POTREBA VODY PRI ZÁVLAHE ŠPECIÁLNYCH KULTÚR V ZMENENÝCH KLIMATICKÝCH PODMIENKACH.

Bárek,V.Halaj,P.Igaz,D.

ABSTRAKT
Rýchla zmena klímy môže spôsobiť nestabilitu väčšiny poľnohospodárskych aj lesných ekosystémov vrátane pôdnoekologických. Tieto zmeny sa premietnu do zmenených produkčných a environmentálnych funkcií pôdneho krytu, ktoré môžu postihnúť mnohé regióny Slovenska, predovšetkým južného. Avšak v niektorých prípadoch z hľadiska produkčného potenciálu tvorby biomasy, pri správnom regulovaní vlhkostného režimu pôd, môže ísť o zmeny pozitívne .

KĽÚČOVÉ SLOVÁ: *potreba závlahovej vody,*

ÚVOD

Úprava vlhkostných podmienok závlahou vytvára podmienky na väčšiu intenzitu transformácie slnečnej energie rastlinami na biomasu ako podstatu produkčného procesu v rastlinnej výrobe. Činnosť poľnohospodára musí smerovať predovšetkým k tomu, aby sa čo najviac využila a pretransformovala kinetická energia slnečného žiarenia na organickú hmotu pri súčasnej väzbe na živočíšnu výrobu alebo priamo zostatkami rastlín na pôdne mikroorganizmy, aby sa do pôdy dostalo maximálne množstvo organickej hmoty potrebnej na zvyšovanie bioenergetického potenciálu zavlažovanej pôdy.

MATERIÁL A METÓDY

Výpar a transpirácia sú ovplyvnené počasím, charakteristikami plodiny, spôsobom hospodárenia a environmentálnymi aspektmi. Hlavnými prvkami počasia ovplyvňujúcimi evapotranspiráciu sú žiarenie, teplota vzduchu, vlhkosť vzduchu a rýchlosť vetra. Skutočná evapotranspirácia závisí aj od druhu plodiny, jej odrody a vývojového štádia plodiny. Evapotranspirácia sa líši od referenčnej evapotranspirácie, ak pokrytie povrchu, vlastnosti porastu a aerodynamická rezistencia plodiny sú odlišné ako u trávy.

Vlahová bilancia na základe agrometeorologických údajov (FAO)

Potenciálna evapotranspirácia ET_c, t. j. evapotranspirácia plodiny za štandardných podmienok (ALLEN,1998), je evapotranspirácia zdravej, dobre hnojenej plodiny rastúcej na veľkej ploche za optimálneho obsahu vody v pôde a dosahujúcej plnú produkciu za daných klimatických podmienok. Teda pod štandardnými podmienkami sa rozumie dostatok pôdnej vody a výborné agronomické podmienky.

Množstvo vody potrebnej na vyrovnanie evapotranspiračnej straty je označované ako vlahová potreba plodiny a v podstate sa rovná potenciálnej evapotranspirácii. Závlahová potreba predstavuje rozdiel medzi vlahovou potrebou plodiny a efektívnymi zrážkami.

Aktuálna evapotranspirácia ET_a, t. j. evapotranspirácia za neštandardných podmienok (ALLEN,1998), je evapotranspirácia z plodiny rastúcej za podmienok hospodárenia a prírodných podmienok, ktoré sa líšia od štandardných podmienok. Z pôvodnej Penman-Monteithovej rovnice a z rovníc aerodynamickej rezistencie a povrchovej rezistencie porastu bola odvodená stanovenia referenčnej evapotranspirácie ET_0 [mm d^{-1}] (Penman-Monteithova metóda podľa FAO):

$$ET_0 = \frac{0{,}408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0{,}34 u_2)}$$

kde R_n je bilancia žiarenia na povrchu porastu [MJ m^{-2} d^{-1}], G je hustota toku tepla z pôdy [MJ m^{-2} d^{-1}], T je priemerná denná teplota vzduchu v 2 m [° C], u_2 je rýchlosť vetra v 2 m [m s^{-1}], e_s je tlak nasýtených pár [kPa], e_a je aktuálny tlak pár [kPa], $e_s - e_a$ je sýtostný doplnok, Δ je smernica krivky závislosti medzi tlakom nasýtených pár a teplotou vzduchu [kPa.°C^{-1}] a γ je psychrometrická konštanta [kPa.°C^{-1}].

V rovnici sú využité štandardné klimatické merania slnečného žiarenia, teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu a rýchlosti vetra. K metóde sú vypracované alternatívne výpočtové postupy pre prípad, že chýbajú údaje z niektorých požadovaných meteorologických prvkov.

Výpočet referenčnej evapotranspirácie vo verzii podľa FAO vyžaduje nasledujúce meteorologické údaje:

- priemernú dennú (T), maximálnu (T_{max})a minimálnu (T_{min}) teplotu vzduchu,
- tlak vodných pár (e_a),
- bilanciu žiarenia (R_n) a
- rýchlosť vetra v 2 m (u_2).

Evapotranspirácia plodiny ET_c

Evapotranspirácia sa líši od referenčnej evapotranspirácie, ak pokrytie povrchu, vlastnosti porastu a aerodynamická rezistencia plodiny sú iné ako u trávneho porastu. Efekt vplyvu odlišných charakteristík porastu konkrétnej plodiny na jej evapotranspiráciu ET_c je zahrnutý do plodinového koeficientu K_c:

$$ET_c = K_c \, . \, ET_0$$

Rozdiely vo výpare a transpirácii medzi poľnými plodinami a referenčným trávnym porastom môžu byť vyjadrené jednoduchým plodinovým koeficientom K_c.

Plodinový koeficient K_c integruje v sebe efekt charakteristík, ktoré odlišujú poľnú plodinu od referenčnej trávy. Jednotlivé poľné plodiny majú rozdielne plodinové koeficienty K_c. Zmena charakteristík plodiny v priebehu vegetačného obdobia tiež ovplyvňuje K_c. Keďže výpar je integrovanou súčasťou evapotranspirácie, majú aj podmienky ovplyvňujúce výpar z pôdy vplyv na K_c.

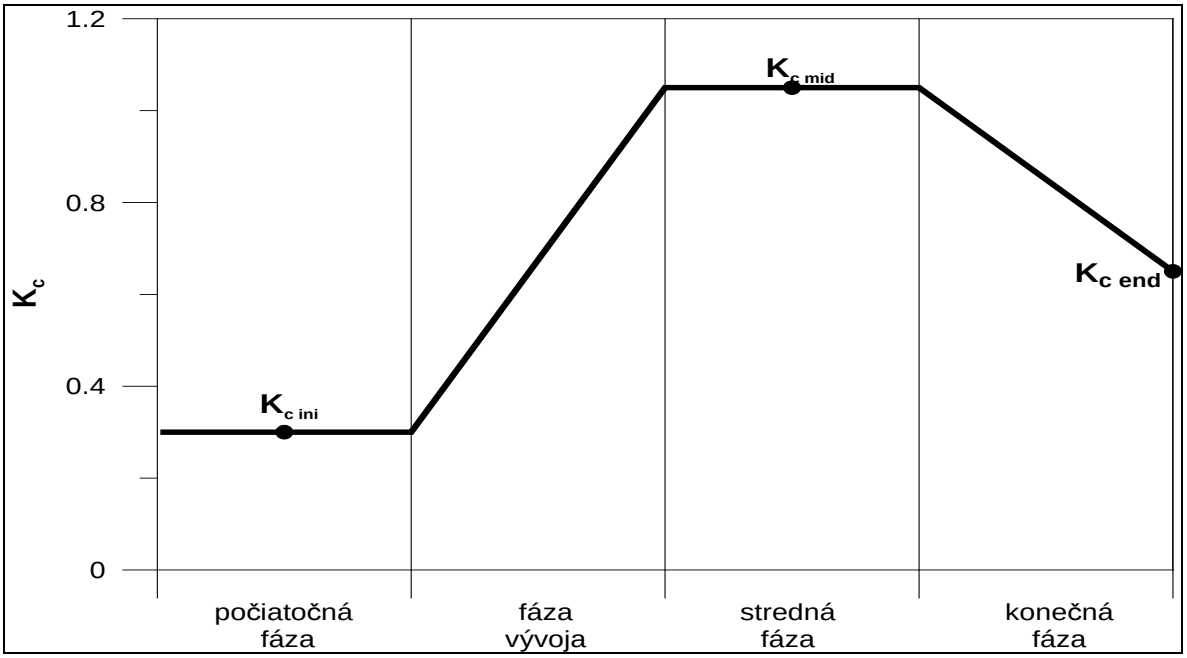
V dôsledku rozdielov v albede, výške plodiny, aerodynamických vlastnostiach, ako aj vlastnostiach listov a prieduchov, evapotranspirácia z dobre vodou zásobených plodín sa odlišuje od referenčnej evapotranspiráce ET_0 a u vysokých plodín (ako je napr. kukurica) je vyššia o 15 – 20 %.

Ako sa plodina vyvíja, mení sa jej výška a listová plocha, ako aj pokrytie povrchu pôdy plodinou. V dôsledku toho sa mení počas vegetačného obdobia aj K_c.

Vegetačné obdobie plodiny možno rozdeliť do 4 vývojových fáz, zobrazený je na obrázku 1. Počiatočná fáza trvá od sejby do doby, kým zelená vegetácia nepokrýva približne 10 % povrchu pôdy. Druhá fáza vývoja (fáza intenzívneho rastu plodiny) trvá od 10 % pokrytia do úplného pokrytia povrchu pôdy rastlinami. U mnohých plodín je to začiatok kvitnutia. Stredná fáza vývoja trvá od úplného pokrytia do začiatku zrelosti (žltnutia listov) a posledná fáza od začiatku zrelosti do zberu alebo opadu listov. V tabuľke 1 sú uvedené hodnoty jednoduchého plodinového koeficientu K_c v jednotlivých vývojových fázach vybraných plodín pre výpočet podľa metodiky FAO.

V jednoduchom plodinovom koeficiente K_c je teda kombinovaný efekt transpirácie plodiny a výparu z pôdy spojený do jediného koeficientu integrujúceho rozdiely v transpirácii plodiny a vo výpare medzi príslušnou plodinou a referenčným povrchom. Keďže výpar z pôdy sa môže meniť denne ako dôsledok zrážok alebo závlahy, jednoduchý plodinový ko-

eficient vyjadruje len spriemerovanú viacdňovú evapotranspiráciu plodiny, preto sa postup využíva pre týždňové a dlhšie obdobie, i keď výpočet sa vykonáva v dennom kroku, napr. pre závlahu.



Obrázok 1 Plodinová krivka (ALLEN,1998)

Plodina	$K_{c\ ini}$	$K_{c\ mid}$	$K_{c\ end}$
Karfiol	0,3	0,9	0,3
Kaleráb	0,3	0,9	0,4
Fazuľa struková	0,9	0,4	0,6
Zeler	0,25	0,95	0,2
Zemiaky	0,3	0,5	0,3
Jablone	0,2	1,2	0,6
Vinič	0,2	1,2	0,6
Chmeľ	0,25	0,8	0,1

Tabuľka 1 Hodnoty jednoduchého plodinového koeficientu K_c v jednotlivých vývojových fázach vybraných plodín pre subhumídnu klímu ($RH_{min} \approx 45$ %, $u_2 \approx 2$ m/s) (Allen et al., 1998)

Určenie potreby závlahovej vody pre špeciálne plodiny a zeleninu, jej kvantitatívne a časové vyjadrenie pre plánovacie, projekčné i prevádzkové účely je veľmi zložitou problematikou. Je však potrebné sa s ňou v plnom rozsahu vysporiadať a na základe najvhodnejších podkladov umožniť výstavbu i prevádzku závlahových objektov na čo najvyššej úrovni, zodpovedajúcej sústave najnovších poznatkov. Náročnosť na vyriešenie problematiky zavlažovania je vystupňovaná predovšetkým vo vlastnej závlahovej prevádzke. Tam je potrebné vysporiadať sa nielen s často odlišnými klimatickými pomermi, meniacimi sa v čase následkom klimatickej zmeny, ale i so špecifickými biologickými požiadavkami zavlažovaných plodín, požiadavkou maximálneho využitia a možnosťami uplatnenia intenzívnej agrotechniky, s dôsledným rešpektovaním pôdnych pomerov, s technickými okolnosťami a pod., aby bol maximálnou mierou zabezpečený najužší vzťah medzi biologickým a ekonomickým optimom závlah, rozhodujúcim o celom efekte ich uplatnenia.

V ďalšej časti sme stanovili vlahovú potrebu ETc, stanovenú podľa metodiky FAO, s použitím modifikovaných scenárov ($GISS_{prep}$ a $CCCM_{prep}$), pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075. Simulácie boli uskutočnené pre meteorologickú stanicu Hurbanovo, ktorá má na Slovensku najdlhší sledovaný rad pozorovaní (od roku 1871). Toto mesto leží v južnej časti Slovenska a jeho klimatické pomery sú charakteristické pre závlahové oblasti Južného Slovenska. Obdobné výpočty vlahovej potreby pre špeciálne plodiny – ovocné stromy, chmeľ, vinič a niektoré druhy zeleniny v horizonte rokov 2075 neboli doteraz v podmienkach Slovenska uskutočnené.

Evapotranspirácia plodiny ET_c v zmenených klimatických podmienkach

Denné rady klimatických prvkov (globálne žiarenie, teplota vzduchu, zrážky) pre klimatickú stanicu Hurbanovo boli spracované do vstupných súborov pre numerické simulácie modelom DAISY. Dánsky simulačný model DAISY (HANSEN , 1984) je matematický model určený na modelovanie rastlinnej výroby, dynamiky pôdnej vody a dynamiky dusíka v rastlinnej výrobe za rozličných podmienok stratégie a riadenia poľnohospodárskej výroby. Jednotlivé procesy, ktoré sú zahrnuté v modeli, uvažujú s transformačnými a transportnými procesmi vody, tepla, uhlíka a dusíka. Model je jednorozmerný.

Z hydrologických procesov sú v modeli zahrnuté akumulácia a topenie snehu, intercepcia zrážok porastom, výpar z povrchu plodiny a pôdy, infiltrácia, príjem vody koreňmi rastlín, transpirácia a vertikálny pohyb vody v pôdnom profile. Z tepelných procesov model uvažuje s prenosom tepla a s tepelnými zmenami vplyvom zamŕzania a topenia.

Vstupné údaje, vyžadované modelom, zahrňujú klimatické, pôdne a plodinové údaje, ako aj informáciu o spôsobe hospodárenia. Z meteorologických premenných potrebných pre modelovanie premeny a prenosu hmoty a energie v systéme sa požadujú globálne žiarenie, teplota vzduchu a zrážky. Z pôdnych charakteristík si model vyžaduje hodnoty retenčnej čiary, hodnoty špecifickej vodnej kapacity a hydraulickej vodivosti. Prúdenie vody v nenasýtenej zóne sa počíta podľa Richardsovej rovnice.

Simulácie modelom DAISY boli vykonané scenáre $CCCM_{prep}$ a $GISS_{prep}$ pre časové horizonty 2010, 2030 a 2075 pre meteorologickú stanicu Hurbanovo. Pre simulácie boli využité 20-ročné rady denných hodnôt globálneho žiarenia, teploty vzduchu a atmosférické zrážky. Ako referenčné obdobie (t. j. bez klimatickej zmeny) bolo použité obdobie 1966-1985

Vyhodnotenie založené na simuláciách modelom DAISY bolo vykonané pre reprezentatívny pôdny profil podľa prevládajúceho pôdneho druhu. Pôdny profil bol charakterizovaný retenčnou čiarou, hydraulickou vodivosťou, obsahom ílu (podľa medzinárodnej klasifikácie), obsahom humusu a počiatočnou hodnotou vodného potenciálu, vlhkosti a teploty pôdy. V týchto simuláciách nebolo uvažované s hladinou podzemnej vody ovplyvňujúcou koreňovú zónu. Z prvkov vodnej bilancie pôdy pre vybrané scenáre a jednotlivé časové horizonty v porovnaní s referenčným obdobím vyhodnotené charakteristiky evapotranspirácie, infiltrácia a zásoba pôdnej vody vo vybraných horizontoch pôdneho profilu v dennom kroku.

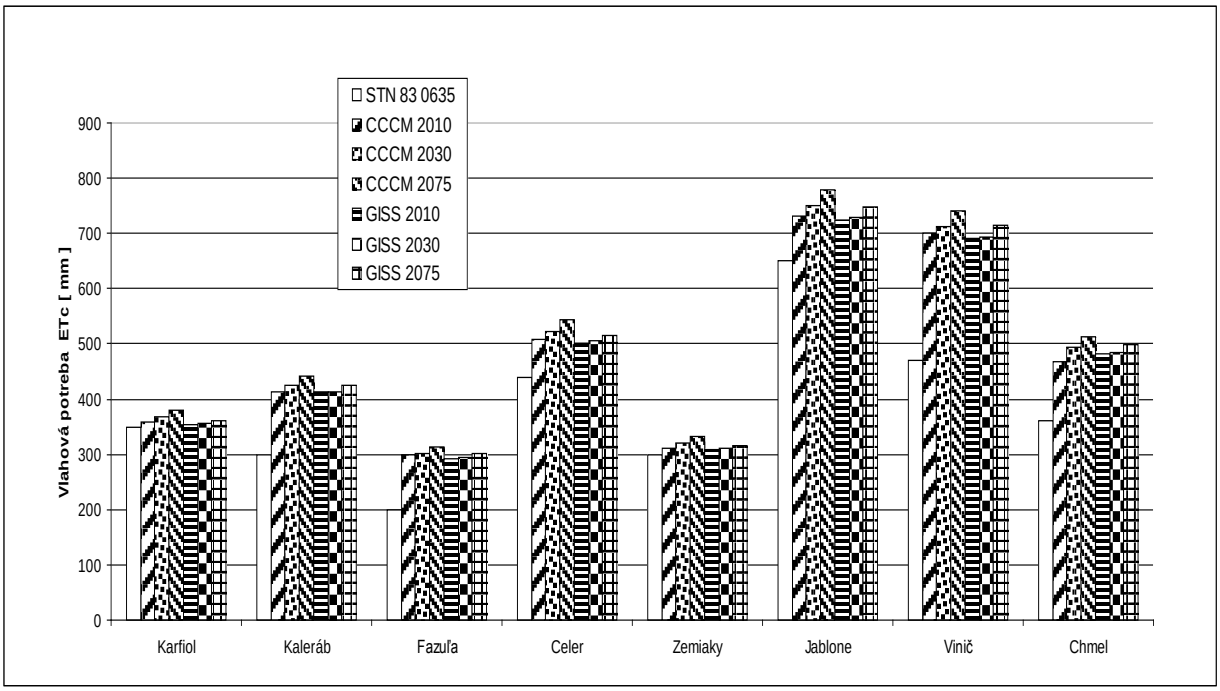
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Denné scenáre $CCCM_{prep}$ a $GISS_{prep}$ boli pripravené v tvare časového radu mesačných údajov po desaťročných priemeroch a v tvare scenárov odchýlok T a kvocientov R pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075. Vzhľadom na dostupnosť kvalitných údajov zo stanice Hurbanovo, sme zvolili ako charakteristické obdobie 1.1.1966 až 31.12.1985. Na denné údaje z tohoto kontrolného obdobia sa zvlášť aplikovali scenáre T, G a R (denné maximum, minimum a priemer teploty vzduchu, denná suma globálneho žiarenia a denný úhrn zrážok)

získané pre časové horizonty rokov 2010, 2030 a 2075. Scenáre denných údajov potom platia pre obdobia 2002-2021, 2022-2041 a 2066-2085.

Plodina	**Vc** STN	**ETc**					
		$CCCM_{prep}$ 2010	$CCCM_{prep}$ 2030	$CCCM_{prep}$ 2075	$GISS_{prep}$ 2010	$GISS_{prep}$ 2030	$GISS_{prep}$ 2075
Karfiol	350	359	367	381	354	355	362
Kaleráb	300	413	426	442	412	413	424
Fazuľa struková	200	300	302	314	292	294	302
Zeler	440	508	523	543	502	506	516
Zemiaky	300	311	321	333	309	311	316
Jablone	650	730	749	778	724	729	748
Vinič	470	700	713	740	691	693	715
Chmeľ	360	468	493	512	482	485	499

Tabuľka 2 Porovnanie vlahovej potreby vybraných plodín Vc daných v súčasnosti platnou STN 83 0635 a modelovaných hodnôt potenciálnej evapotranspirácie plodín ETe pre roky 2010, 2030 a 2075 s použitím scenárov $CCCM_{prep}$ a $GISS_{prep}$ (Bárek, 2006)



Obrázok 2. Grafické porovnanie vlahovej potreby Vc daných v súčasnosti platnou STN 83 0635 pre vybrané plodiny a modelovaných hodnôt potenciálnej evapotranspirácie plodín ETc pre roky 2010, 2030 a 2075 s použitím scenárov $CCCM_{prep}$ a $GISS_{prep}$ (Bárek, 2006)

Pretože model DAISY bol pre podmienky Slovenska kalibrovaný len pre hlavné poľné plodiny a jeho ďalšie kalibrovanie pre špeciálne plodiny a zeleninu je veľmi časovo náročné. Potenciálnu evapotranspiráciu (ETc) zvolených plodín sme dopočítali podľa metodiky FAO, popísanej vyššie, s použitím výpočtov evapotranspirácie referenčnej plodiny modelom

DAISY, jednoduchých plodinových koeficientov (*tabuľka 1*) a príslušnej metodiky , čo dáva pre potreby závlah výsledky s dostačujúcou presnosťou.

Na základe výsledkov výpočtov pre scenáre klimatickej zmeny možno konštatovať, že podľa oboch scenárov príde v jednotlivých časových horizontoch k zvýšeniu potenciálnej evapotranspirácie plodín, pričom ich zvýšenie je výraznejšie podľa scenára $CCCM_{prep}$ (tabuľka 2).

Nížinné územia Slovenska sú charakteristické ročnými zrážkovými úhrnmi nižšími ako sú ročné úhrny potenciálnej evapotranspirácie (ETc). Zvyšovanie rozdielov medzi zrážkovými úhrnmi a úhrnmi potenciálnej evapotranspirácie zvyšuje citlivosť územia na sucho. Pri zložitých pôdnych podmienkach to znamená značnú závislosť zložiek vodnej bilancie územia od prejavov klimatickej zmeny .

ZÁVER

Výsledok predkladanej práce – hodnoty potenciálnej evapotranspirácie plodín stanovené pre horizonty rokov 2010, 2030 a 2075, (obr. 2), s použitím časových scenárov $CCCM_{prep}$ a $GISS_{prep}$ môžu slúžiť ako východiskový podklad pre riadenie režimu závlah v zmenených klimatických podmienkach a pre projektantov pri navrhovaní nových závlahových stavieb, ktorých životnosť (sady, vinohrady, chmeľnice) je 30 až 50 rokov. Nezohľadnenie zmenených vstupných parametrov, by mohlo o niekoľko rokov zásadne znížiť stupeň zabezpečenia prevádzky závlahových sústav. V neposlednom rade môžu slúžiť aj pri posudzovaní kapacity vodných zdrojov závlahových stavieb v nových podmienkach klimatickej zmeny.

POUŽITÁ LITERATÚRA

ALLEN, R. et al.(1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56, Rome, 1998, ISBN 92-5-104219-5,

BÁREK,V.(2006): Klimatická zmena a závlahy, Slovenská bioklimatologická spoločnosť pri SAV, Zvolen 2006, ISBN 80-228-1717-2

BÁREK,V.: Návody na cvičenia zo závlah, Vydavateľstvo SPU v Nitre, 2005

BEUKEMA, H.P., TURKENSTEEN, L.J., PEETEN, J.M.G.: Production, Seed, Varie-ties, Diseases, Storage, Markets - Potato Exolorer, Nivaa, 2000, The Nether-lands.

BLAŽEK, J. a kol.: Ovocnictví, Kvet, 1988, Praha

FÍDLER, J.: Vlahová potreba zemědelských plodin pri rúznych režimech pudy. Agro-melio, Nitra, 1988, s. 27 - 34.

FILIP, J.: Ekologické základy zavlažovaní rostlin. In: Intenzifikace zemědelské výroby závlahami, Brno, VŠZ 1984.

HANSEN, S. (1984): Estimation of potential and actual evapotranspiration. Nordic Hydrol.15, 205-212.

IGAZ, D.: Influence of fermented cereal applied as aditive on sevage sludge digestion. Waste management, Račková dolina 1997

JURÍK,Ľ.: Globálne zmeny v transekte 20. poludníka. ENVIRO NITRA 2000 : Medzinárodná konferencia : Nitra 4.5.2000.: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2000. - s. 90-91

JURÍK,Ľ..NOVOTNÁ,B.: Hydrologické charakteristiky poľnohospodársky využívanej krajiny = Hydrologic characteristics of the agricultural exploited In: Acta horticulturae et regiotecturae. - Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita, 1998-. - ISSN 1335-2563. - Roč. 8, č. 1 (2005), s. 18-20

JÚVA, K. - FILIP, J.: Intenzifikace rostlinné výroby závlahami. Brno, VŠZ 1981.
NOVÁK, V.: Vyparovanie vody v prírode a metódy jeho určovania. Bratislava, Vydavateľstvo VEDA - SAV,1995.
NOVÁK, V. - POHORENCOVÁ, K.: Metóda vyhodnotenia vplyvu podzemných vôd na vodný režim pôdy. Sbornik ÚVTIZ, Meliorace, 1981, č. 17, s. 1 - 6.
REHÁK, Š.: Bases of irrigation management under conditions of water scarcity. (Východiská riadenia závlah v podmienkach nedostatku vody.) 17thICiD CONGRESS, Granada 1999, s. 22 - 39.
ŠIŠKA, B. – TAKÁČ, J. - IGAZ, D.: Climate change impacts on winter whet yield on danubian lowland in slovak republic. In: International Conference on Sustainable Agriculture and European Integration Processes. Abstracts proceedings. Novi Sad, Serbia and Montenegro, FAU, 2004 s. 172.

KONTAKTNÁ ADRESA

Doc. Ing. Viliam Bárek,CSc, *doc. Ing.Peter Halaj,CSc,Ing.Dušan Igaz,PhD,* Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva SPU v Nitre, Katedra krajinného inžinierstva, Hospodárska 7, 949 76, Nitra, Slovensko, tel.:037/6415236, 32, e-mail:
viliam.barek@uniag.sk,
peter.halaj@uniag.sk , dusan.igaz@uniag.sk