VÝVOJ HLADÍN PODZEMNEJ VODY V DÔSLEDKU KLIMATICKEJ ZMENY

Martina Juráková[1], Jana Skalová[1], Mária Pásztorová[1]

Abstrakt

Klimatická zmena predstavuje vážnu hrozbu pre mnoho mokraďných ekosystémov. Mokrade existujú v prechodnej zóne medzi akvatickým a terestriálnym prostredím a sú obzvlášť senzitívne na nepriame zmeny v regionálnej hydrológii, ktoré môže klimatická zmena ovplyvňovať prostredníctvom zmien teploty vzduchu, regionálnych zmien režimu zrážok, povrchového odtoku, snehovej pokrývky, dĺžky zimnej sezóny, zásob podzemnej vody a evapotranspirácie.

Klimatická zmena v mokraďných lokalitách sa najvýraznejšie prejavuje v zmene vodnej hladiny a priľahlej hladiny podzemnej vody, pričom môže výrazne zmeniť hydroekologické pomery mokraďných ekosystémov a ohroziť vzácne mokraďné rastlinné a živočíšne spoločenstvá. Preto sa v príspevku zaoberáme hodnotením dôsledkov klimatickej zmeny na hladinu podzemnej vody v konkrétnej mokradi v Chránenej krajinnej oblasti Záhorie - v Národnej prírodnej rezervácii Zelienka. Vplyv klimatickej zmeny bol riešený pomocou meteorologických charakteristík upravených klimatickými scenármi GISS98 a CCCM2000. Hladina podzemnej vody bola určená modelom Hydrus ET pre časové úrovne 2010, 2030 a 2075 v 20-ročnom časovom intervale a následne v porovnaná s referenčným obdobím 1971-1990.

Kľúčové slová: klimatická zmena, mokraď, hladina podzemnej vody

1. Úvod

Klimatické zmeny sa vyskytujú v dôsledku vnútornej zmeny klimatického systému, ale aj v dôsledku vplyvu vonkajších faktorov, ako sú prírodné faktory (slnečné žiarenie, oblačnosť, zrážky) a faktory spôsobené ľudskou činnosťou (zvyšovanie koncentrácie skleníkových plynov) v atmosfére. Prebiehajúce klimatické zmeny a ich dôsledky predstavujú v súčasnosti jeden z najzávažnejších globálnych problémov [1] [2].

Klimatické zmeny predstavujú závažný problém aj pre mokrade. Najvýraznejšie sa klimatické zmeny v mokradiach odzrkadľujú v zmene hladiny podzemnej vody, v dôsledku čoho môže nastať zmena v hydroekologických pomeroch mokradí a môže dôjsť k ohrozeniu vzácneho mokraďného rastlinstva.

Cieľom príspevku je hodnotenie vývoja hladiny podzemnej vody v dôsledku prebiehajúcich klimatických zmien v konkrétnej mokradi v Chránenej krajinnej oblasti Záhorie – v Národnej prírodnej rezervácii (NPR) Zelienka. Vplyv klimatickej zmeny bol riešený pomocou zmeny meteorologických charakteristík upravených klimatickými scenármi GISS98 a CCCM2000 (Kanadského modelu CGCM2 modifikovaného na podmienky Slovenska) [3].

2. Materiál a metódy

Pri riešení problematiky vývoja hladín podzemnej vody v dôsledku klimatických zmien pre mokraď Zelienka boli použité údaje z modelov všeobecnej cirkulácie (GCMs) CCCM, ktorý vyvinulo Kanadské stredisko pre klimatické modelovanie a analýzu vo Victorii, a GISS z Goddardovho ústavu pre vesmírne štúdie pri NASA v USA. Podrobnejší popis spomínaných modelov a ich výstupov je uvedený v prácach Lapin et al. [3] [4] [5] [6]. Na simuláciu dopadu klimatickej zmeny na priebeh hladiny podzemnej vody (HPV) bol zvolený

model HYDRUS-ET [7], ktorý bol najprv verifikovaný na nameraných údajoch z rokov 2001 a 2002.

Klíma je v modeloch reprezentovaná klimatickými prvkami. Za týmto účelom bolo treba tieto prvky modifikovať podľa dvoch zvolených scenárov klimatickej zmeny, a to CCCM2000 – nehladený pre Slovensko a GISS98, pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075 v 20ročnom intervale so stredom v rokoch 2010, 2030, 2075 a po príprave ďalších potrebných vstupov bolo možné uskutočniť simulácie hladiny podzemnej vody (HPV) s týmito modifikovanými hodnotami pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075 ako aj simuláciu HPV pre referenčné obdobie 1971–1990.

2.1 Vstupné údaje do modelov

Aby sme modelovaním vystihli procesy prebiehajúce v pôde a získali vhodné výsledky, potrebujeme mať dobre spracované vstupné údaje. Medzi vstupné údaje patria predovšetkým charakteristiky pôdy, meteorologické údaje, parametre porastu a počiatočná podmienka.

Pôdy v modeli sú charakterizované vlhkostnou retenčnou krivkou (VRK) a nasýtenou hydraulickou vodivosťou. Pre tento účel boli v hodnotenej lokalite odobraté neporušené pôdne vzorky z dvoch stanovíšť. Prvé stanovište bolo umiestnené v strede mokrade, v blízkosti sondy HPV, odkiaľ boli odobraté vzorky č. 4, 5, 6. Druhé stanovište bolo umiestnené v blízkosti rozvodnice, odkiaľ boli odobraté vzorky č. 1, 2, 3. Vzorky boli odobraté z hĺbky 30 cm a následne boli na nich urobené laboratórne rozbory a na ich základe bol pôdny profil charakterizovaný ako homogénny. Body odvodňovacej vetvy VRK boli vypočítané pomocou pedotransferových funkcií [8], pre ktoré boli podkladom výsledky zrnitostného rozboru hustomernou metódou. Tieto body boli v ďalšom aproximované podľa Van Genuchtena [9], čím sa zistili parametre *alfa* a *n* vstupujúce do modelu. Charakteristiky pôdy použité pri modelovaní sú uvedené v Tab. 1, konkrétne pre vzorku pôdy č. 6.

Tab. 1: Prehľad hydrofyzikálnych charakteristík modelovaného pôdneho profilu (θ_s - vlhkosť vodou nasýtenej pôdy, θ_r - reziduálna vlhkosť, K - nasýtená hydraulická vodivosť, α, n – Van Genuchtenove parametre VRK)

Hĺbka odberu [cm]	θ_s [$cm^3.cm^{-3}$]	θ_r [$cm^3.cm^{-3}$]	K [$cm.d^{-1}$]	α [cm^{-1}]	n
30	0.447	0.023	60	0.1869	1.2006

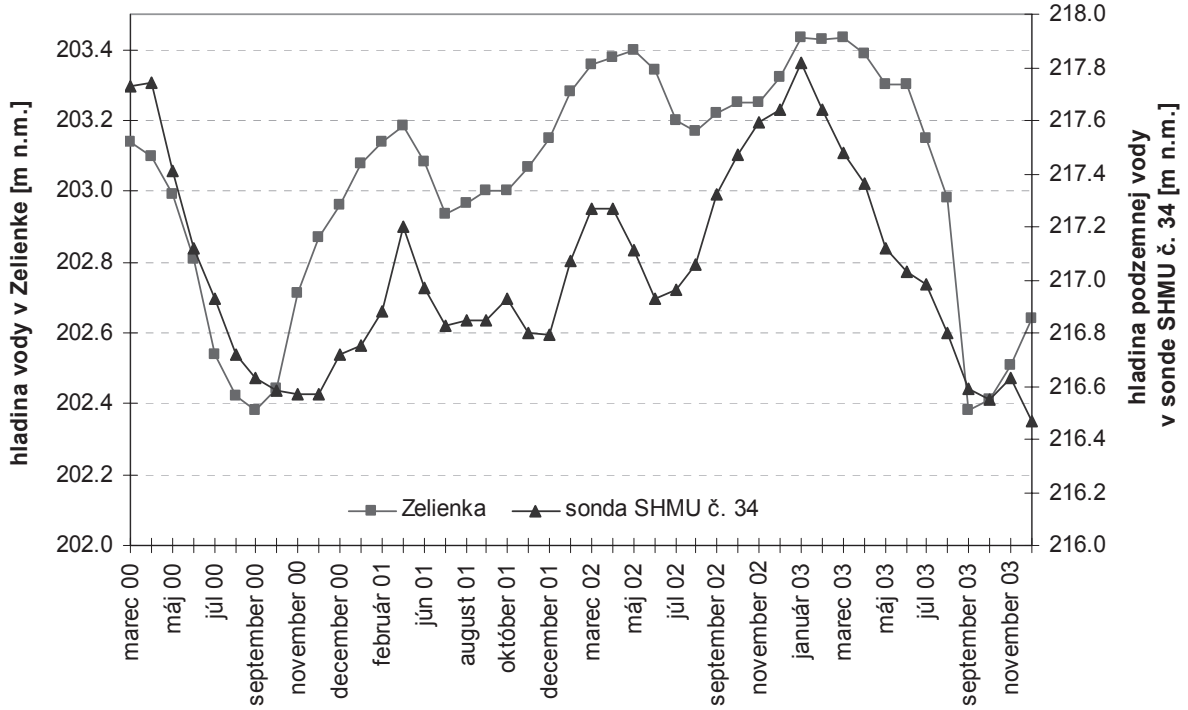
Meteorologické údaje vstupujúce do modelovania zahŕňajú denný zrážkový úhrn Z [mm], denný priemer teploty vzduchu T [°C], denný úhrn dĺžky trvania slnečného svitu S [h], priemerný denný parciálny tlak vodnej pary p [hPa] a priemernú dennú rýchlosť vetra v_v [$m.s^{-1}$] pre každý deň modelovaného obdobia.

Parametre charakterizujúce vlastnosti porastu sú odvodené od vegetačného pokryvu, ktorý je na prevažnej časti územia mokrade Zelienka reprezentovaný slatinnými jelšinami, ktoré prechádzajú do brezovej dúbravy a zvyšok územia je tvorený borovicovými lesmi. Parametre sa nachádzajú v príslušnom vstupnom súbore, ktorý obsahuje: index listovej pokryvnosti LAI [-], drsnosť vyparujúceho povrchu z_o [-], albedo vyparujúceho povrchu α [-], hĺbku koreňovej zóny z_r [cm], relatívnu kritickú vlhkosť [%].

V modeli HYDRUS ET [7] sa zadáva počiatočná podmienka úrovňou hladiny podzemnej vody pod terénom v prvý deň simulácie. Pre referenčné obdobie 1971–1990 ide o hodnotu

47 cm. Pre časový horizont 2010 je to nameraná úroveň HPV v januári 2001 - 49 cm a pre časový horizont 2030 je to vypočítaná úroveň HPV modelom HYDRUS ET k 31.12.2020 - 88 cm pod terénom.

Ako možno vidieť na Obr. 1, priebeh hladiny vody v rašelinisku korešponduje s priebehom hladiny podzemnej vody v sonde SHMU č. 34, ktorá je od uvažovanej lokality vzdialená 2 km. V tejto sonde je sledovaná HPV od r. 1958. Na základe tejto skutočnosti bola východzia úroveň HPV pre referenčné obdobie zistená z rovnice lineárnej regresie, pričom ako závisle premenná vystupovala úroveň HPV v mokradi Zelienka a ako nezávisle premenná bola uvažovaná úroveň HPV v sonde SHMU č. 34, z ktorej sú k dispozícii údaje aj od roku 1971.



Obr. 1: Priebeh hladiny vody v Zelienke a hladiny podzemnej vody v sonde SHMU č. 34 za obdobie marec 2000 – december 2003

3. Výsledky a diskusia

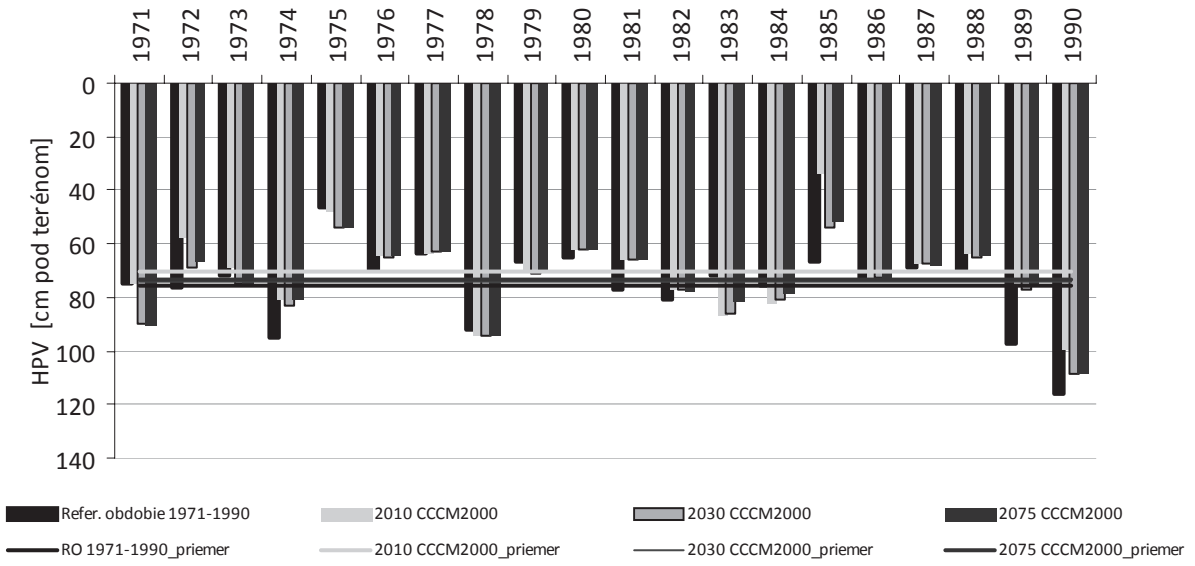
Analýza dopadu klimatickej zmeny na priebeh hladiny podzemnej vody bola uskutočnená na základe výstupov z modelu HYDRUS ET. Výstupom z modelu bol časový rad denných polôh HPV pod terénom, ktoré by bolo náročné navzájom porovnávať. Preto boli v ďalšom vypočítané mesačné a ročné priemerné hodnoty pre jednotlivé klimatické scenáre GISS98, CCCM2000 a časové horizonty 2010, 2030 a 2075 ako aj referenčné obdobie 1971-1990, a tieto boli analyzované.

V Tab. 2 sú prehľadne uvedené priemerné ročné hodnoty a ich rozdiely, na základe ktorých môžeme analyzovať vzťah referenčného obdobia k scenárom GISS98 a CCCM2000 pre jednotlivé časové horizonty, ako aj vzťah jednotlivých časových horizontov zvolených scenárov k referenčnému obdobiu.

Tab. 2: Priemerná úroveň HPV pod terénom za hodnotené obdobie [cm]

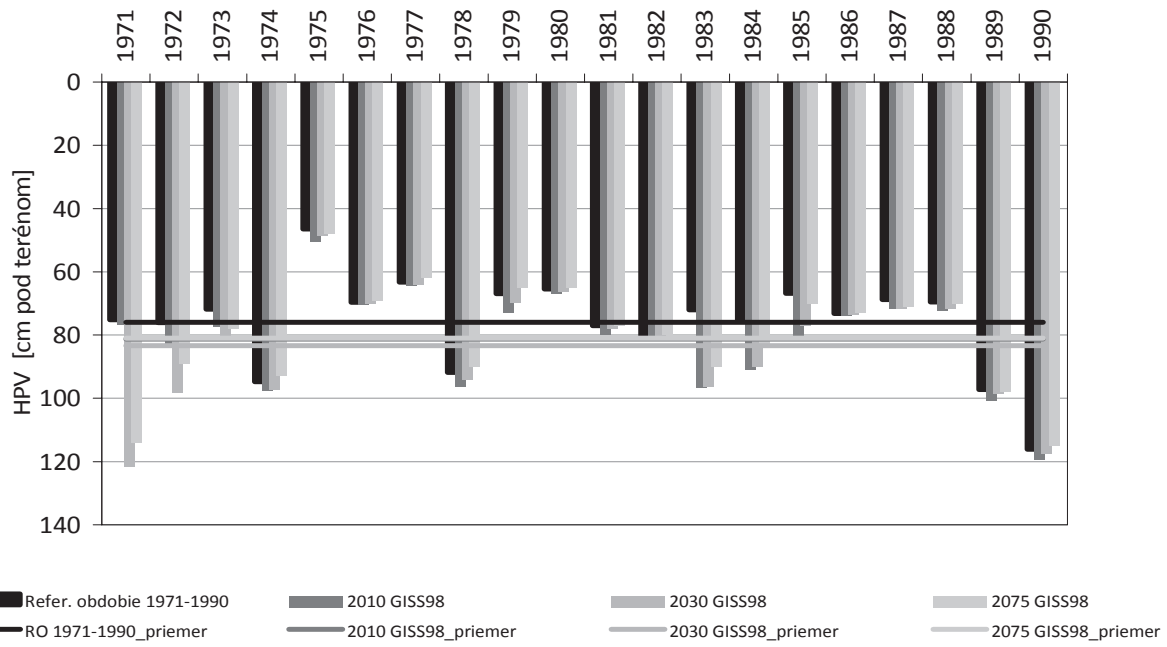
Referenčné obdobie 1971-1990	Scenár GISS98 pre časový horizont		Scenár CCCM2000 pre časový horizont	
76 cm	2010	81	2010	71
		-5		5
	2030	83	2030	74
		-7		2
	2075	81	2075	73
		-5		3

Z porovnania referenčného obdobia 1971-1990 (HPV 76 cm pod terénom) so scenárom CCCM2000 pre časový horizont 2010, 2030 a 2075 znázorneného na Obr. 2 vyplýva, že vo všetkých časových horizontoch dochádza k zvýšeniu HPV, a to pre časový horizont 2010 na 71 cm, pre časový horizont 2030 na 74 cm a pre časový horizont 2075 na 73 cm.



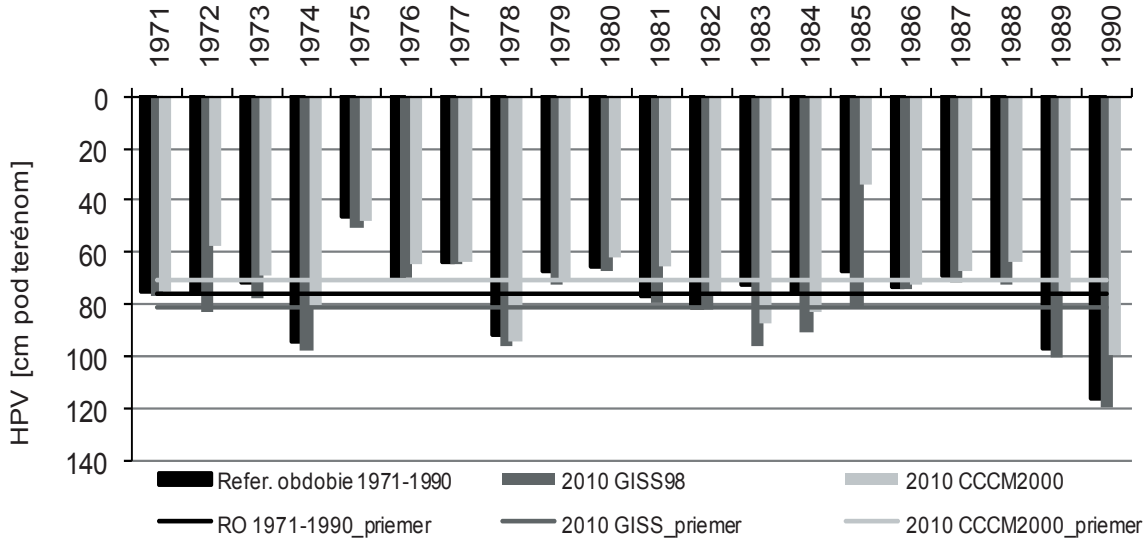
Obr. 2: Priebeh priemernej ročnej úrovne HPV v rašelinisku Zelienka vypočítanej modelom HYDRUS-ET pre referenčné obdobie 1971-1990 a scenár klimatickej zmeny CCCM2000 pre časové horizonty 2010, 2030, 2075

Na Obr. 3 je znázornené porovnanie referenčného obdobia 1971-1990 so scenárom GISS98 pre časový horizont 2010, 2030 a 2075, z ktorého vyplýva, že dochádza k miernemu znižovaniu HPV pod terénom zo 76 cm na 81 cm pre časový horizont 2010 a 2075 a na 85 cm pre časový horizont 2030.

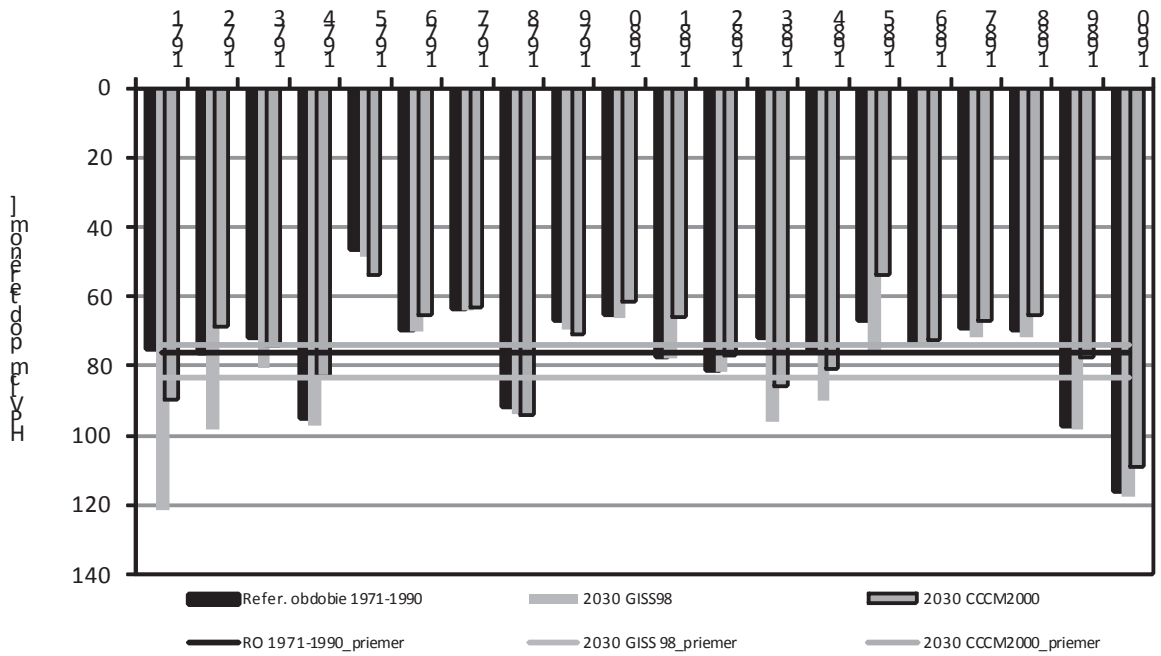


Obr. 3: Priebeh priemernej ročnej úrovne HPV v rašelinisku Zelienka vypočítanej modelom HYDRUS-ET pre referenčné obdobie 1971-1990 a scenár klimatickej zmeny GISS98 pre časové horizonty 2010, 2030, 2075

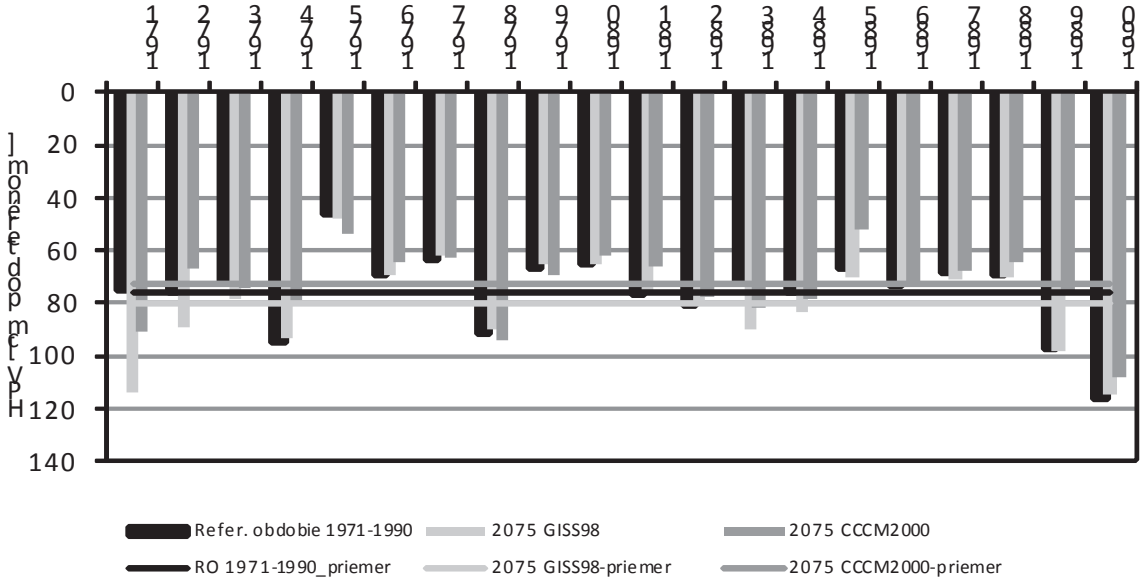
Na Obr. 4, 5 a 6 sú znázornené ročné priebehy HPV podľa scenára GISS98 a CCCM2000 pre jednotlivé časové horizonty 2010, 2030 a 2075 samostatne s porovnaním referenčného obdobia 1971-1990. Z uvedených grafických výstupov vyplýva, že priebeh HPV pod terénom podľa scenára CCCM2000 má vo všetkých časových horizontoch zvyšujúcu tendenciu v porovnaní so scenárom GISS98, z toho najvýraznejšie pre časový horizont 2010, kedy priebeh HPV vystúpil oproti referenčnému obdobiu o 5 cm.



Obr. 4: Priebeh priemernej ročnej úrovne HPV v rašelinisku Zelienka vypočítanej modelom HYDRUS-ET pre referenčné obdobie 1971-1990 a scenáre klimatickej zmeny GISS98 a CCCM2000 pre časový horizont 2010



Obr. 5: Priebeh priemernej ročnej úrovne HPV v rašelinisku Zelienka vypočítanej modelom HYDRUS-ET pre referenčné obdobie 1971-1990 a scenáre klimatickej zmeny GISS98 a CCCM2000 pre časový horizont 2030



Obr. 6: Priebeh priemernej ročnej úrovne HPV v rašelinisku Zelienka vypočítanej modelom HYDRUS-ET pre referenčné obdobie 1971-1990 a scenáre klimatickej zmeny GISS98 a CCCM2000 pre časový horizont 2075

Na základe ročných priemerov možno konštatovať, že najvyšší nárast HPV bol zistený podľa scenára CCCM2000 pre rok 2015 (rok 1985 v prípade časového horizontu 2010), kedy hladina vystúpi na úroveň 34 cm pod terénom. Najnižšia priemerná ročná hodnota HPV je zistená pre rok 2020 (rok 1990 v prípade časového horizontu 2010), kedy hladina dosahuje úroveň 99 cm pod terénom a pre rok 2040 (rok 1990 v prípade časového horizontu 2030) hladina dosahuje úroveň 109 cm pod terénom.

4. Záver

Mokrade sú jedným z najvzácnejších ekosystémov, ktoré poskytujú sociálne, ekonomické, ale aj významné ekologické pozitíva. Prebiehajúca klimatická zmena môže vyvolať nepriame zmeny v hydrológii tohto ekosystému, čím by došlo k ohrozeniu vzácnych mokradných rastlinných aj živočíšnych spoločenstiev.

Z výsledkov analýzy však možno konštatovať, že klimatická zmena v prípade mokrade Zelienka na Záhorí by nemala negatívne ovplyvniť jej hladinový režim mokrade a tým ohroziť existenciu tejto mokrade.

Poďakovanie

Autori ďakujú za finančnú podporu z projektov APVT-51-019804, APVV -0271-07 a VEGA 1-0585-08, v rámci ktorých príspevok vznikol.

Literatúra

[1] IPCC, 1998. The Regional Impacts of Climate Change. An Assessment of Vulnerability. Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H., (eds.). A Special Report of IPCC WG II. Cambridge University Press, 518 pp.

[2] IPCC, 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), J. T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden and D. Xiaosu (Eds.). Cambridge Univ. Press, UK, 944 pp.

[3] LAPIN, M. – DAMBORSKÁ, I. – MELO, M., 2001. Scenarios of Several Physically Plausible Climatic Elements (Scenáre súborov viacerých vzájomne fyzikálne konzistentných klimatických prvkov). Národný klimatický program SR, VI, No. 11, SHMÚ a MŽP SR, Bratislava, 5-30. (in Slovak with English summary)

[4] LAPIN, M. – MELO, M., 2004. Methods of climate change scenarios projection in Slovakia and selected results. Journal of Hydrology and Hydromechanics, 52, 2004, 4, 224-238.

[5] LAPIN, M. – MELO, M. – DAMBORSKÁ, I. – VOJTEK, M. – MARTINI, M., 2005. Problémy spojené s fyzikálne a štatisticky korektným downscaling-om výstupov GCMs v tvare denných časových radov a vybrané výsledky. In: Bioklimatologie současnosti a budoucnosti, Medzinárodná vedecká konferencia, Brno-Křtiny, 12-14.9.2005, 15 s. na CD, ISBN 80-86690-31-08.

[6] LAPIN, M. – DAMBORSKÁ, I. – MELO, M. – GERA, M. – DRINKA, R., 2006. Scenarios of climatic elements daily values for Slovakia until 2100. Slovak Meteorological Journal, Vol. 9, No. 3-4 (2006), 149-156.

[7] ŠIMŮNEK, J. et al., 1997: The HYDRUS ET Software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Version1.1. U.S. Salinity Lboratory, USDA, ARS, Riverside, California and Institute of Hydrology SAS, Bratislava, Slovakia. IH SAS Bratislava.

[8] SKALOVÁ, J., 2001: Pedotransferové funkcie pôd Záhorskej nížiny a ich aplikácia pri modelovaní vodného režimu pôdy. SvF STU Bratislava, 112 s.

[9] VAN GENUCHTEN, M., TH., 1980. A closed – form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44, 892 – 898.

Kontakty na autora

1 Stavebná fakulta, Slovenská technická univerzita v Bratislave, e-mail: maria.pasztorova@stuba.sk