

Vplyv manažmentu na vodný režim mokrade

B. JAROŠ⁽¹⁾, J. SKALOVÁ⁽¹⁾ and V. NOVÁK⁽²⁾

⁽¹⁾ Katedra vodného hospodárstva krajiny, Stavebná fakulta STU, Bratislava (e-mail: jaros@svf.stuba.sk, skalova@svf.stuba.sk)
⁽²⁾ Ústav hydrologie, SAV, Bratislava (e-mail: novakv@uh.savba.sk)

Abstract The soil water regime (SWR) changes occurred in the Kláštorské lúky natural reserve area during the last decade was caused by change of the groundwater level, by change of the vegetation cover and by the management of the wetland. The original vegetation cover represented by the shrubbery and the associations of the rare grass were replaced by common reed. In some parts of reservation there are using the different management practices e.g. mowing to assign natural succession. These reasons can evoke the change of the evapotranspiration and subsequently the soil water regime change in the Kláštorské lúky area. From that reason we decide to evaluate the soil water regime (SWR) for the mentioned management practice and also the shape of the groundwater level. The appropriate method of the soil water regime evaluation (in the case when the monitoring data are lacking) is mathematical simulation. The mathematical model Hydrus-ET was used for solving this problem, which calculate not only the SWR but also the groundwater level.

Key words: soil water regime, management, wetland, groundwater level, evapotranspiration

Úvod

Mokrade patria medzi zložité a citlivé ekosystémy, ktoré sú charakteristické výskytom hladiny podzemnej vody na alebo blízko povrchu terénu. Medzi takýto významný mokradný systém patrí aj ŠPR Kláštorské Lúky. Podzemné vody na území ŠPR v dôsledku geologickej stavby územia a pomerov prúdenia podzemnej vody plošne vystupujú a vytvárajú tak priaznivé podmienky pre špecifické, chránené spoločenstvá rastlín. Príspevok je zameraný na analýzu vodného režimu mokrade Kláštorské lúky, kde v priebehu posledného desaťročia došlo k zmene manažmentu mokrade a aj k zmene rastlinného krytu. Pôvodný porast pozostávajúci na určitej časti územia z krovín a vzácnych trávnych spoločenstiev, bol vo veľkej miere nahradený trstím, čo mohlo vyvolať zmenu evapotranspirácie a následne aj zmenu vodného režimu pôdy v ŠPR. Na ďalšej časti mokrade je trávnatý porast, ktorý bol v minulosti kosný 2 x počas vegetačného obdobia a v súčasnosti len jedenkrát. Aj tento spôsob manažmentu môže ovplyvniť vodný režim pôdy (VRP) a preto sme sa rozhodli zhodnotiť charakteristiky VRP pre trávnatý porast a manažment pozostávajúci z kosby. Vhodná metóda určenia VRP v prípade, keď nemáme k dispozícii monitorované údaje je matematické modelovanie. Pri riešení uvedeného problému bude použitý model Hydrus - ET. Jeho vhodnosť pre riešenie tohto problému bude dokumentovaná porovnaním nameraných a simulovaných úrovní hladín podzemnej vody (HPV).

Geomorfologické, geologické a hydrogeologické pomery

Štátna prírodná rezervácia Kláštorské Lúky (859 915 m²) sa nachádza v CHKO Strážovské vrchy, pri obciach Kláštor

pod Znievom, Príbovce, Valča. Mokradou preteká potok Suchá Vrčica, ktorý sa vlieva do toku Turiec. Hodnotené územie sa nachádza v oblasti mocného komplexu štrkovej formácie martinských vrstiev obmedzených z východu a zo západu tektonicky. Na západe je to zlom smeru SSV - JJZ, podľa ktorého sa komplex štrkovej formácie stýka s fáciou bazálnych štrkov a zlepcov. Tento sa zase západne od obcí Kláštor pod Znievom a Lazany stýka s dobre zvodneným mezozoickým komplexom stredotriasových vápencov a dolomitov chočskej tektonickej jednotky.

Na východe prechádza zlomové obmedzenie približne severo-južného smeru zhruba od obce Ležiachov po Turčiansky Ďur. Tento zlom, ktorý má veľký význam pre ŠPR sa nazýva Ležiachovský zlom. Hydrogeologické vrty situované východne od tohto zlomu dokumentovali vápňité íly neogénu v podloží fluviálnych sedimentov. Územie ŠPR Kláštorské lúky sa nachádza na východ od Ležiachovského zlomu, preto i podložie štrkovo-piesčitých sedimentov poriečnej nivy Turca na území ŠPR je tvorené nepriepustnými ílmi neogénnej formácie vápňitých ílov.

Hydrogeologické vrty ako i geofyzikálny prieskum vykonaný v rámci starších geologicko - prieskumných prác (Krautschneiderová, 1979) zistili i priečny zlom približne rovnobežný s tokom Suchoj Vrčice, ktorý prakticky kolmo pretína Ležiachovský zlom. Vyzdvihnuté ílové nepriepustné podložie sa teda na ploche ŠPR môže nachádzať vo veľmi malej hĺbke pod terénom.

Priepustný komplex karbonatických štrkov a zlepcov má výraznú filtračnú anizotropiu vo vertikálnom i v horizontálnom smere. Hodnota koeficienta filtrácie smerom do hĺbky klesá až viac ako 10 násobne. Podstatne

priepustnejšia je najvrchnejšia časť súvrstvia do hĺbky 20 - 30 m a to následkom jej vynorenia a rozvoľnenia hlavne v dôsledku periglaciálnych pochodov. Dobré priepustné sú i kvartérne štrky a piesky. Tvoria najmä poriečnu nivu a nivnú terasu Turca a jeho ľavostranného prítoku - Sučej Vríce (Drahoš, 1991).

Materiál a metódy

Charakteristiky režimu vody v pôde ako aj sezónne chody a úhrny evapotranspirácie boli vypočítané pomocou jednorozmerného matematického modelu Hydrus-ET, ktorý reprezentuje softwarový program pre simuláciu pohybu vody, tepla a roztokov vo vodou nenasýtenom pórovitom prostredí. Tento model bol vyvinutý v U.S. Salinity Laboratory, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service Riverside, California (Šimůnek et al., 1997) na báze modelu HYDRUS 1D. Model pozostáva z podprogramov, ktoré sa podieľajú na pohybe podpovrchovej vody, tepla a roztokov v pôde. V modeli je tiež zahrnuté prostredie pre grafickú interpretáciu. Procedúry pre výpočet evaporácie, transpirácie, evapotranspirácie a intercepcie zo zrážok sú prebraté z modelu Global (Majerčák, Novák, 1994, Novák, 1995).

Model Hydrus-ET počíta vertikálne rozdelenia vlhkosti pôdy a vlhkosťného potenciálu pôdnej vody v závislosti na čase, počiatočnej a okrajových podmienkach. Model HYDRUS - ET bol použitý v podmienkach, keď koncentrácia vo vode rozpustených chemických látok je zanedbateľná. Patrí do skupiny jednorozmerných vertikálnych modelov, ktoré využívajú Richardsovu v tvare:

$$\frac{\partial h_w}{\partial t} = \frac{1}{C(h_w)} \cdot \frac{\partial}{\partial z} \left[k(h_w) \cdot \left(\frac{\partial h_w}{\partial z} + 1 \right) \right] - \frac{S(z, t)}{C(h_w)}$$

kde h_w - vlhkosťný potenciál pôdy [cm],
 $k(h_w)$ - nenasýtená hydraulická vodivosť pôdy [cm.s⁻¹],
 $S(z, t)$ - priestorovo a časovo závislá funkcia odberu alebo prítoku vody [cm³.s⁻¹],

$$C(h_w) = \frac{\partial \theta}{\partial h_w} \quad \text{- merná vodná kapacita [cm⁻¹],}$$

θ - objemová vlhkosť pôdy [cm³.cm⁻³],
 z - vertikálna súradnica [cm],
 t - časová súradnica [s].

Pri riešení parciálnych diferenciálnych rovníc opisujúcich prenos vody v pôde pomocou modelu Hydrus-ET je nutné určiť podmienky v ktorých sa opisovaný proces deje, a preto je potrebné definovať:

- geometrickú oblasť v ktorej prebieha proces prenosu vody,
- hydrofyzikálne charakteristiky a parametre pôdy,
- počiatočnú podmienku, definujúcu stav v ktorom sa

- systém nachádza na začiatku jeho skúmania,
- okrajové podmienky, definujúce vzájomné spolupôsobenie geometricky vymedzenej oblasti systému (na jeho hraniciach) s okolím.

Rozhodli sme sa simulovať vodný režim pôdy počas vegetačného obdobia roku 2000 pre tri prípady manažmentu mokrade: trávnatý porast nekosený, 1krát kosený - 19.8.2000 a 2 krát kosený - 29.5. a 19.8.2000. Tieto termíny boli zvolené na základe konzultácie s pracovníkmi NP Veľká Fatra, ktorý spravuje hodnotenú oblasť.

Hydrofyzikálne vlastností pôdy potrebné pre model boli určené meraním na vzorkách pôdy, ktoré boli odobrané v záujmovej oblasti (tab.1) (Skalová, J., 2001 Šútor J., Štekauerová V., 1999).

Tab. 1 Hydrofyzikálne charakteristiky vstupujúce do modelu (K - nasýtená hydraulická vodivosť, α n Genuchtenove parametre vlhkosťnej retenčnej krivky, Θ_s - plná vodná kapacita, Θ_r - reziduálna vlhkosť)

Θ_r [cm ³ .cm ⁻³]	Θ_s [cm ³ .cm ⁻³]	α [cm ⁻¹]	n [-]	K [cm/d]
0,02	0,54	0,2322	1,19	140

Hornú okrajovú podmienku tvorí súbor priemerných denných hodnôt klimatických prvkov a údaje o poraste (Šimůnek et al., 1997).

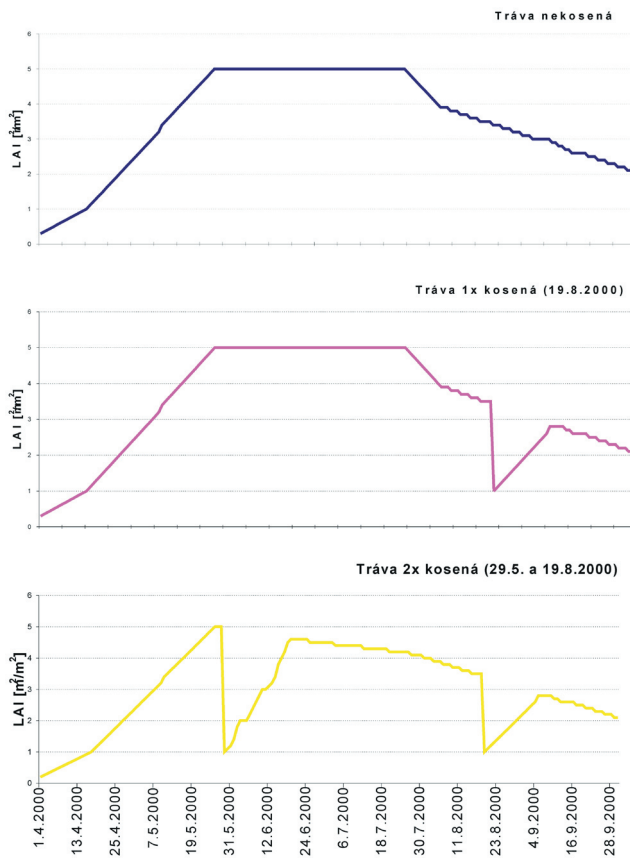
Klimatické charakteristiky prízemnej vrstvy atmosféry boli použité z najbližšej meteorologickej stanice Martin pre rok 2000:

- denný zrážkový úhrn Z [mm],
- priemerné denné teploty T [°C],
- dĺžku trvania slnečného svitu s_f [h],
- parciálny tlak vodných pár e_v [hPa],
- priemernú dennú rýchlosť vetra u [ms⁻¹].

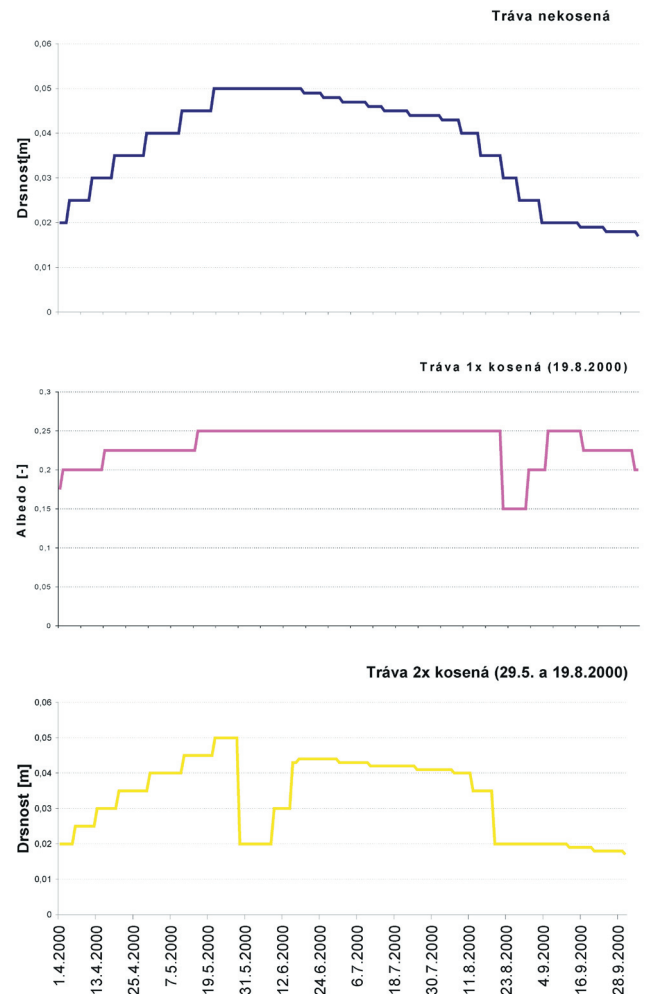
Údaje o poraste obsahujú:

- index listovej pokrývnosti ω_0 [m².m⁻²],
- drsnosť vyparujúceho povrchu z_0 [m],
- albedo vyparujúceho povrchu α [-],
- hĺbku koreňového systému z_r [cm].

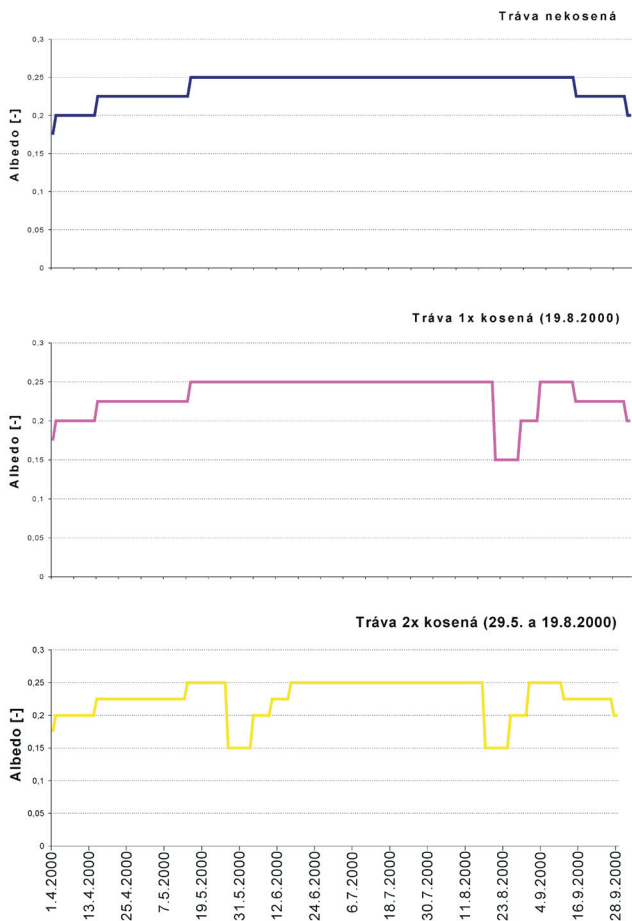
Charakteristiky porastu boli pre jednotlivé prípady upravené podľa termínu kosenia trávy v priebehu vegetačného obdobia. Tak isto sa uvažovalo s prípadom, kedy nebol porast kosený vôbec. Priebehy jednotlivých charakteristik porastu (LAI, drsnosť, albedo) pre všetky tri hodnotené prípady je možné vidieť na obr.1, 2 a 3.



Obr.1 Priebek indexu listovej pokrývnosti (LAI) počas vegetačného obdobia pre trávnatý porast nekosený, kosený 1x (19.8.2000) a kosený 2x (29.5. a 19.8.2000)



Obr. 2 Priebek drsnosti porastu počas vegetačného obdobia pre trávnatý porast nekosený, kosený 1x (19.8.2000) a kosený 2x (29.5. a 19.8.2000)



Obr. 3 Priebeh albeda porastu počas vegetačného obdobia pre trávnatý porast nekosený, kosený 1x (19.8.2000) a kosený 2x (29.5 a 19.8.2000)

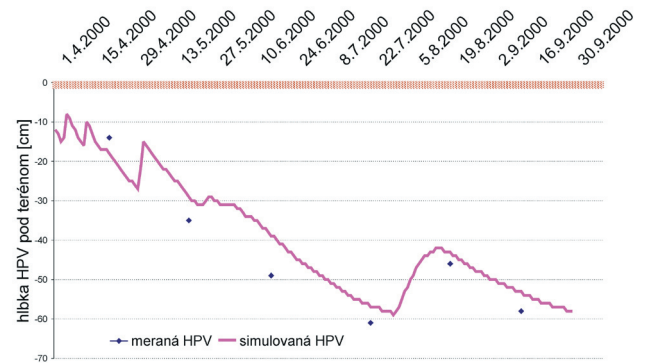
Výsledky

Územie mokrade Kláštorské lúky je unikátnym systémom, v ktorom sa nachádza viacero významných rastlinných druhov. Z tohto dôvodu bol porovnávaný rôznych spôsob manažmentu mokrade a jeho vplyv na vodný režim mokrade. Ako už bolo spomínané, matematický model Hydrus ET, ktorý bol mnohokrát verifikovaný je vhodným nástrojom na simuláciu pohybu vody v zóne aerácie pôdy aj HPV. Napriek tomu bola overená jeho vhodnosť aj pre túto konkrétnu mokrad.

V predmetnom území sa nachádza sieť 19 monitorovacích sond hladín podzemnej vody, v ktorých sa poloha HPV meria od roku 1996. Vyhodnotenie režimu HPV za obdobie 1996–2003 je možné nájsť v práci Jaroš et al.(2006).

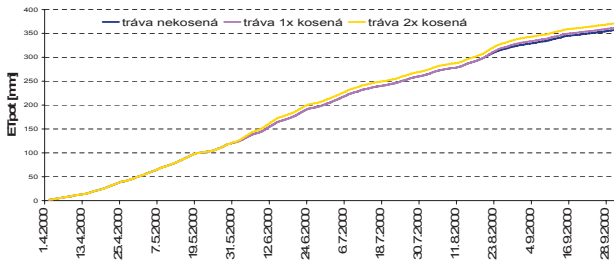
Kalibrácia modelu bola urobená pre vegetačné obdobie roku 2000 (1.apríl – 30.september) pre oblasť najviac zaujímavú z hľadiska biodiverzity (výskyt významných rastlinných spoločenstiev). V tejto oblasti sa nachádza sonda HPV č.6 a v jej blízkosti sa odobrali pôdne vzorky, ktorých charakteristiky boli použité v modeli (tab.1). Pôdny profil sme považovali za homogénny a uvažovali sme s vrstvou 0–100 cm. Na obr. 4 je vidieť priebeh nameranej a simulovanej

HPV v sonde č.6. Rozdiely medzi nameranými polohami HPV a vypočítanými modelom Hydrus ET sú minimálne, odchýlky sa pohybujú v rozsahu od 3 do 10 cm. Na základe tohto porovnania možno povedať, že model Hydrus ET je vhodný na simuláciu pohybu vody v pôde v mokradi Kláštorské lúky.

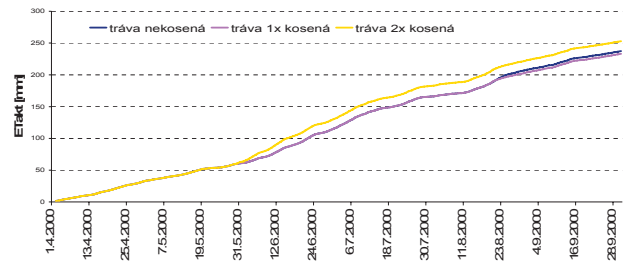


Obr. 4 Priebeh nameranej a simulovanej hladiny podzemnej vody v sonde č. 6 nachádzajúcej sa v oblasti Kláštorských lúk

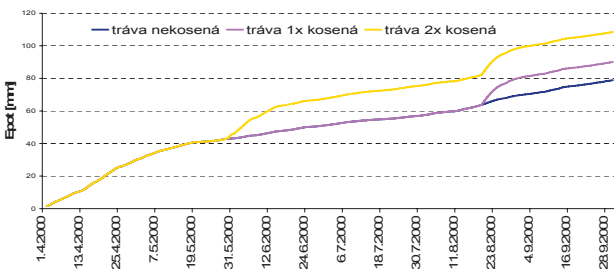
Na základe dobrých výsledkov predchádzajúcej analýzy, sme mohli pristúpiť k simulácii vodného režimu pôdy pre už popísané spôsoby manažmentu mokrade. Z výstupov modelu Hydrus-ET sme sa zamerali na evapotranspiráciu a jej zložky (evaporáciu a transpiráciu), nakoľko významnou mierou vplýva na VRP a aj na HPV. Z denných výstupov modelu sme použili kumulatívne hodnoty, pretože denné priebehy jednotlivých zložiek nie sú dostatočne názorné. V obrázkoch sme zachytili priebeh potenciálnej a aj aktuálnej evaporácie, transpirácie a evapotranspirácie počas vegetačného obdobia roku 2000 (obr.5, 6, 7, 8, 9, 10). Kumulatívne hodnoty potenciálnej a aktuálnej evapotranspirácie ako aj jednotlivých zložiek za hodnotené obdobie sú v tab. 2.



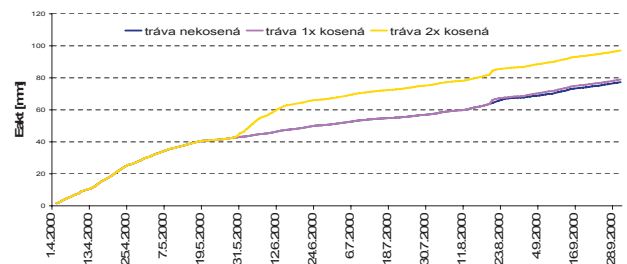
Obr. 5 Kumulatívna potenciálna evapotranspirácia (ET_{pot}) pre tri simulované prípady - nekosenú, 1 krát (19.8.2000) a 2 krát kosenú trávu (29.5 a 19.8.2000)



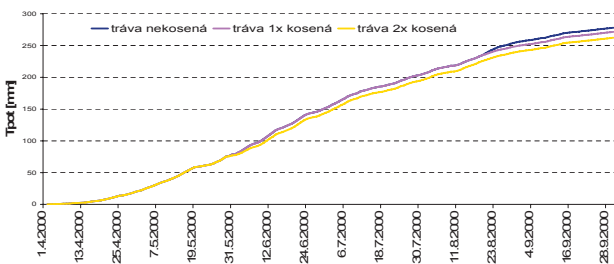
Obr. 8 Kumulatívna aktuálna evapotranspirácia (ET_{akt}) pre tri simulované prípady - nekosenú, 1 krát (19.8.2000) a 2 krát kosenú trávu (29.5 a 19.8.2000)



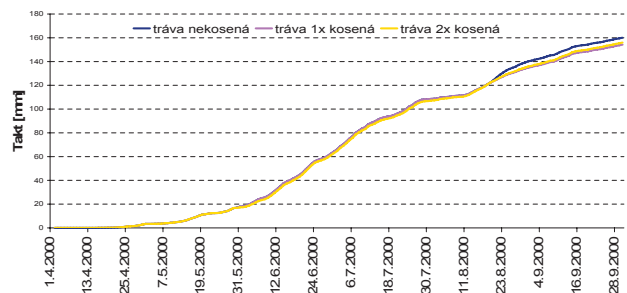
Obr. 6 Kumulatívna potenciálna evaporácia (E_{pot}) pre tri simulované prípady - nekosenú, 1 krát (19.8.2000) a 2 krát kosenú trávu (29.5 a 19.8.2000)



Obr. 9 Kumulatívna aktuálna evaporácia (E_{akt}) pre tri simulované prípady - nekosenú, 1 krát (19.8.2000) a 2 krát kosenú trávu (29.5 a 19.8.2000)



Obr. 7 Kumulatívna potenciálna transpirácia (T_{pot}) pre tri simulované prípady - nekosenú, 1 krát (19.8.2000) a 2 krát kosenú trávu (29.5 a 19.8.2000)



Obr. 10 Kumulatívna aktuálna transpirácia (T_{akt}) pre tri simulované prípady - nekosenú, 1 krát (19.8.2000) a 2 krát kosenú trávu (29.5 a 19.8.2000)

Tab. 2 Kumulatívne hodnoty potenciálnej a aktuálnej evaporácie, transpirácie a evapotranspirácie vypočítané modelom Hydrus ET počas vegetačného obdobia roku 2000

	Evaporácia [mm]		Transpirácia [mm]		Evapotranspirácia [mm]	
	<i>pot</i>	akt	<i>pot</i>	akt	<i>pot</i>	akt
nekosená tráva	80	78	279	161	359	239
1x kosená tráva	91	80	272	155	363	235
2x kosená tráva	109	98	263	157	372	255

Priebeh kumulatívnej potenciálnej evapotranspirácie (ET_{pot} – obr.5) je pre všetky tri prípady rovnaký až do 29.5.2000, kedy došlo ku skoseniu trávy u 2x kosenej trávy, následkom čoho sa zvýšila ET_{pot} a jej priebeh až do konca hodnoteného obdobia stále prevyšuje zvyšné dva riešené prípady. Najnižší priebeh kumulatívnej ET_{pot} má nekosená tráva. 19.8.2000 došlo k druhému koseniu, kedy sa zvýšila ET_{pot} aj u 1x kosenej trávy. Z tab.2 vyplýva, že hodnota kumulatívnej ET_{pot} za vegetačné obdobie je 359 mm pre nekosenú trávu, 363 mm pre trávu 1x kosenu a 372 mm pre 2x kosenu trávu.

Kumulatívna potenciálna evaporácia E_{pot} má podobný priebeh ako ET_{pot} , avšak rozdiely medzi jednotlivými prípadmi sú oveľa viac viditeľnejšie. Je to dôsledok toho, že pri kosbe došlo k zmene charakteristík porastu, znížilo sa albedo (súčiniteľ odrazu), čím sa zvýšil príkon energie na vyparujúci povrch, znížila sa drsnosť porastu, dôsledkom čoho sa zvýšil výpar a znížila transpirácia. Kumulatívna potenciálna transpirácia (T_{pot}) je najvyššia u nekosennej trávy, pretože nedošlo k zníženiu hodnôt indexu listovej pokrývnosti (LAI), od ktorej závisí. A naopak najnižšia hodnota T_{pot} je tam, kde sa kosilo častejšie a znížila sa hodnota LAI – 2x kosena tráva.

Hodnoty aktuálnej evaporácie (obr.9) sú najvyššie pre 2x kosenu trávu - 98 mm, z dôvodov, ktoré boli uvedené vyššie. Úhrn E_{akt} za hodnotené obdobie pre nekosenú trávu je 78 mm a pre trávu 1x kosenu je 80 mm. Čo sa týka hodnotenia aktuálnej transpirácie, simuláciou boli zistené minimálne rozdiely v úhrnoch za vegetačné obdobie. Najvyššia je tráva nekosená – 161 mm, pre trávu 1x kosenu – 155 mm a 2 x kosenu – 157 mm.

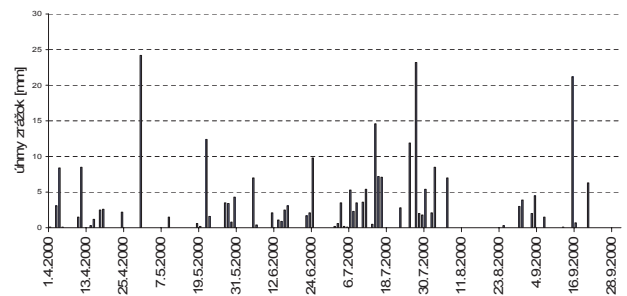
Pri kumulatívnej aktuálnej evapotranspirácii ET_{akt} je jej priebeh zhodný s ET_{pot} , až po obdobie druhého kosenia (19.8.2000). Od tohto dňa priebeh ET_{akt} nekosennej trávy prevyšuje ET_{akt} trávy 1x kosenej. Pri hodnotení uvedených manažmentových spôsobov bola zistená najvyššia kumulatívna aktuálna evapotranspirácia pre 2x kosenu trávu – 255 mm, pre nekosenú trávu to bolo 239 mm a pre 1x krát kosenu trávu 235 mm.

Okrem evapotranspirácie majú na priebeh HPV výrazný vplyv zrážky. Ich priebeh počas vegetačného obdobia roku 2000 je znázornený na obr. 11.

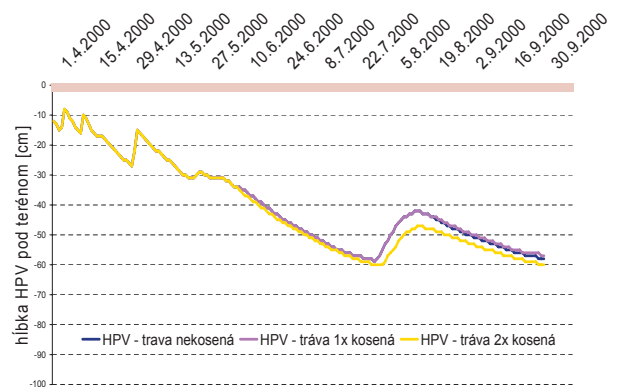
Na obr.12 je priebeh hladín podzemnej vody vypočítaný pre rozdielne druhy hospodárenia v ŠPR Kláštorské lúky. Na konci vegetačného obdobia klesla najhlbšie HPV pod porastom 2x kosným, nad ňou je HPV nekosennej trávy a najvyššia HPV je pod raz kosenu trávou. Toto poradie polohy HPV zodpovedá kumulatívnej aktuálnej evapotranspirácii troch rozdielne obhospodarovaných porastov (pozri tab.2). Rozdiely medzi hĺbkami HPV vo všetkých troch prípadoch sú minimálne, čo je dôsledkom malých rozdielov vo vlastnostiach porastov počas vegetačného obdobia.

Z priebehu HPV vyplýva, že v prípade Kláštorských lúk a vegetačného obdobia roku 2000 nie je vplyv manažmentu

významný. Rozdiel v úrovniach HPV sa pohybuje okolo 3 cm.



Obr. 11 Priebeh denných úhrnov zrážok počas vegetačného obdobia roku 2000 z meteorologickej stanice Martin



Obr. 12 Priebeh simulovanej polohy HPV pre tri prípady obhospodarovania v ŠPR Kláštorské lúky - nekosenú, 1 krát (19.8.2000) a 2 krát kosenu trávu (29.5 a 19.8.2000)

Záver

Výpočtom polôh hladín podzemnej vody matematickým modelom HYDRUS-ET v podmienkach ŠPR Kláštorské lúky bolo zistené, že rozdiely vo zvolených spôsoboch hospodárenia (nekosená tráva, raz kosena a dva razy kosena tráva) ovplyvňujú hĺbky HPV, avšak rozdiely v HPV v ich dôsledku sú malé, dosahujú najviac 5 cm.

Najhlbšie je HPV pod porastom 2x kosenej trávy, čo je dôsledok zníženého albeda vyparujúceho povrchu počas kosieb a zvýšeného príkonu energie, ktorá bola využitá na latentné teplo výparu, ako aj zníženého súčiniteľa drsnosti, po kosbe.

Môžeme konštatovať, že tie spôsoby hospodárenia, ktoré boli modelované nespôsobujú významné rozdiely v hĺbkach HPV a teda nie sú kritické z hľadiska zachovania vhodných podmienok (vysoká HPV) pre reliktné rastlinné spoločenstvá.

Rozhodujúci vplyv na polohu HPV majú zrážky, ktoré ovplyvňujú hladinu vody v rieke Turiec a v jej prítokoch, spôsob hospodárenia nemá na polohu HPV významný vplyv.

Podakovanie

Autori ďakujú za pomoc NP Veľká Fatra a za finančnú podporu z projektov APVT-51-019804, APVT-51-017804, VEGA 1/1042/04 a VEGA 1/2141/05, v rámci ktorých príspevok vznikol.

Literatúra

Drahoš M., 1991: Štátna prírodná rezervácia Kláštorské lúky (Inventarizačný výskum), časť Hydrogeologický prieskum – ÚŠOP – stredisko Banská Bystrica.

Jaroš B., Chilová V., Konvit I., 2006: Zmeny režimu hladín podzemných vôd v mokradnej oblasti Kláštorských lúk, 5. konferencia mladých vodohospodárov: Zborník referátov, ÚH SAV Bratislava, 2006, ISBN 80-85754-15-0

Krauschneiderová M., 1979: Turčianskakatlina-Ležiachov, predbežný hg prieskum., Archív IGHP Žilina.

Majerčák J., Novák V., 1994: GLOBAL - a numerical model for water movement in the soil root zone. Research Report, Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, December 1994, 75 pp.

Novák V., 1995: Vyparovanie vody v prírode, VEDA SAV Bratislava, 260 str. ISBN 80-224-0409-8

Skalová J., 2001: Pedotransferové funkcie pôd Záhorskej 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.

Šimunek, J., Huang, K., Šejna, M. et al. , 1997: The HYDRUS-ET Software Package For Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat and Multiple Solutes In Variably-Saturated Media. Bratislava: IH SAS, 1997. 185 p. ISBN 80-967808-0-8