

Dôsledky klimatickej zmeny na vodný režim mokrade Zelienka

The impact of climate change on wetland Zelienka water regime

M. JURÁKOVÁ ⁽¹⁾, M. LAPIN ⁽²⁾ and J. SKALOVÁ ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology, Bratislava, Slovak Republic
(e-mail: skalova@svf.stuba.sk, mata.jurakova@mail.t-com.sk)

⁽²⁾ Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University, Bratislava, Slovak Republic
(e-mail: lapin@fmph.uniba.sk)

Abstract Climate change associated with increased carbon dioxide and other greenhouse gases poses significant threats to many of the world's wetland ecosystems. Wetlands exist in the transition zone between aquatic and terrestrial environments and can be dramatically affected by slight alterations in hydrology. Climate change in wetland areas reflects most expressive in water level and adjacent groundwater level. The focus of this paper is the impact of climate change on the groundwater level in the wetland Zelienka, situated in the Záhorie Area. For this purpose we apply the Hydrus ET model. The impact of climate change was solved through the meteorological characteristics changes reconditioned by climatic scenarios CCCM 2000 particularly (Canadian model CGCM2 modified on a conditions in Slovakia). There is evaluated a groundwater level [cm] for time-frames 2010, 2030 in 20 years time interval centered in 2010, 2030 and consequently compared to reference period 1971 - 1990.

Key words: *wetland, climate change, precipitation, water regime, groundwater level, input data*

Úvod

Klimatické zmeny sa objavujú jednak ako dôsledok vnútornej variability klimatického systému ale aj vonkajších faktorov (prírodné faktory, ako sú slnečné žiarenie, oblačnosť, zrážky a faktory spôsobené ľudskou činnosťou, napr. zvyšovanie koncentrácie skleníkových plynov) v atmosfére. Prirodzená koncentrácia skleníkových plynov (GHGs) v atmosfére (vodná para, oxid uhličitý, ozón a metán) je zvyšovaná v dôsledku ľudskej činnosti od roku 1750 najmä emisiou oxidu uhličitého, ktorá vzniká pri spaľovaní fosílnych palív (uhlia, ropy a zemného plynu), ďalej tiež dodatočným metánom a oxidom dusíka, predovšetkým pri poľnohospodárskej činnosti a zmenou spôsobu využívania pôdy. Koncentráciu skleníkových plynov zvyšujú aj niektoré iné plyny, ktoré sa dlhodobo v atmosfére nevyskytujú prirodzene. Nárast koncentrácie skleníkových plynov má a bude mať za následok nárast priemernej globálnej teploty, zmeny zrážkového režimu, nárast hladiny morí a i.. Niektoré dôsledky globálneho otepľovania sú zjavné už dnes, príkladom sú extrémne javy počas v podobe sucha, vysokých úhrnov zrážok, vln tepla a rastúcej intenzity tropických cyklón a búrok (IPCC, 1998, 2001).

Klimatická zmena predstavuje vážnu hrozbu pre mnoho svetových prímorských ústí riek a mokradných ekosystémov. Mokrade v tundrách, na prériách, močiare, bažiny a iné typy mokradí tiež zohrávajú veľmi dôležitú úlohu v redukcii množstva a koncentrácie oxidu uhličitého v atmosfére. Z toho vyplýva, že deštrukcia mokradných

plôch sa môže prejaviť na raste globálneho otepľovania životného prostredia prostredníctvom uvoľňovania veľkého množstva oxidu uhličitého do atmosféry.

Zraniteľné sú aj mokrade, kde prevládajú zrážky vo forme snehu a v období jarného a letného topenia snehu sa objavuje riečny prítok. V týchto oblastiach teplota stúpa a je pravdepodobne indikovaná zvýšeným zimným odtokom a redukovaným jarným a letným prítokom. Pre niektoré z týchto oblastí by to mohlo znamenať zvýšenie rizika neskorých zimných záplav a nedostatku závlahovej vody počas období vysokého dopytu.

Zmeny v odtokových režimoch a v hladine vody do značnej miery vplývajú na status vnútrozemských mokradí. Mokrade v arídnych a semiarídnych oblastiach sú obzvlášť citlivé na zrážkové zmeny, pokles úhrnov zrážok ich môže dramaticky ovplyvniť.

Hlavné zdroje informácií o dôsledkoch klimatickej zmeny na mokrade, možnosti ich adaptácie a zmiernenia dopadov poskytujú výsledky správ Medzivládneho panelu pre zmenu klímy (IPCC), napr. (IPCC 1998, 2001). Odborný poradný orgán Ramsarskej konvencie - Vedecký a odborný hodnotiaci panel (Scientific and Technical Review Panel - STRP) pripravil na 8. stretnutie krajín (COP8) všeobecný prehľad potenciálnych dôsledkov klimatickej zmeny a úloh, ktoré mokrade môžu zohrávať pri zmiernení dopadov klimatickej zmeny a stúpajúcej hladiny mora (STRP, 2002).

Mokrade existujú v prechodnej zóne medzi akvatickým a terestriálnym prostredím a sú obzvlášť senzitivne 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 by mohla výrazne ovplyvniť ekologickú funkciu mokradí prostredníctvom zmien v hydrológii, biochémií a v akumulácii biomasy (Kusler, 1999).

Najvýraznejšie sa klimatická zmena v mokradných lokalitách odráža v zmene vodnej hladiny a príľahlej hladiny podzemnej vody (Cowardin et al., 1979). Sťahovavé vtáky, trvalo usadené zvieratá a ryby môžu stratiť zdroj vody a obživy, možnosti na hniezdenie, párenie a bezpečné útočiská pred predátormi. Klimatická zmena môže výrazne zmeniť hydroekologické pomery mokradných ekosystémov a ohroziť vzácne mokradné rastlinné spoločenstvá. Preto sa v príspevku zaoberáme hodnotením dôsledkov klimatickej zmeny na hladinu podzemnej vody v konkrétnej mokradi v Chránenej krajinskej oblasti Záhorie – v Národnej prírodnej rezervácii (NPR) Zelienska, ktorá predstavuje slatinné rašelinisko v medzidunovom priestore. Vplyv klimatickej zmeny bol riešený pomocou zmeny meteorologických charakteristík upravených klimatickými scenármi, najmä CCCM2000 (Kanadského modelu CGCM2 modifikovaného na podmienky Slovenska, Lapin et al., 2001).

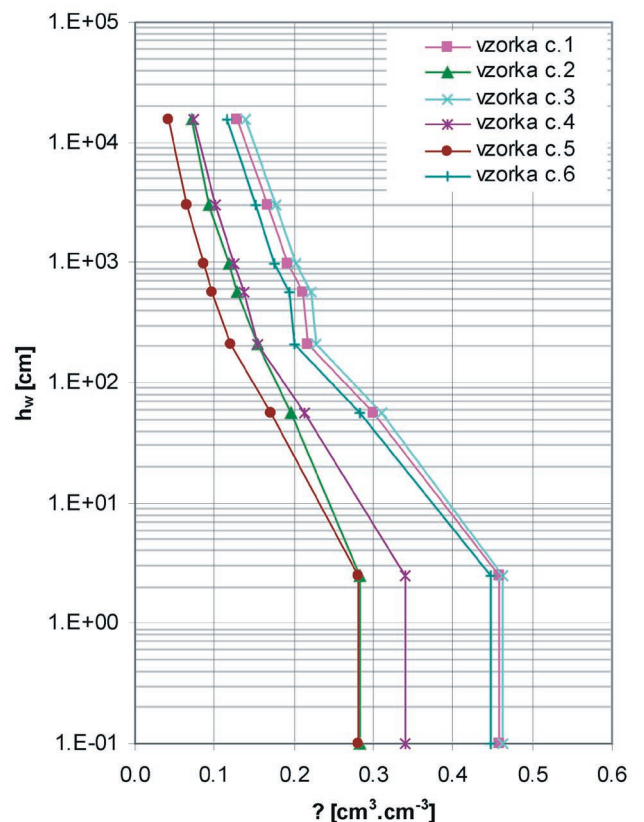
Materiál a metódy

Obraz o vodnom režime pôdy (VRP) v mokradiach možno získať z priamych meraní vlhkosti pôdy alebo matematickým modelovaním. Získavanie charakteristík vodného režimu pôdy numerickou simuláciou na matematickom modeli predstavuje progresívnu vedeckú metódu vyjadrenia kvantitatívnych údajov o procesoch prebiehajúcich v systéme podzemná voda – zóna aerácie pôdy – rastlinný kryt – atmosféra. Matematické modely už dve desaťročia slúžia ako významný nástroj pri plánovaní opatrení na ochranu životného prostredia, pri simulovaní procesov prebiehajúcich v pôde. V prípade ak chceme zohľadniť vplyv klimatickej zmeny na VRP je nutné použiť niektorý z veľkého množstva modelov, prihliadajúc na možnosti výstupov. Naším cieľom je hodnotenie vplyvu klimatickej zmeny na hladinový režim podzemných vôd v mokradi Zelienska a na tento účel chceme použiť model Hydrus ET (Šimúnek et al., 1997).

V tomto príspevku prezentujeme potrebné vstupné údaje a následnú kalibráciu uvedeného modelu. Porovnaním nameraných a simulovaných údajov sa presvedčíme o vhodnosti použitia modelu Hydrus ET na riešenie vplyvu klimatickej zmeny na hladinový režim podzemných vôd v mokradi Zelienska.

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

Pôdy v modeli sú charakterizované vlhkosťou retenčnou krivkou (VRK) a nasýtenou hydraulickou vodivosťou. Pre tento účel boli v hodnotenej lokalite odobraté neporušené pôdne vzorky z dvoch stanovišť (v strede mokrade – v blízkosti sondy hladiny podzemnej vody (HPV): vzorky č. 4, 5, 6 a v blízkosti rozvodnice: vzorky č. 1, 2, 3) z hĺbky 30 cm, na ktorých boli urobené laboratórne rozbor. Pôdny profil možno charakterizovať ako homogénny. Body odvodňovacej vetvy VRK (anglicky: water retention curve) boli vypočítané pomocou pedotransferových funkcií (Skalová, J., 2001 Šútor J., Štekauerová V., 1999), pre ktoré boli podkladom výsledky zrnitostného rozboru hustomernou metódou. Tieto body boli v ďalšom aproximované podľa Van Genuchtena, čím sa zistili parametre *alfa* a *n* vstupujúce do modelu. VRK sú znázornené na obr. 1. Nasýtená hydraulická vodivosť bola meraná na zariadení s premenlivým hydraulickým sklonom. Charakteristiky pôdy použité pri modelovaní sú uvedené v tab. 1, konkrétne išlo o vzorku pôdy č. 6.



Obr. 1 Priebeh vlhkosťných retenčných kriviek pre vzorky pôdy odobraté z mokrade Zelienska

Tab. 1 Prehľad fyzikálnych a hydrofyzikálnych charakteristík modelovaného pôdneho profilu (θ_s - vlhkosť vodou nasýtenej pôdy, θ_r - reziduálna vlhkosť, K - nasýtená hydraulická vodivosť, ρ_d - objemová hmotnosť redukovaná, α , n - Genuchtenove parametre VRK

hĺbka odberu [cm]	θ_s [cm ³ .cm ⁻³]	θ_r [cm ³ .cm ⁻³]	K [cm.d ⁻¹]	ρ_d [g.cm ⁻³]	obsah zrnitostných kategórií [%]			
					I.	II.	III.	IV.
30	0.447	0.023	60	1.3269	6.26	4.38	7.46	81.9
α [cm ⁻¹]	n	body VRK θ [cm ³ .cm ⁻³] pre h_w [cm]						
		-2.5	-56	-209	-558	-976	-3060	-15300
0.1869	1.2006	0.45	0.28	0.20	0.19	0.18	0.15	0.12

Prevažnú väčšinu územia v NPR Zelenka zaberá slatinná jeľšina, ktorá prechádza do brezovej dúbravy a zvyšok územia je tvorený borovicovými lesmi. Parametre charakterizujúce vlastnosti porastu sú odvodené od uvedeného vegetačného pokryvu. Nachádzajú sa v príslušnom vstupnom súbore, ktorý obsahuje: index listovej pokrývnosti LAI [-], drsnosť vyparujúceho povrchu z_o [-], albedo vyparujúceho povrchu α [-], hĺbka koreňovej zóny z_r [cm], relatívna kritická vlhkosť [%].

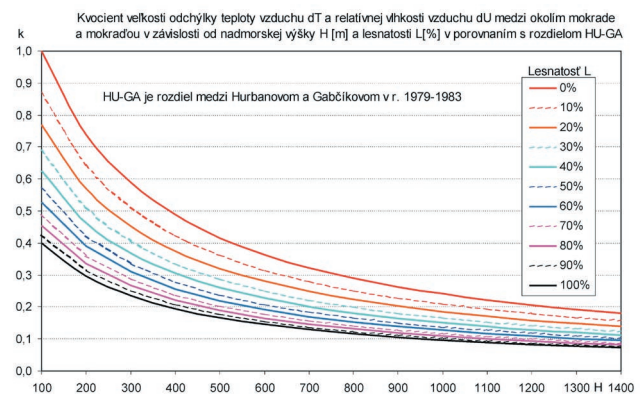
Počiatočnou podmienkou bola nameraná úroveň hladiny podzemnej vody – rok 2001: 49 cm, rok 2002: 35 cm pod terénom.

Meteorologické údaje zahŕňajú denný zrážkový úhrn Z [mm], denné priemery teploty vzduchu T [°C], dĺžku trvania slnečného svitu S [h], parciálny tlak vodnej pary p [hPa] a priemernú dennú rýchlosť vetra v [m.s⁻¹] v každom dni modelovaného obdobia.

Modifikácia meteorologických prvkov na podmienky mokrade Zelenka

Na Slovensku sú iba limitované možnosti na zistenie rozdielov klimatických a hydrologických podmienok medzi mokraďami a relatívne suchými bezlesnými plochami (teda poloh bez vplyvu kapilárneho doplnovania do nenasýtenej zóny). Z existujúcich meteorologických pozorovaní v období 1951 – 2005 spĺňajú takéto podmienky aspoň čiastočne iba 2 stanice – Hurbanovo a Gabčíkovo (v čase, keď sa stanica Gabčíkovo nachádzala priamo v lužnom lese). Po dôkladnej analýze celého radu pozorovaní sme použili 5 – ročné obdobie 1979 - 1983, pričom sme zisťovali rozdiely v mesačných priemeroch teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu. Analýza potvrdila vcelku očakávané výsledky, ktoré prezentujeme v tab. 2. a na obr. 2. Dobré interpretované rozdiely boli predovšetkým v teplých obdobiach roka. Predpokladané rozdiely medzi rozsiahlymi mokraďnými oblasťami a rozsiahlejšími suchými oblasťami

sú ovplyvnené predovšetkým aktuálnou evapotranspiráciou a tokmi energie potrebnými na výpar a na ohrievanie prízemnej vrstvy atmosféry (Tomlain, 2004).



Obr. 2 Nomogram na približný prepočet rozdielov teploty vzduchu (dT) a relatívnej vlhkosti vzduchu (dU) z tab. 2 pre rôznu nadmorskú výšku (H) a rôznu lesnatosť okolia mokrade (L) na Slovensku

Vzhľadom na to, že vo väčšej nadmorskej výške nespĺňala na podobnú analýzu žiadna dvojica podobných staníc, prijali sme nasledujúcu hypotézu:

- 1) Predpokladajme, že rozdiely teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu budú na Slovensku s nadmorskou výškou klesať až po hornú hranicu lesa, kde sa vyrovnajú.
- 2) Túto hypotézu môžeme prijať aj s ohľadom na klimatickú klasifikáciu Slovenska (Atlas krajiny SR, 2002), kde sa konštatuje, že hlavné okrsky chladnej oblasti (kde je teplota najteplejšieho mesiaca nižšia ako 16 °C) sú počas celého roka veľmi vlhké (celoročne sa aktuálna evapotranspirácia blíži k potenciálnej evapotranspirácii).

Tab. 2 Priemerný rozdiel teploty vzduchu a relatívnej vlhkosti vzduchu dT [°C] medzi stanicami Hurbanovo (115 m n.m.) a Gabčíkovo (114 m n.m.) v období 1979-1983

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
dT	0,08	0,40	0,46	0,44	0,68	0,58	0,44	0,58	0,50	0,60	0,36	0,24
dU	-3,80	-5,00	-6,20	-5,20	-4,60	-5,20	-5,40	-6,20	-6,80	-7,40	-6,60	-5,40

3) Predpokladajme, že v podmienkach lesa s úplným zapojením porastu sa aktuálna evapotranspirácia blíži k potenciálnej evapotranspirácii viac ako bezlesných čistinkách (Tomlain, 2004, Škvarénina et al., 2004), pričom aj toto priblíženie je lepšie vyjadrené vo väčšej nadmorskej výške.

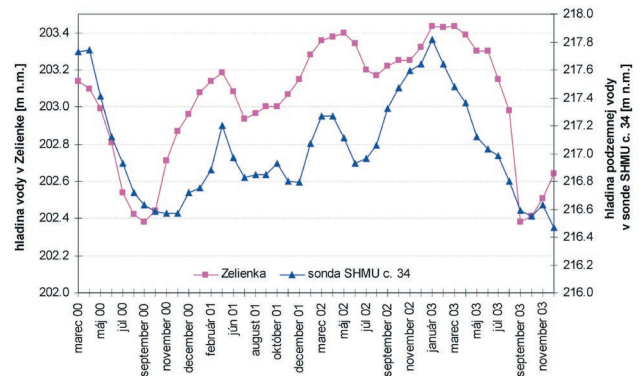
S ohľadom na tieto skutočnosti sme navrhli na ďalší výpočet exponenciálny nomogram ako hypotetický predpoklad splnenia uvedených fyzikálnych vzťahov v bodoch 1.) až 3.). Podľa tohto nomogramu iba vynásobíme rozdiely dT a dU v inej lokalite kvocientom k v závislosti od nadmorskej výšky H a lesnatosti L v okolí mokrade, teda v okolí príslušnej referenčnej stanice (obr. 2).

Pri riešení problematiky dôsledkov klimatickej zmeny na vodný režim mokrade Zelenka sme využili údaje z modelov všeobecnej cirkulácie (GCMs) CCCM (Kanadské stredisko pre klimatické modelovanie a analýzu vo Victorii, Britská Kolumbia, Kanada) 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. (2001, 2004, 2005 a 2006). V prvej fáze našej práce bola klimatická zmena riešená použitím scenárov klimatickej zmeny CCCM2000 – nehladený pre Slovensko. Ide o scenáre zmien mesačných priemerov teploty vzduchu [°C], scenáre (kvocienty) zmien mesačných úhrnov zrážok, scenáre (kvocienty) zmien mesačných súm globálneho žiarenia (možné použiť aj pre dĺžku slnečného svitu), scenáre (kvocienty) zmien mesačných priemerov mernej vlhkosti vzduchu (možné použiť aj pre tlak vodnej pary) a scenáre (kvocienty) zmien mesačných priemerov rýchlosti vetra v 50-ročnom časovom horizonte 2010 a 2030 v porovnaní s referenčnou klímou obdobia 1901-1990 (Lapin et al., 2001). Nehladené scenáre sme použili kvôli zachovaniu fyzikálnej konzistentnosti medzi jednotlivými prvkami. Na základe týchto klimatických scenárov boli upravené hodnoty meteorologických charakteristík. V prípade úhrnov zrážok sú potrebné scenáre zvlášť pre jednotlivé meteorologické stanice.

V predkladanom príspevku je hodnotená hladina vody pod terénom [cm] pre časové horizonty 2010, 2030 v 20-ročnom intervale so stredom v rokoch 2010, 2030 a následne porovnanie získaných časových priebehov hodnôt s referenčným obdobím 1971 – 1990.

Navrhnuté scenáre klimatickej zmeny pre horizonty 2010, 2030, ktoré sme použili na vytvorenie denných časových radov vyššie uvedených meteorologických charakteristík, slúžili ako jeden zo vstupov na výpočet hladiny vody pod terénom pomocou simulácie modelom HYDRUS ET. V danom modeli sa zadáva počiatočná podmienka úrovňou hladiny podzemnej vody pod terénom – pre referenčné obdobie 1971 – 1990 je to: 47 cm, pre časový horizont 2010 je to nameraná úroveň hladiny podzemnej vody v januári 2001: 49 cm, pre časový horizont 2030 je to vypočítaná úroveň hladiny podzemnej vody modelom Hydrus k 31.12.2020: 88 cm pod terénom. Ako je možné vidieť na obr. 3, 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 vychádza úroveň HPV pre referenčné obdobie zistená z rovnice lineárnej regresie, pričom ako závisle premenná vystupovala úroveň hladiny podzemnej vody v mokradi Zelenka a ako nezávisle premenná bola uvažovaná úroveň hladiny podzemnej vody v sonde SHMU č. 34, z ktorej sú k dispozícii údaje aj od roku 1971.



Obr. 3 Priebeh hladiny vody v Zelenke a hladiny podzemnej vody v sonde SHMU č. 34 za obdobie marec 2000 – december 2003

Výsledky

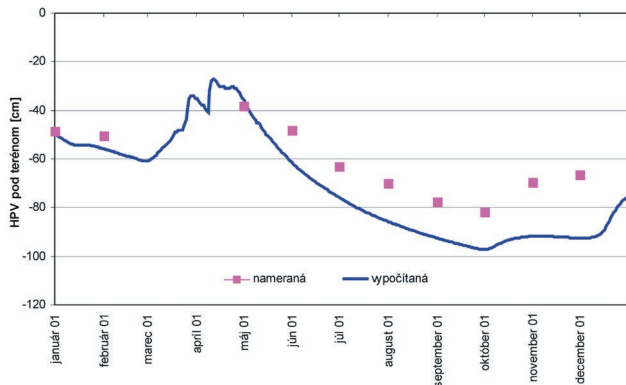
Na riešenie vplyvu klimatickej zmeny na hladinový režim podzemných vôd v lokalite Zelenka sme sa rozhodli použiť model HYDRUS ET, ktorý sme najskôr verifikovali na nameraných údajoch. Verifikované boli roky 2001 a 2002. Z obr. 4 a 5 vyplýva pomerne dobrá zhoda nameraných a vypočítaných polôh hladiny podzemnej vody.

V ďalšom kroku sme pristúpili k modelovaniu vplyvu klimatickej zmeny na HPV použitím scenárov klimatickej zmeny CCCM2000 – nehladený pre časové horizonty 2010, 2030 v 20-ročnom intervale so stredom v rokoch 2010, 2030 a následne porovnanie získaných časových priebehov hodnôt s referenčným obdobím 1971 – 1990. Výsledkom z modelovania je časový priebeh denných polôh HPV, z ktorých boli vypočítané priemerné mesačné a ročné hodnoty (obr. 6 a 7). Do obr. 7, kde je znázornený časový priebeh priemerných ročných HPV, sú vložené aj trendové čiary pre hodnotené situácie.

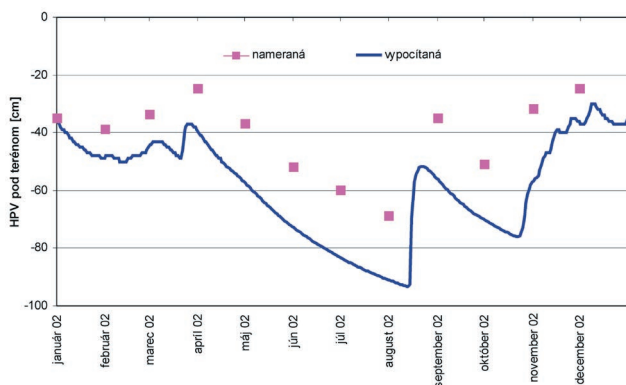
Ako je možné vidieť z obr. 6 a 7, časový chod HPV vypočítaných pomocou vstupných upravených meteorologických charakteristík podľa scenárov CCCM2000 v modeli HYDRUS ET predpokladá nárast hodnôt v oboch horizontoch v porovnaní s časovým priebehom vypočítaného s použitím meteorologických charakteristík referenčného obdobia 1971 – 1990. Dokazujú to aj v grafe (obr. 7) vynesené trendové čiary pre jednotlivé situácie. Tento stav môže byť spôsobený tým, že pri oboch časových horizontoch (2010, 2030) vychádzajú vyššie úhrny zrážok v porovnaní s referenčným obdobím (obr. 8). Najvyšší nárast HPV je zistený 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 vypočítaná pre rok 2020 (rok 1990 v prípade časového horizontu 2010): 99 cm pod terénom a pre rok 2040 (rok 1990 v prípade časového horizontu 2030): 109 cm pod terénom.

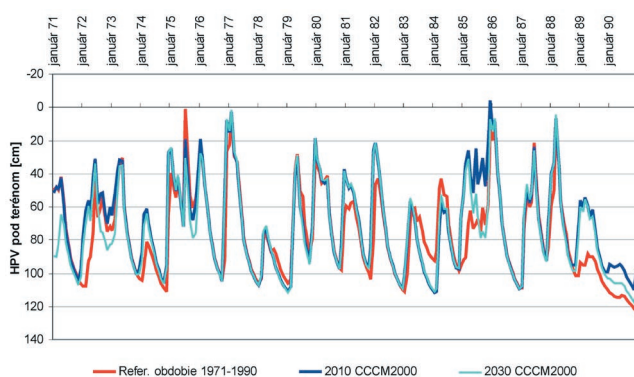
Veľmi dôležitými meteorologickými prvkami ovplyvňujúcimi priebeh HPV sú úhrny zrážok a teplota vzduchu a pre komplexnosť uvádzame ich grafický priebeh. Na obr. 8 sa nachádzajú ročné úhrny zrážok a na obr. 9 sú to ročné priemery teploty vzduchu.



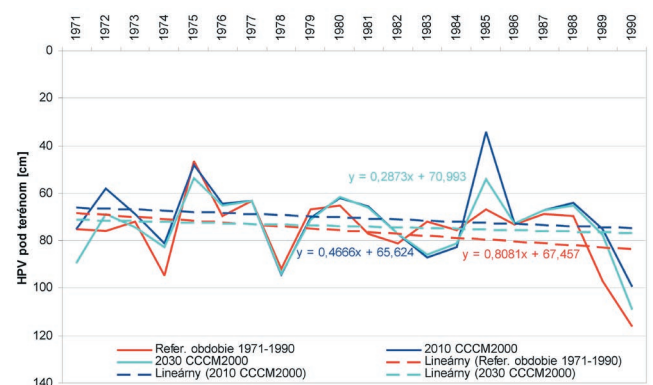
Obr. 4 Namerané a modelom HYDRUS ET vypočítané polohy hladiny podzemnej vody pod terénom za rok 2001



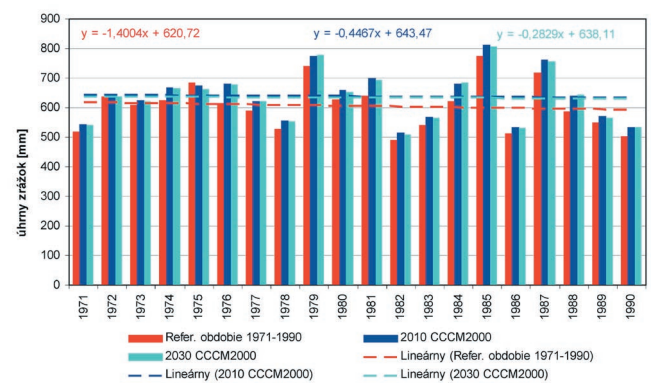
Obr. 5 Namerané a modelom HYDRUS ET vypočítané polohy hladiny podzemnej vody pod terénom za rok 2002



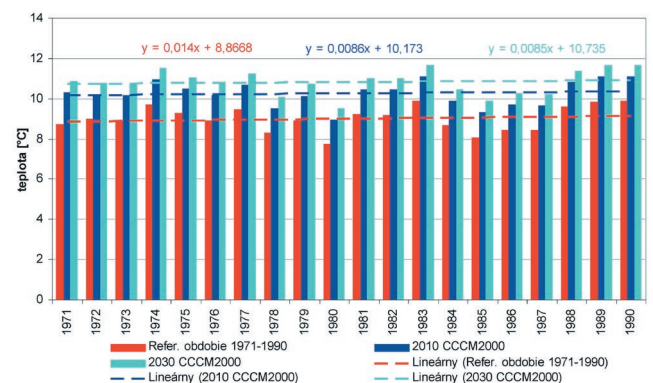
Obr. 6 Časový priebeh priemerných mesačných úrovní hladiny podzemnej vody vypočítaných modelom HYDRUS ET pre referenčné obdobie 1971 - 1990 a s použitím meteorologických charakteristík upravených podľa scenárov CCCM2000 - nehladený pre časový horizont 2010, 2030



Obr. 7 Časový priebeh priemerných ročných úrovní hladiny podzemnej vody vypočítaných modelom HYDRUS ET pre referenčné obdobie 1971 - 1990 a s použitím meteorologických charakteristík upravených podľa scenárov CCCM2000 - nehladený pre časový horizont 2010, 2030



Obr. 8 Časový priebeh ročných úhrnov zrážok pre referenčné obdobie 1971 - 1990 a upravených podľa scenáru CCCM2000 - nehladený pre časový horizont 2010, 2030



Obr. 9 Časový priebeh ročných priemerov teploty vzduchu pre referenčné obdobie 1971 - 1990 a upravených podľa scenáru CCCM2000 - nehladený pre časový horizont 2010, 2030

Záver

Mokrade sú dôležitými ekosystémami, ktoré poskytujú všeobecnevýznamné sociálne, ekonomické a environmentálne výhody. Klimatická zmena pravdepodobne má na ne vplyv a redukuje ich schopnosť poskytovať tieto benefity. Z výsledkov vyplýva, že klimatická zmena v súčinnosti s narastajúcimi koncentraciami oxidu uhličitého a iných skleníkových plynov v atmosfére, by v prípade medzidunovej mokrade Zelienka na Záhorí nemala negatívne ovplyvniť jej hladinový režim, a teda viesť k deštrukcii mokradnej plochy.

Ukazuje sa, že mimoriadny význam môže mať zmena režimu denných úhrnov zrážok a iných meteorologických prvkov, čo sa metódou využitou v tomto spracovaní nedalo dostatočne spoľahlivo modelovať.

Podakovanie

Autori ďakujú za finančnú podporu z projektov APVT-51-019804, APVT-51-017804, VEGA No. 1/1042/04 a VEGA 1/2141/05, v rámci ktorých príspevkov vznikol.

Literatúra

Atlas krajiny Slovenskej republiky, 2002: Mapy a prílohy č. 27, 30, 31, 32, 33, 39, 40, 52, 58, 62 a texty na s. 326, 327, 334, 335. L. Miklós ed. Ministerstvo životného prostredia SR Bratislava a Agentúra životného prostredia Banská Bystrica 2002, 344 s., ISBN 80-88833-27-2.

Balajka J., Lapin M., Mindáš J., Štastný P., Thalmainerová D., 2005: The fourth national communication of the Slovak Republic on climate change. Slovak Ministry of Environment, 2005, 114+32 pp. URL <http://unfccc.int/resource/docs/natc/slkn4.pdf>

Cowardin, L. M., Carter, V., Golet, F. C., LaRoe, E. T., 1979: Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of the United States. FWS/OBS - 79/31, U. S. Fish and Wildlife Service, Washington, DC. 103 pp.

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.

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.

Kusler, J., 1999: Climate Change in Wetland Areas part I: Potential Wetlands Impacts and Interactions. In: Acclimations, May - June 1999, Newsletter of the US National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability and Change

Lapin, M., Damborská, I., Melo, M., 2001: Scenarios of Several Physically Plausible Climatic Elements (Scenáře 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)

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.

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 súčasnosti a budúcnosti, Medzinárodná vedecká konferencia, Brno-Křtiny, 12-14.9.2005, 15 s. na CD, ISBN 80-86690-31-08.

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.

Pekárová P., Szolgay J. (eds.), 2005: Assessment of climate change impacts on selected components of the hydrosphere and biosphere in Hron and Váh river basins. VEDA, Bratislava 2005, 496 pp.

Scientific and Technical Review Panel (STRP) of the Ramsar Convention on Wetlands, 2002: Ramsar COP8 DOC. 11: Climate Change and Wetlands - Impacts, Adaption and Mitigation. Draft resolution COP8 (8th meeting of the Conference of the Parties), Ramsar Convention Bureau, Gland, Switzerland, 14. August 2002, http://www.ramsar.org/cop8/cop8_doc_11_e.htm

Šimúnek, J., Huang, K., Šejna, M., Van Genuchten, Th.M. Majerčák, J., Novák, V., Šútor, J., 1997: The HYDRUS ET Software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Version 1.1. U.S. Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, California and Institute of Hydrology SAS, Bratislava, Slovakia. IH SAS Bratislava.

Škvarenina J., Križová E., Tomlain J., 2004: Impact of the climate change on the water balance of altitudinal vegetation stages in Slovakia. Ecology, Bratislava, Vol. 23, Supplement 2/2004, 13-29.

Szolgay J., Hlavčová K., Lapin M., Danihlík R., 2003: Impact of climate change on mean monthly runoff in Slovakia. Slovak Met. Journal, Vol. 6, No. 3, 9-22.

Skalová, J., 2001: Pedotransferové funkcie pôd Záhorkej nížiny a ich aplikácia pri modelovaní vodného režimu pôdy. SvF STU Bratislava, 112 s.

Šútor J., Štekauerová V., 1999: Určovanie bodov vlhkostnej reteenčnej čiary zo základných fyzikálnych charakteristík pôdy. In : Vplyv antropogénnej činnosti na vodný režim nížinného územia. ÚH SAV, Michalovce - Zemplínska Šírava, str.151-157.

Szolgay J., Parajka J., Hlavčová K., 2005: On the spatial consistency of grid maps of the long-term mean annual potential and actual evapotranspiration. Slovak Met. Journal, Vol. 8, No. 3, 121-130.

Tomlain J., 2004: Contribution to humid conditions in Slovakia. Acta Meteorologica Univ. Comeniana, Vol. XXXIII, 2004, 21-30.