

**VYHODNOTENIE PÔDNEHO SUCHA NA ZÁKLADE MONITORINGU
A MODELOVANIA V PODMIENKACH VÝCHODOSLOVENSKEJ NÍŽINY**

Andrej Tall, Branislav Kandra, Dana Pavelková

Cieľom príspevku bolo vyhodnotiť pôdne sucho na lokalite Senné v centrálnej časti Východoslovenskej nížiny na základe monitoringu pôdnej vlhkosti a na základe numerickej simulácie vodného režimu pôdy počas dlhodobého radu 42 vegetačných období (1974 – 2015). Pôdne sucho bolo hodnotené podľa pôdnych hydrolimitov. Na základe analýzy meteorologických údajov a vypočítaných hodnôt Palmerovho indexu závažnosti sucha bolo identifikované extrémne suché vegetačné obdobie, ktoré nastalo v roku 2015. Vo vegetačnom období roku 2015 sa vyskytol aj zrážkovo najsuchší mesiac za celé sledované obdobie – august 2015. Výsledky numerickeho modelovania potvrdili celkovú dlhodobú tendenciu vysušovania pôdneho profilu v Sennom. Monitoring aj modelovanie preukázali, že ani počas meteorologicky extrémne suchých období sa zásoba vody v pôdnom profile v Sennom takmer nikdy nedostala pod úroveň danú bodom vädnutia, ale pohybovala sa v hraniciach medzi bodom vädnutia a bodom zníženej dostupnosti.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: zásoba vody v pôde, pôdne hydrolimity, meteorologické sucho, pôdne sucho

EVALUATION OF SOIL DROUGHT ACCORDING TO MONITORING AND MODELING IN CONDITIONS OF EAST SLOVAKIAN LOWLAND. The aim of this contribution is to evaluate soil drought on locality Senné (part of East Slovakian Lowland) on the basis of monitoring and numerical modelling of soil moisture during 42 growing seasons (from 1974 to 2015). Soil drought was carried out according to soil's hydrolimits. Analysis of meteorological elements and calculated values of PDSI shown that the driest growing season was in 2015 and August was the driest month. The results of numerical modelling confirmed the overall long-term trend of the drying of the soil profile in Senné. Monitoring and modelling showed that even during extreme meteorological drought, the water storage in the soil profile in Senné almost never got below the wilting point level, but varied between the wilting point and threshold point levels.

KEY WORDS: soil's water storage, soil hydrolimits, meteorological drought, soil drought

Úvod

V súčasnosti sa zvyšuje výskyt rôznych klimatických anomálií, ktoré sú obzvlášť viditeľné pri porovnaní s dlhodobým priemerným stavom klímy. Zvyšujúca sa intenzita skleníkového efektu vedie ku globálnemu otepľovaniu so všetkými jeho následkami. V posledných rokoch viedli zmeny v atmosfére k nárastu periodicity extrémnych hydrologických udalostí (Tall, Pavelková, 2010), (Gomboš, 2010). Extrémy v hydrológii znamenajú všeobecne buď nadbytok, resp. nedostatok vody. Nedostatok vody znamená sucho. V meteorológii a klimatológii sa často používa všeobecný pojem

„sucho“, ktorý ale nie je nijako presne definovaný, a v zásade predstavuje nedostatok vody v atmosfére, pôde, alebo rastlinách. Pri hodnotení a kvantifikovaní sucha je preto dôležité rozlišovať o aké sucho sa jedná. V tomto príspevku budú analyzované meteorologické a pôdne suchá. Meteorologické sucho nastáva, ak spadne menej zrážok ako je pre danú lokalitu a čas obvyklé. Meteorologické sucho obyčajne predchádza suchu pôdnemu a zvyčajne je jeho prvotnou príčinou. Pôdne sucho nastáva vtedy, ak plodiny nemajú dostatok vlhky. Kvantifikovať pôdne sucho možno na základe pôdnych hydrolimitov. Hydrolimity sú konvenciou vybrané charakteristické body vlhkostnej retenčnej čiary:

- a) bod vädnutia, θ_v , zodpovedajúci hodnote $pF = 4,18$ (ide o takú vlhkosť pôdy, keď rastlinný kryt je trvalo nedostatočne zásobený vodou z pôdy a vädne).
- b) bod zníženej dostupnosti, θ_{zd} , zodpovedajúci hodnote $pF = 3,3$ (charakterizuje vlhkosť pôdy, pri ktorej fyziologické procesy rastlinného krytu sú limitované nedostatkom),
- c) poľná vodná kapacita θ_{pk} , zodpovedajúca hodnote $pF = 2,0$ až $2,9$ (charakterizuje vlhkosť pôdy, ktorá sa udržuje v pôdnom profile za relatívne dlhší čas, pričom prevzdušnenosť pôdy je ešte postačujúca pre vývoj rastlinného krytu).

Obsah vody v nenasýtenej zóne pôdy medzi bodom θ_{pk} a θ_v t. j. $(\theta_{pk} - \theta_v)$ je existenčným intervalom obsahu vody pre rastlinný kryt.

Cieľom príspevku je vyhodnotiť pôdne sucho na lokalite Senné na základe monitoringu pôdnej vlhkosti a na základe numerickej simulácie vodného režimu pôdy počas dlhodobého časového radu 42 vegetačných období (1974 – 2015).

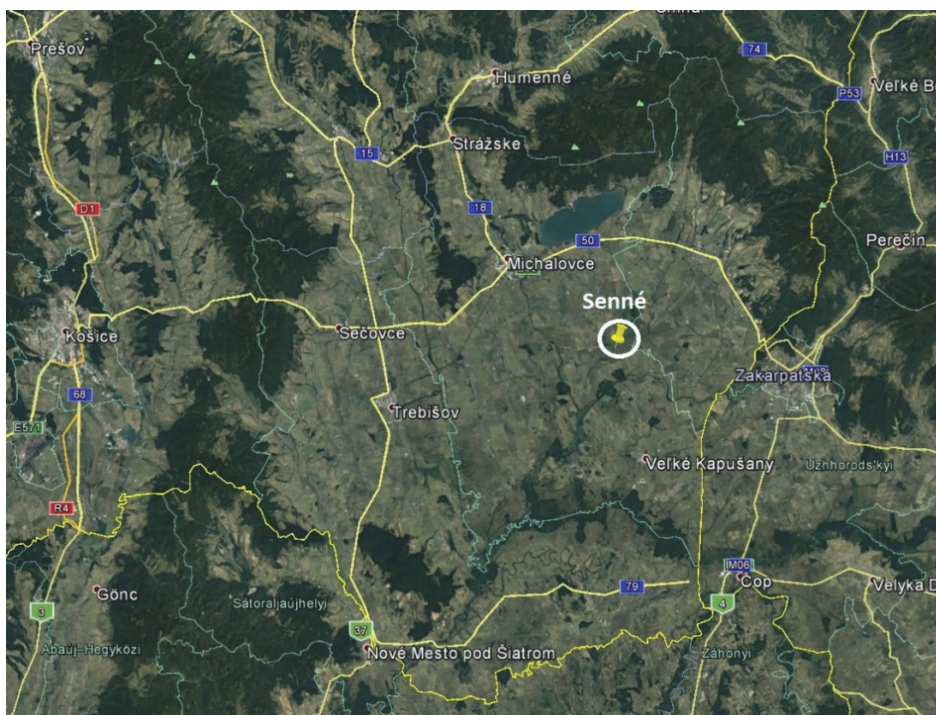
Materiál a metódy

Pre vyhodnotenie pôdneho sucha na Východoslovenskej nížine (VSN) bola zvolená lokalita Senné (obr. 1). Pôdny profil bol skúmaný do hĺbky 1 m. Experimentálna lokalita Senné sa nachádza v centrálnej časti nížiny v tzv. Senianskej depresnej oblasti s nadmorskou výškou 100 m n. m. Oblasť je charakteristická mokraďami, ktoré podmienili genézu tunajších ťažkých pôd. Pôdy v lokalite Senné sú typickým predstaviteľom extrémne

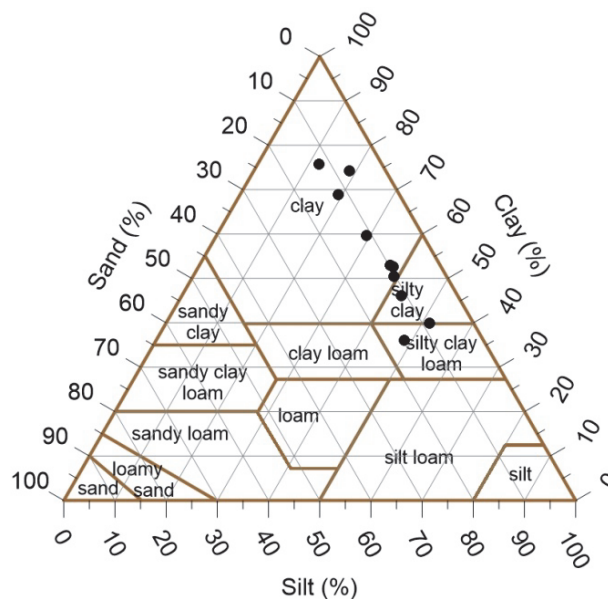
ťažkých pôd – t.j. pôd s dominantným zastúpením ílovej zložky (častice $< 0,002$ mm) – vid' obr. 2. Prítomnosť ílov spôsobuje objemové zmeny pôdy, ktoré sa prejavujú otváraním a zatváraním puklín, resp. vertikálnym pohybom povrchu pôdy. Pôdny profil v Sennom je vo svojej bazálnej časti tvorený ílmi, ktoré smerom k povrchu prechádzajú cez prachovité íly až k ílovito-prachovitej hline. Povrch je pokrytý trvalým trávnyim porastom.

Na lokalite Senné prebieha počas vegetačných období, s periodicitou cca 1 až 2 týždne, pravidelný monitoring pôdnej vlhkosti. Monitoring spočíva v odbere porušených vzoriek pôdy do hĺbky 1 m s diskretizáciou po 0,1 m. Vlhkosť vzoriek sa laboratórne stanovuje gravimetrickou metódou. V tejto práci sú uvedené výsledky monitoringu od roku 2013 do roku 2015.

Podkladovým materiálom pre analýzu suchých období boli meteorologické dáta SHMÚ z klimateckej stanice v Milhostove. Jedná sa o denný chod meteorologických prvkov. Skúmané bolo 42-ročné obdobie (od 1974 do 2015), pričom hodnotené boli výlučne vegetačné obdobia (VO), t. j. mesiace apríl – september. Z meteorologických podkladov boli v ďalšom kroku vypočítané hodnoty PDSI (Palmer Drought Severity Index) pre vegetačné obdobia rokov 1974-2015. PDSI je jednou z najpoužívanejších metód pre kvantifikáciu sucha vo svete. PDSI slúži ako štandard pre kvantifikáciu závažnosti sucha a je jednoduchou metódou, ktorá je použiteľná v akomkoľvek klimatickom pásme a presne vypovedá o tom, nakoľko je prebiehajúce sucho závažné pre lokálne podmienky (Tall, Gomboš, 2011).



Obr. 1. Lokácia experimentálneho miesta Senné.
Fig. 1. Location of experimental site Senné.



Obr. 2. Zatriedenie pôdneho profilu v Sennom na základe zrnitostného zloženia pôdy.
Fig. 2. Texture classification of soil profile in Senné.

Výpočet PDSI bol realizovaný na základe originálnej Palmerovej metodiky (Palmer, 1965). Pre výpočet hodnôt PDSI je nevyhnutné poznať hodnoty zrážok, potenciálnej evapotranspirácie a využiteľnej vodnej kapacity pôdneho profilu. V tejto práci boli kvôli zjednodušeniu hodnoty potenciálnej evapotranspirácie nahradené hodnotami referenčnej evapotranspirácie podľa metodiky FAO (Allen et al., 1998).

Monitoring vlhkosti pôdy v skúmaných lokalitách nepokrýva zďaleka celé hodnotené obdobie 1974 – 2015, a preto sa pristúpilo k simulácii pomocou numerickej simulácie. Simulované boli denné chody zásoby vody v pôde do hĺbky 1 m počas vegetačných období rokov 1974 – 2015 v lokalite Senné. Použitý bol holandský matematický simulačný model (Oostindie, 1992) FLOCR verzia 2.0 (FLOW in CRacking soils). Model slúži na simuláciu jednorozmerného vertikálneho prúdenia vody v zóne aerácie pôdneho profilu. Princípom modelu je jednak numerické riešenie prúdenia vody v zóne aerácie pomocou Richardsovej rovnice a jednak výpočet objemových zmien. Namodelované údaje boli verifikované podľa monitoringu z troch ostatných rokov (2013, 2014, 2015).

Výsledky a diskusia

Na obr. 3 sú za obdobie 1974-2015 vynesené mesačné chody vybraných ukazovateľov počas VO a ich lineárne trendy. Dlhodobý trend mesačných úhrnov zrážok počas VO je stabilný a možno teda konštatovať, že zrážok počas VO dlhodobo neubúda. Stúpajúci trend priemerných mesačných teplôt počas VO vypovedá o čím ďalej

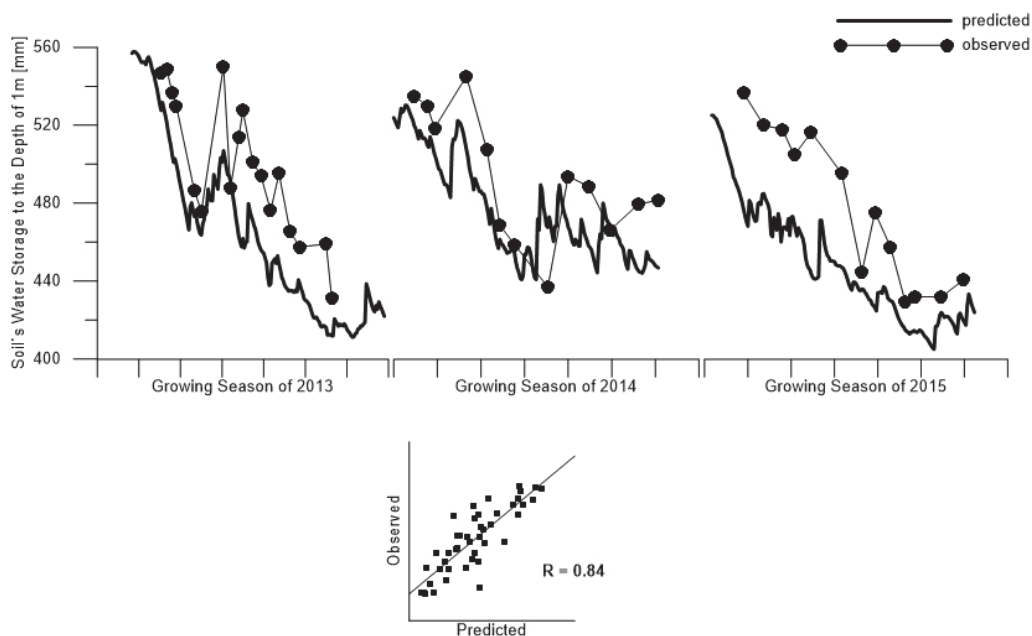
teplejších letných obdobiach. Stúpajúce teploty pri nezmenených zrážkach sa prejavujú stúpajúcim výparom vody, a teda stúpajúcim trendom evapotranspirácie. To sa potvrdilo pri hodnotách PDSI, ktoré majú jasne klesajúcu tendenciu smerom k suchu.

Podľa meteorológov bol minulý rok 2015 na Slovensku druhý najteplejší, hneď za rokom 2014 (Hlavatá, 2015). Pokiaľ sa zameriame len na posledných 42 vegetačných období na klimatickej stanici v Milhostove, tak VO v roku 2015 je stále druhým najteplejším, ale ako najteplejšie je VO roku 2012 (tab. 1).

Vegetačné obdobie roku 2014 je tu až 12. najteplejšie. Vo vegetačnom období 2015 sa však vyskytol absolútne najteplejší mesiac v histórii merania v Milhostove – august 2015, kedy priemerná teplota vzduchu dosiahla hodnotu 23,7 °C (o 7,2 °C viac oproti priemeru 1974 – 2015). V roku 2015 je VO rekordné aj pokiaľ sa jedná o spadnuté zrážky, keď za šesť mesiacov spadlo len 227 mm zrážok (priemer je 369 mm). Aj mesiac august 2015 bol zrážkovo rekordný. Spadlo v ňom len 1,5 mm zrážok (priemer je 61,5 mm). Z uvedeného môžeme konštatovať, že VO v roku 2015 a mesiac august 2015 sú meteorologicky najsuchšími za 42 rokov meraní v stanici Milhostov. Tento meteorologicky extrém bol potvrdený aj hodnotami PDSI. Hodnotenie sucha podľa PDSI je komplexnejšie, nakoľko okrem zrážok vychádza aj z evapotranspirácie a z charakteristík pôdneho profilu. Vegetačné obdobie v roku 2015 má priemernú hodnotu PDSI -4,6 a august 2015 má hodnotu -6,6. V oboch prípadoch sa v klasifikácii PDSI jedná o najsuchší stupeň – t.j. extrémne suchu (hodnota PDSI < -4,0).

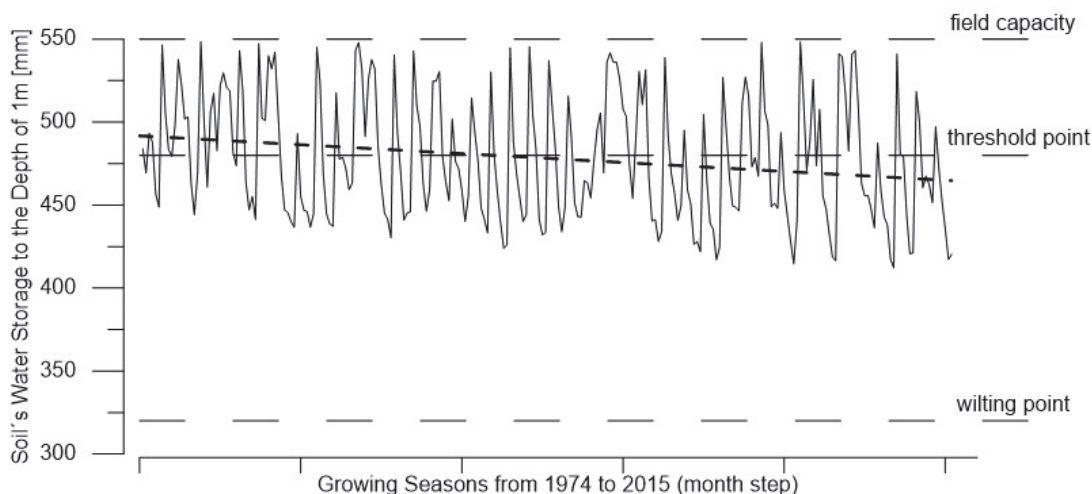
Na obr. 5 sú vynesené simulované mesačné priemerné hodnoty zásoby vody v pôdnom profile v Sennom spolu s vyznačenými pôdnymi hydrolimitmi. 42-ročný trend má jasne klesajúcu tendenciu, čo potvrdzuje postupný nárast pôdneho sucha. Jeho hlavnou príčinou je bezpochyby dlhodobý nárast teploty. Pokiaľ sa jedná o pôdne

hydrolimity, tak pôdny profil ako celok nikdy neprekročil hranicu vlhkosti bodu vädnutia a v jarných mesiacoch sa sporadicky približuje k vlhkosti poľnej vodnej kapacity. Zásoba vody počas vegetačného obdobia celkovo osciluje okolo hodnoty vlhkosti bodu zníženej dostupnosti.



Obr. 4. Monitorované vs. modelované hodnoty zásoby vody v pôde v Sennom počas vegetačných období rokov 2013 – 2015.

Fig. 4. Observed vs. Predicted values of water storage of soil in Senné during growing seasons 2013–2015.



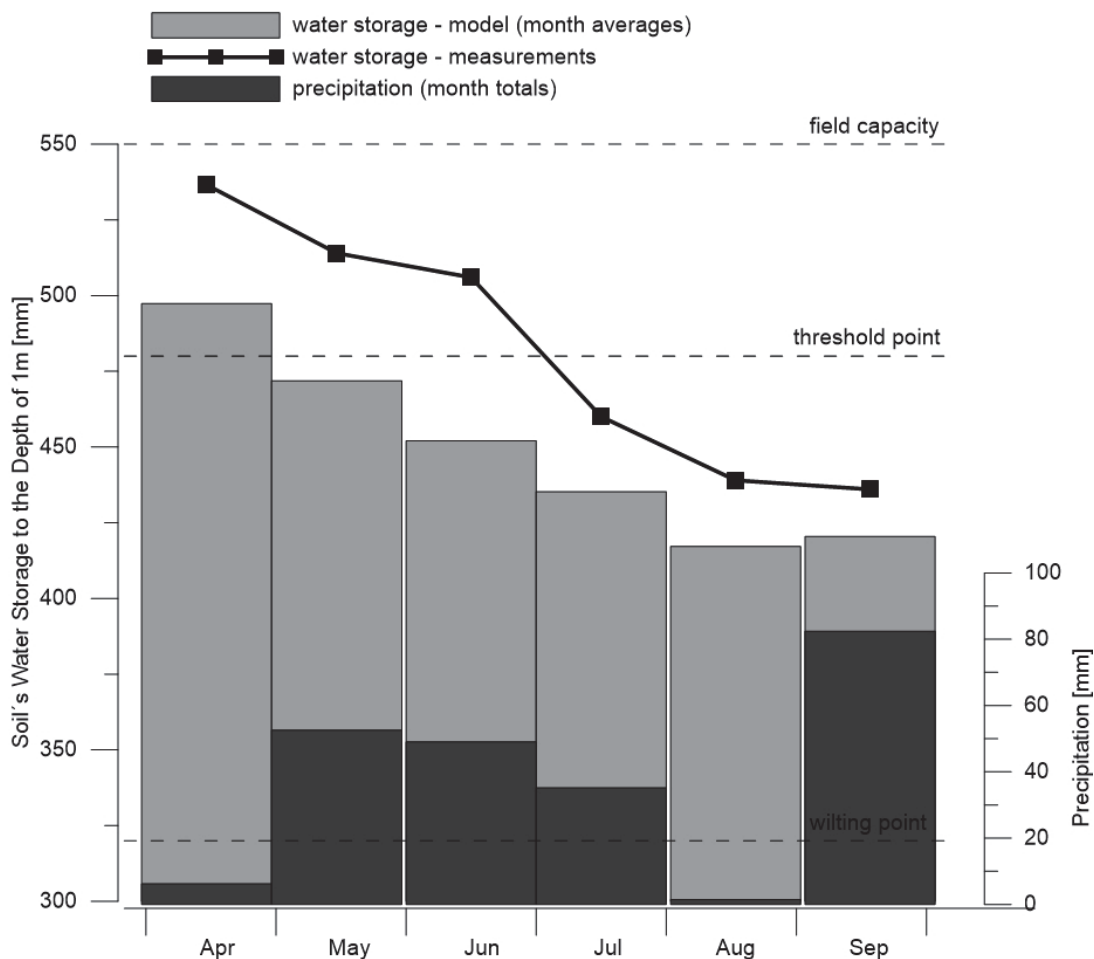
Obr. 5. Dlhodobý vývoj modelovanej zásoby vody v pôde v Sennom počas vegetačných období 1974 – 2015.

Fig. 5. Long-term development of predicted water storage of soil in Senné during growing seasons of 1974–2015.

Na obr. 6 je znázornená situácia v extrémnom vegetačnom období roku 2015. Vynesené sú mesačné priemery modelovanej aj meranej zásoby vody v pôdnom profile spolu s mesačnými priemermi zrážok. Je zjavné, že ani v meteorologicky extrémne suchom VO 2015 sa zásoba vody v ťažkej pôde nedostala k vlhkosti bodu vädnutia – a to ani pri modelovaných ani meraných hodnotách. Podľa modelu sa zásoba vody od mája dostáva pod bodu zníženej dostupnosti a podľa meraní je to až od júla.

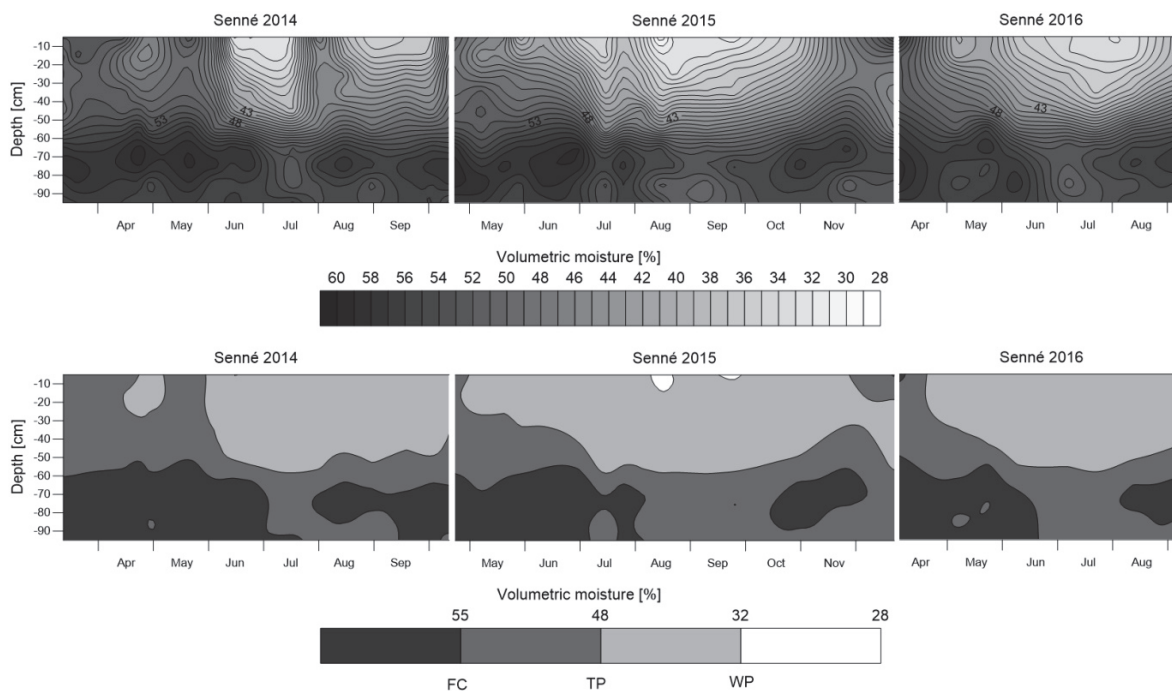
Hodnoty vlhkosti pôdy podľa monitoringu sú znázornené na obr. 7. Vlhkosť pôdy je spracovaná vo forme chronoizoplet, t. j. izočiar spájajúcich miesta s rovnakou vlhkosťou v čase. Výhoda chronoizoplet je to, že neudávajú len sumárnu informáciu o zásobe vody v pôdnom profile, ale znázorňujú aj prerozdelenie

vlhkosti po celej výške pôdneho profilu. Na obr. 7 je vidieť ako dochádza v letných mesiacoch k postupnému vysušovaniu pôdneho profilu. Vlhkosť pôdy v Sennom smerom do hĺbky narastá, pričom v hĺbke cca 0,8 – 0,9 m zanikajú aj sezónne výkyvy vlhkosti. Ešte lepšie je to vidieť na spodnej časti obrázku, kde sú vlhkosti vzťahované k pôdnym hydrolimitom. Počas zrážkovo extrémne suchého augusta 2015 sa najvrchnejšia vrstva pôdneho profilu dokonca nakrátko dostala pod vlhkosť bodu vädnutia. Na základe monitoringu aj numerického modelovania možno všeobecne konštatovať, že ani počas meteorologicky extrémne suchých období sa zásoba vody v pôdnom profile v Sennom takmer nikdy nedostáva pod úroveň danú vlhkosťou bodu vädnutia, ale pohybuje sa v hraniciach medzi vlhkosťou bodu vädnutia a vlhkosťou bodu zníženej dostupnosti.



Obr. 6. Hodnoty monitorovaných a modelovaných zásob vody v pôde a zrážok v Sennom počas jednotlivých mesiacov vegetačného obdobia roku 2015.

Fig. 6. Values of observed and predicted water storages of soil and precipitation in Senné during growing season of 2015.



Obr. 7. Monitoring vlhkosti pôdy v Sennom.
Fig. 7. Monitoring of soil moisture in Senné.

Záver

V príspevku bolo zhodnotené pôdne sucho v lokalite Senné na Východoslovenskej nížine na základe pravidelného monitoringu a numerickej simulácie vlhkových pomerov pôdneho profilu. Analýza 42-ročného radu meteorologických prvkov a vypočítaných hodnôt PDSI počas vegetačných období poukázala na stúpajúci trend priemerných mesačných teplôt, čo vypovedá o čím ďalej teplejších letných obdobiach. Stúpajúce teploty pri nezmenených zrážkach sa prejavujú stúpajúcim výparom vody, a teda stúpajúcim trendom evapotranspirácie. To sa potvrdilo pri hodnotách PDSI, ktoré majú jasne klesajúcu tendenciu smerom k suchu. Identifikované bolo meteorologicky extrémne suché vegetačné obdobie v roku 2015, v ktorom sa vyskytol aj extrémne suchý a teplý august 2015.

Výsledky numerickej simulácie potvrdili celkovú dlhodobú tendenciu vysušovania pôdneho profilu v Sennom, čo potvrdzuje postupný nárast pôdneho sucha. Jeho hlavnou príčinou je bezpochyby dlhodobý nárast teploty, nakoľko úhrny zrážok počas vegetačného obdobia vykazujú dlhodobú stálosť. Pôdny profil ako celok nikdy neprekročil hranicu vlhkosti bodu vädnutia a v jarných mesiacoch sa sporadicky približoval k vlhkosti poľnej vodnej kapacity. Zásoba vody počas vegetačného obdobia celkovo oscilovala okolo hodnoty vlhkosti bodu zníženej dostupnosti. Ani v meteorologicky extrémne suchom vegetačnom období 2015 sa

zásoba vody v ťažkej pôde nedostala k vlhkosti bodu vädnutia ani pri modelovaných ani pri meraných hodnotách.

Na základe monitoringu aj numerickej simulácie možno všeobecne konštatovať, že ani počas meteorologicky extrémne suchých období sa zásoba vody v pôdnom profile v Sennom takmer nikdy nedostala pod úroveň danú vlhkosťou bodu vädnutia, ale pohybovala sa v hraniciach medzi vlhkosťou bodu vädnutia a bodu zníženej dostupnosti.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná projektom agentúry VEGA 2/0062/16 a realizáciou projektu ITMS 26240120004 Centrum excelentnosti integrovanej protipovodňovej ochrany územia, na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998): Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements: FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome: FAO, 1998. 301 p.
- Gomboš, M. (2010): Simulation of the water availability changes for the plant cover as a result of climate change. In Növénytermelés, 2010, vol. 59, supplement, 283-286.

- Hlavatá, H. (2015): Počasie na Východoslovenskej nížine v roku 2014. In XIX. Okresné dni vody: recenzovaný zborník referátov. Bratislava, 2015, 69 – 74.
- Oostindie, K., Bronswijk, J. J. B. (1992): FLOCR – A simulation model for the calculation of water balance, cracking and surface subsidence of clay soils: Report 47. Wageningen: The Winand Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research. 65 p.
- Palmer, W.C. (1965): Meteorological Drought. Research Paper 45, U.S. Weather Bureau, Washington, D.C., 1965, 58 p.
- Tall, A., Gomboš, M. (2011): Aplikácia Palmerovho indexu pre hodnotenie sucha. In Úroda., 2011, vol. 59, Vedecká príloha časopisu, 623 – 628.
- Tall, A., Pavelková, D. (2010): Predpokladaný vplyv klimatických zmien na hladinu podzemnej vody na Východoslovenskej nížine. In Acta Hydrologica Slovaca., 2010, vol. 11, no. 1, 162 – 166.

EVALUATION OF SOIL DROUGHT ACCORDING TO MONITORING AND MODELING IN CONDITIONS OF EAST SLOVAKIAN LOWLAND

Questions concerned to climatic changes are recently most discussed, especially in associate with appearance of various climatic anomalies as compared with long-term average climate. One of the exposal's of extremeness of hydrological processes is soil drought creation. In general we can understand soil drought as a shortness of that water in the soil which plant can use for their growth. To assess the available water storage for the plant cover, we conventionally use the following characteristic points of the moisture retention curve (soil-water content), wilting point (WP) representing the value of $pF = 4.18$, threshold point (TP) representing the value of $pF = 3.3$, field water capacity (FWC) representing the value of $pF = 2.0$ to 2.9 . The water drought starts when the water supplies in the root zone of the soil profile are on the level of TP.

The aim of this contribution is to evaluate soil drought

on locality Senné (part of East Slovakian Lowland) on the basis of monitoring and numerical modelling of soil moisture during 42 growing seasons (from 1974 to 2015). Soil profile in Senné is a representative of very heavy soils with dominant content of clay particles. Soil drought was carried out according to soil's hydrolimits. Analysis of meteorological elements and calculated values of PDSI shown that the driest growing season was in 2015 and August was the driest month. The results of numerical modelling confirmed the overall long-term trend of the drying of the soil profile in Senné.

Monitoring and modelling showed that even during extreme meteorological drought, the water storage in the soil profile in Senné almost never got below the wilting point level, but varied between the wilting point and threshold point levels.

RNDr. Andrej Tall, PhD.
Ing. Branislav Kandra, PhD.
Ing. Dana Pavelková, PhD.
Ústav hydrologie SAV
Výskumná hydrologická základňa
Hollého 42
071 01 Michalovce
Tel.: +421 56 6425 147
E-mail: tall@uh.savba.sk