

COMPUTATION OF CLIMATIC CHANGE IMPACTS ON POTENTIAL AND ACTUAL EVAPOTRANSPIRATION CHANGES ON THE TERRITORY OF SLOVAKIA

By means of the mathematical model which has been developed at the Faculty of Mathematics and Physics of Comenius University in Bratislava, the annual and monthly totals of potential (E_0) and actual (E) evapotranspiration, evapotranspiration deficit ($E_0 - E$) on the territory of Slovakia for the period 1951 to 1980 as well as in time frames 2010, 2030 and 2075 were estimated. The change scenarios for the air temperature and humidity, precipitation, cloudiness and number of days with snow cover were calculated according to Regional modification of GCM outputs on the basis of CCCM data.

Table 1 Mean potential evapotranspiration change scenarios (%) for Slovakia in time frames 2010, 2030 and 2075

Table 2 Mean evapotranspiration change scenarios (%) for Slovakia in time frames 2010, 2030 and 2075

Table 3 Average monthly and annual totals of ($E_0 - E$) in mm on the territory of Slovakia for the period 1951-1980 and in time frames 2010, 2030 and 2075.