

**VPLYV BIOUHLIA, KOMPOSTU A ANORGANICKÉHO HNOJENIA
NA VYUŽITEĽNÚ VODNÚ KAPACITU A OBJEMOVÚ HMOTNOSŤ
PIESOČNATO-HLINITEJ PÔDY**

Marek Rodný, Justína Vitková, Peter Šurda, Dušan Igaz, Ján Horák, Jana Domanová, Tomáš Borza

Biouhlie je relatívne moderný materiál, aplikáciou ktorého možno napomôcť sekvestracii uhlíka a zlepšeniu chemických a fyzikálnych vlastností pôd. Predpokladá sa, že kombináciou biouhlia s kompostom možno pri zlepšovaní kvalitatívnych vlastností pôdy dosiahnuť synergický efekt. V tejto práci bol preukázaný pozitívny vplyv zmesi biouhlia a kompostu na využiteľnú vodnú kapacitu a objemovú hmotnosť piesočnato-hlinitkej pôdy. Zvyšovanie využiteľnej vodnej kapacity priamo úmerne s množstvom aplikovaného anorganického hnojiva sa nepodarilo jednoznačne preukázať. Vplyv anorganického hnojiva na objemovú hmotnosť pôdy taktiež nebol jednoznačný. Výsledky práce boli získané v rámci realizácie dlhodobého poľného experimentu a potvrdzujú, že realizácia poľných experimentov je nevyhnutným predpokladom pre výskum moderných melioračných postupov zameraných na posilnenie reziliencie degradovaných agro-ekosystémov voči prejavom globálnej klimatickej zmeny a dôsledkom intenzívneho poľnohospodárstva.

KLÚČOVÉ SLOVÁ: biohlie, kompost, využiteľná vodná kapacita pôdy, objemová hmotnosť pôdy

BIOCHAR, COMPOST AND INORGANIC FERTILIZER INFLUENCE ON AVAILABLE WATER HOLDING CAPACITY AND BULK DENSITY OF SANDY LOAM SOIL. Biochar, a relatively new material, could be considered as a means to sequester carbon while concurrently improving soil chemical and physical characteristics. A synergic amelioration effect could be anticipated once biochar is applied in a mixture with compost. As it was proven by the results of this study, application of the biochar/compost mixture has positive effects on the available water holding capacity and bulk density of the sandy loam soil. However, there was only limited evidence of the inorganic fertilizer influence on the hydrophysical properties under study. The results were obtained from the unique, long term field experiment and fully demonstrated importance of such kind of experiments while testing new amelioration practices focused on strengthening resilience of the degraded agro-ecosystems towards impact of the global climate change and intensive agricultural land use.

KEY WORDS: biochar, compost, available water holding capacity, soil bulk density

Úvod

Vplyvom zvýšenej početnosti extrémnych meteorologických javov, najmä dlhotrvajúcich období sucha, alebo krátkodobých zrážkových udalostí s vysokou intenzitou, sa v súčasnej dobe stupňuje náročnosť pestovania poľnohospodárskych plodín. Významným faktorom ovplyvňujúcim úrodnosť pôd je tiež degradácia fyzikálnych a biologických vlastností pôd, ktorá neodmysliteľne súvisí s modernizáciou živočíšnej výroby. Pôdna organická hmota je považovaná za významný indikátor kvality pôdy a je kľúčovou zložkou pôdy

ovplyvňujúcou jej biologické, fyzikálne, chemické a produkčné vlastnosti. Aj napriek tomu súčasné postupy intenzívneho poľnohospodárstva nie sú zamerané na zvyšovanie množstva pôdnej organickej hmoty (Fischer a Glaser, 2012).

Biouhlie je relatívne moderný materiál, aplikáciou ktorého možno napomôcť sekvestracii uhlíka a zlepšeniu biologických a fyzikálnych vlastností pôd (Hlaváčiková et al., 2015). Vlastnosti biouhlia sú do veľkej miery závislé od použitého materiálu a teploty aplikovanej počas pyrolitického procesu. Predpokladá sa, že kombináciou biouhlia s kompostom, alebo iným vhod-

ným organickým materiálom možno pri zlepšovaní kvalitatívnych vlastností pôdy dosiahnuť synergický efekt. Za najdôležitejšie možno považovať zlepšenie prístupnosti živín pre rastliny, biologickú aktiváciu biouhlia a dlhodobú stabilitu zmesi z pohľadu sekvestrácie uhlíka v pôde. Tento koncept navyše úzko súvisí s pôdami Terra preta, veľmi úrodnými černoziemami vytvorenými človekom z neúrodných pralesných pôd, ktoré s najväčšou pravdepodobnosťou vznikli zmiešavaním uhoľnatých rezíduí s biologickým odpadom produkovaným pôvodným osídlením amazonských pralesov (Sombroek, 1966; Glaser, 2007).

Aj napriek vysokej početnosti publikovaných výsledkov stále existuje veľké množstvo nejasností ohľadom vplyvu biouhlia na kľúčové hydrofyzikálne charakteristiky pôdy. Absentujú poľné experimenty a len malé množstvo štúdií skúma dlhodobý účinok biouhlia na pôdne vlastnosti. Výsledky poľných experimentov zameraných na vplyv zmesi kompostu a biouhlia na hydrofyzikálne charakteristiky pôdy sú dostupné len vo veľmi obmedzenej miere. V rámci realizácie skleníkových a kvetináčových experimentov bol pozitívny efekt zmesi biouhlia a kompostu na rast vegetácie preukázaný v prácach Schulza a Glasera (2012), či Schulza et al. (2013). Cieľom tejto práce bolo analyzovať vplyv aplikácie zmesi biouhlia a kompostu na využiteľnú vodnú kapacitu a objemovú hmotnosť piesočnato-hlinitej pôdy. Analyzovaný bol tiež vplyv aplikácie anorganického hnojiva a jeho možný príspevok k úprave hydrofyzikálnych vlastností pôdy. Výsledky práce boli získané v rámci unikátneho dlhodobého poľného experimentu s reálnym poľnohospodárskym využívaním pôdy.

Materiál a metódy

Zmes biouhlia a kompostu bola vyrobená firmou Sonnenerde (Sonnenerde Gerald Dunst Kulturerden GmbH, Riedlingsdorf, Rakúsko). Pomer biouhlia a kompostu bol 30 % hm. ku 70 % hm. Použitý kompost obsahoval 45 % obj. zeleného odpadu, 45 % obj. Mliečného kalu a zvyšných 10 % obj. tvoril kamenný prach. Biouhlie bolo vyrobené z kalov papierenského vlákna s obilnými šupkami v pomere 50 % hm. ku 50 % hm. pyrolýzou pri teplote 550 °C po dobu 30 minút v reaktore Pyreg (Pyreg GmbH, Dörth, Nemecko).

Materiál bol aplikovaný v množstve ekvivalentnom 20 t.ha⁻¹ v marci 2014 na plochách Výskumno-experimentálnej bázy Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre, odbornej verejnosti známej aj ako Dolná Malanta (zem. šír. 48°19'00"; zem. dĺž. 18°09'00"). Pôdny typ bol klasifikovaný ako hnedozem kultizemná, pričom pôda obsahuje v priemere 360,4 g.kg⁻¹ piesku, 488,3 g.kg⁻¹ prachu a 151,3 g.kg⁻¹ ílu (Šimanský et al., 2008).

Časť poľného experimentu venovaná zmesi kompostu a biouhlia aplikovanej v ekvivalentnom množstve 20 t.ha⁻¹ pozostávala z 9 experimentálnych plôch s rozmerom 6 × 4 m, pričom tieto boli od seba oddelené ochrannou zónou šírky 0,5 m (Domanová et al., 2015).

Na 6 z 9 experimentálnych plôch bolo okrem zmesi biouhlia a kompostu aplikované aj anorganické hnojivo liadok amónno-vápenatý 27 (27 % N, 20 % CaCO₃). V roku 2014 bol na experimentálnych plochách pestovaný jačmeň jarný (*Hordeum vulgare* L.) Anorganické hnojivo bolo v roku 2014 pridávané v množstvách ekvivalentných 0, 40 a 80 kg.ha⁻¹ vždy v troch opakovaníach (na troch experimentálnych plochách). V roku 2015 bola na experimentálnych plochách pestovaná kukurica na zrno (*Zea mays* L.) a dávky anorganického dusíka boli zvýšené na 160 a 240 kg.ha⁻¹, pričom rozvrh hnojivých plôch zostal zachovaný.

Pre porovnanie bolo použitých rovnako 9 experimentálnych plôch bez prídavku biouhlia (kontrola). Množstvo aplikovaného dusičnanového hnojiva bolo v rokoch 2014 a 2015 totožné ako v prípade plôch s prídavkom biouhlia a kompostu.

Neporušené pôdne vzorky boli v rokoch 2014 a 2015 odoberané do Kopeckého valčekov (objem 100 cm³) v jarnom (máj 2014, marec 2015) a jesennom (november 2015) termíne, vždy pred vykonaním agrotechnických operácií spojených s poľnohospodárskym využívaním lokality. Z každej z 18 experimentálnych plôch boli odobraté 3 neporušené pôdne vzorky.

Pri komplexnom hodnotení vplyvu biouhlia a kompostu na hydrofyzikálne charakteristiky pôdy nebol vplyv anorganického hnojenia na využiteľnú vodnú kapacitu pôdy a jej objemovú hmotnosť bráný do úvahy. V tomto prípade skúmaný súbor vzoriek reprezentujúci jarný, resp. jesenný odberný termín pozostával z 54 vzoriek (27 biouhlie/kompost a 27 kontrola).

Následne bol analyzovaný aj možný vplyv anorganického hnojenia na predmetné hydrofyzikálne charakteristiky pôdy a to porovnaním 3 súborov vzoriek reprezentujúcich ekvivalentné množstvo anorganického hnojiva.

Obsah vody pri hodnotách vlhkosťného potenciálu (-2, -10, -60, -200, -560, -1000, -3000 cm) bol na neporušených pôdnych vzorkách meraný štandardným postupom v pretlakových nádobách (Soil Moisture Equipment Corp., Santa Barbara, CA, USA). Merané body vlhkosťných retenčných kriviek boli aproximované analytickou funkciou podľa van Genuchtena (1980). Hodnota reziduálnej vlhkosti pôdy θ_r bola určená na základe vzťahu Šútora a Majerčáka (1988). Ostatné parametre analytického vyjadrenie vlhkosťnej retenčnej krivky (θ_s, α, n) boli vypočítané v pomocou softvéru RETC (van Genuchten et al., 1991).

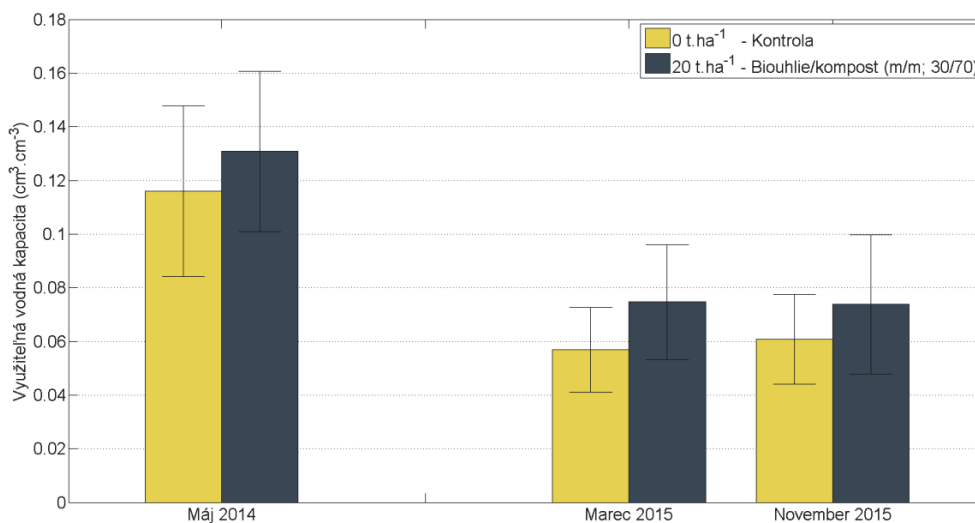
Využiteľná vodná kapacita bola určená z rozdielu obsahov vody pri hodnotách vlhkosťného potenciálu odpovedajúcich hydrolimitom poľná vodná kapacita (-330 cm) a bod vädnutia (-15 000 cm), (Nolz et al., 2016).

Výsledky a diskusia

Z obr. 1 je zrejmé, že tesne po aplikácii zmesi biouhlia a kompostu (v máji 2014), došlo k zvýšeniu využiteľnej vodnej kapacity pôdy z 0,116 cm³.cm⁻³ na 0,131 cm³.cm⁻³. Pozitívny vplyv aplikácie zmesi biouhlia

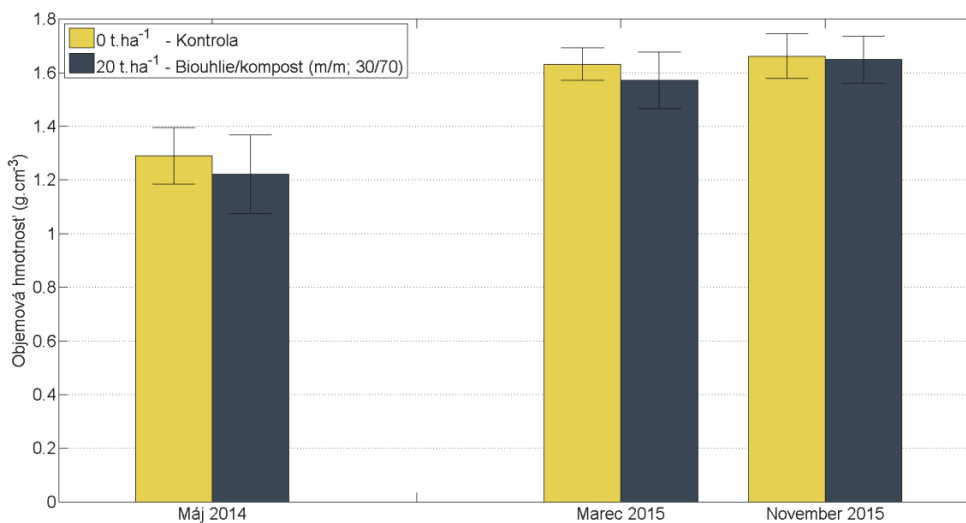
a kompostu sa v menšej miere prejavil aj na objemovej hmotnosti pôdy, ktorá vo vzorkách odobratých v máji 2014 v priemere poklesla z $1,291 \text{ g.cm}^{-3}$ na $1,222 \text{ g.cm}^{-3}$ (obr. 2). Takmer 50 %-ný pokles využiteľnej vodnej kapacity zaznamenaný v údajoch z jarného a jesenného odberu vzoriek v roku 2015 je dôsledkom manažmentu agrotechnických operácií v rámci experimentu, konkrétne úplného vylúčenia orby a aplikácie len minimálnej agrotechniky (diskovanie, kultivátor). Prírodné zhutnenie pôdy v dôsledku prirodzenej kon

solidácie pôdy v kombinácii so zhutnením zapríčineným prejazdmi mechanizácie počas seby, chemického ošetrovania, alebo zberu plodín sa prejavilo aj vo zvýšení objemovej hmotnosti pôdy z $1,291 \text{ g.cm}^{-3}$ na $1,632 \text{ g.cm}^{-3}$ (marec 2015) a $1,665 \text{ g.cm}^{-3}$ (november 2015) na kontrolných plochách. Obdobný efekt je badateľný aj na plochách s prídavkom zmesi biouhlia a kompostu, kde objemová hmotnosť narástla z $1,222 \text{ g.cm}^{-3}$ na $1,573 \text{ g.cm}^{-3}$ (marec 2015) a $1,649 \text{ g.cm}^{-3}$ (november 2015).



Obr. 1. Vplyv aplikácie zmesi biouhlia a kompostu na využiteľnú vodnú kapacitu piesočnato-hlinitej pôdy v rokoch 2014 a 2015.

Fig. 1. Influence of the biochar/compost mixture on the available water holding capacity of the sandy loam soil in the years 2014 and 2015.



Obr. 2. Vplyv aplikácie zmesi biouhlia a kompostu na objemovú hmotnosť piesočnato-hlinitej pôdy v rokoch 2014 a 2015.

Fig. 2. Influence of the biochar/compost mixture on the bulk density of the sandy loam soil in the years 2014 and 2015.

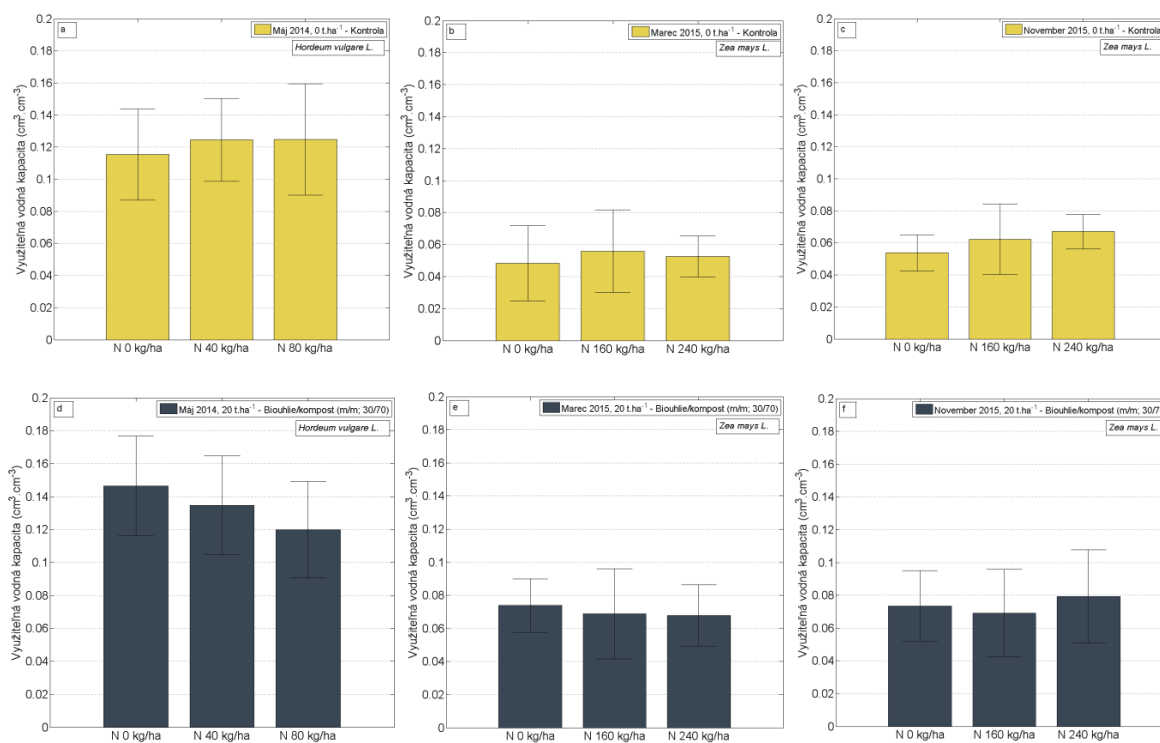
Významným je zistenie, že aj napriek radikálnemu zvýšeniu objemovej hmotnosti pôdy pozitívny efekt zmesi biouhlia a kompostu na využiteľnú vodnú kapacitu pôdy pretrval, pričom táto bola v marci 2015 vyššia o $0,018 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ a v novembri 2015 vyššia o $0,013 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ ako využiteľná vodná kapacita zistená na kontrolných plochách.

Výsledky tejto práce korešpondujú s výsledkami práce Šurdu et al. (2014) realizovanej na rovnakých experimentálnych plochách, no zameranej na variabilitu nasýtenej hydraulickej vodivosti povrchovej vrstvy pôdy v priebehu vegetačného obdobia. Autori vo svojich výsledkoch preukázali, že v období po agrotechnickom zásahu (sejba jačmeňa) bola variabilita nasýtenej hydraulickej vodivosti pôdy vysoká. Následne, so stúpajúcim počtom dní od agrotechnického zásahu, hodnoty hydraulickej vodivosti klesali na všetkých experimentálnych plochách, namerané hodnoty sa vyrovnávali a variabilita hodnôt klesala, t. j. efekt konsolidácie a zhutňovania pôdy bol výraznejší ako vplyv pridaného organického materiálu.

Z obr. 3 je zrejmé, že vplyv anorganického hnojenia na využiteľnú vodnú kapacitu pôdy nebol jednoznačný. Za pozornosť stojí fakt, že v prípade experimentálnych plôch bez pridanej zmesi biouhlia a kompostu (kontrola) bola najnižšia využiteľná vodná kapacita zistená vždy

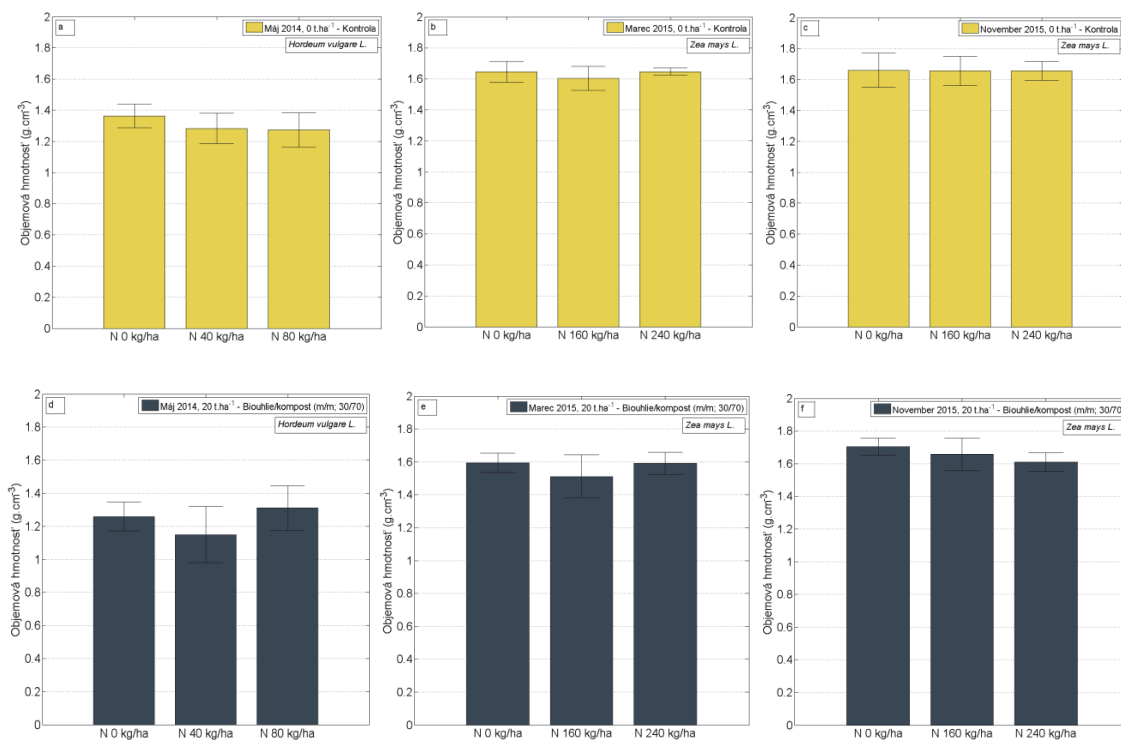
na plochách bez hnojenia anorganickým dusíkom ($\text{N } 0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$; obr. 3a, b, c). Zároveň však treba poukázať aj na trend zvyšovania využiteľnej vodnej kapacity, ktorý nebol priamo úmerný množstvu pridaného anorganického dusíka (obr. 3a, b), prípadne úplne absentoval (obr. 3b). Veľmi prekvapivá bola situácia na experimentálnych plochách s prídavkom zmesi biouhlia a kompostu, kde v jarnom odbere roku 2014 bola najnižšia využiteľná vodná kapacita zistená na plochách s najväčším množstvom aplikovaného anorganického dusíka ($\text{N } 80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$; obr. 3d), pričom pokles využiteľnej vodnej kapacity bol nepriamo úmerný množstvu aplikovaného dusíkatého hnojiva (obr. 3d). Toto zistenie je protichodné so situáciou na kontrolných plochách (obr. 3a). Vo vzorkách z ostatných odberných termínov (obr. 3e, f) sa, podobne ako v prípade kontrolných plôch, nepodarilo jednoznačne preukázať trend zvyšovania využiteľnej vodnej kapacity priamo úmerný množstvu pridaného anorganického dusíkatého hnojiva.

Z obr. 4 je zrejmé, že vplyv hnojenia anorganickým dusíkom na objemovú hmotnosť piesočnato-hlinitej pôdy na oboch typoch experimentálnych plôch nie je jednoznačný a s vývojom využiteľnej vodnej kapacity na experimentálnych plochách negatívne koreluje len vo veľmi obmedzenej miere (obr. 3a – obr. 4a; obr. 3f – obr. 4f).



Obr. 3. Vplyv aplikácie anorganického hnojiva a zmesi biouhlia a kompostu na využiteľnú vodnú kapacitu piesočnato-hlinitej pôdy v rokoch 2014 a 2015.

Fig. 3. Influence of the inorganic fertilizer and the biochar/compost mixture on the available water holding capacity of the sandy loam soil in the years 2014 and 2015.



Obr. 4. Vplyv aplikácie anorganického hnojiva a zmesi biouhľia a kompostu na objemovú hmotnosť piesočnato-hlinitej pôdy v rokoch 2014 a 2015.

Fig. 4. Influence of the inorganic fertilizer and the biochar/compost mixture on the bulk density of the sandy loam soil in the years 2014 and 2015.

Záver

Biouhlie je relatívne moderný materiál, aplikáciou ktorého možno napomôcť sekvestracii uhlíka a zlepšeniu chemických a fyzikálnych vlastností pôd. Pozitívne vlastnosti biouhľia môžu byť umocnené jeho kombináciou s kompostom, alebo iným organickým materiálom vhodným pre zlepšenie kvalitatívnych vlastností pôdy.

V tejto práci bol preukázaný pozitívny vplyv zmesi biouhľia a kompostu na využiteľnú vodnú kapacitu a objemovú hmotnosť piesočnato-hlinitej pôdy. Vo výsledkoch bol tiež indikovaný vplyv hnojenia anorganickým dusíkom na využiteľnú vodnú kapacitu pôdy. Priamo úmerné zvyšovanie využiteľnej vodnej kapacity s množstvom aplikovaného anorganického dusíkatého hnojiva sa nepodarilo jednoznačne preukázať. Vplyv hnojenia anorganickým dusíkom na objemovú hmotnosť pôdy nebol jednoznačný. Z výsledkov práce je zrejme, že manažment agrotechnických operácií významnou mierou ovplyvňuje hydrofyzikálne charakteristiky pôdy.

Vzhľadom na uvedené je zrejme, že realizácia dlhodobých poľných experimentov je nevyhnutným predpokladom pre výskum moderných melioračných postupov zameraných na posilnenie reziliencie degradovaných agro-ekosystémov voči prejavom globálnej klimatickej zmeny a dôsledkom intenzívneho poľnohospodárstva.

PodĎakovanie

Príspevok vznikol vďaka podpore projektu Agentúry na podporu výskumu a vývoja APVV-15-0160, a tiež vďaka podpore projektu Vedeckej grantovej agentúry VEGA 2/0013/15. Prístrojové vybavenie bolo získané vďaka projektu 26220120062 "Centrum excelencie pre integrovaný manažment povodí v meniacich sa podmienkach prostredia (CEIMP) financovanom z Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci operačného programu Výskum a vývoj.

Literatúra

- Domanová, J., Igaz, D., Borza, T., Horák, J. (2015): Retenčné charakteristiky pôdy po aplikácii biouhľia. Acta Hydrologica Slovaca, Vol. 16, No. 2, 193 – 198.
- 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.
- van Genuchten, M.Th., Leij, F.J., Yates, S.R. (1991): The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils. EPA Report 600/2-91/065. US Salinity Laboratory, USDA, ARS, Riverside, CA.
- Fischer, D., Glaser, B. (2012): Synergisms between compost and biochar for sustainable soil amelioration. In: Sunil, K., Bharti, A. (eds). Management of organic

- waste. InTech, Rijeka, Croatia, pp 167 – 198.
- Glaser, B. (2007): Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 362, 187 – 196.
- Hlaváčiková, H., Brezianská, K., Novák, V. (2016): Vplyv biouhlia na retenčné vlastnosti hlinito-piesočnatej pôdy, *Acta Hydrologica Slovaca*, Vol. 17, No. 2, 279 – 286.
- Nolz, R., Cepuder, P., Balas, J. and Loiskandl, W. (2016): Soil water monitoring in a vineyard and assessment of unsaturated hydraulic parameters as thresholds for irrigation management. *Agricultural Water Management*, 164, 235 – 242.
- Sombroek, W.G. (1966): A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region, Centre for Agricultural Publications and Documentation, Wageningen.
- Schulz, H., Glaser, B. (2012): Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *J Plant Nutr Soil Sci.*, 175,410 – 422.
- Schulz, H., Dunst, G., Glaser, B. (2013): Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility *Agron. Sustain. Dev.*, Vol. 33, No. 4, 817 – 827.
- Šimanský, V, Tobiašová, E. Chlpík J. (2008): Soil tillage and fertilization of Orthic Luvisol and their influence on chemical properties, soil structure stability and carbon distribution in water-stable macro-aggregates. *Soil Till Res.*, 100, 125 – 132.
- Šurda, P., Rodný, M., Vitková, J., Domanová, J. (2014): Vplyv aplikácie biouhlia na nasýtenú hydraulickú vodivosť poľnohospodársky využívanej pôdy. *Acta Hydrologica Slovaca*, Vol. 15, tematické číslo, 148 – 155.
- Šútor, J., Majerčák, J. (1988): Extrapolation of measured values of soil hydrophysical characteristics for given soil type. *J.Hydrol. Hydromech.*, 36, 639 – 654.

BIOCHAR, COMPOST AND ANORGANIC FERTILIZER INFLUENCE ON AVAILABLE WATER HOLDING CAPACITY AND BULK DENSITY OF SANDY LOAM SOIL

Biochar, a relatively new material, could be considered as a means to sequester carbon while concurrently improving soil chemical and physical characteristics. A synergic amelioration effect could be anticipated once biochar is applied in a mixture with compost. As it was proven by the results of this study, application of the biochar/compost mixture has positive effects on the available water holding capacity and bulk density of the sandy loam soil. However, there was only limited

evidence of the inorganic fertilizer influence on the hydrophysical properties under study.

The results were obtained from the unique, long term field experiment and fully demonstrated importance of such kind of experiments while testing new amelioration practices focused on strengthening resilience of the depredated agro-ecosystems towards impact of the global climate change and intensive agricultural land use.

Ing. Marek Rodný, PhD.
Ing. Justína Vitková, PhD.
Ing. Peter Šurda, PhD.
Ústav hydrologie SAV
Dúbravská cesta 9
841 04 Bratislava
Tel.: +4212 3229 3519
E-mail: rodny@uh.savba.sk

Doc. Ing. Dušan Igaz, PhD
Ing. Ján Horák, PhD.
Ing. Jana Domanová, PhD.
Ing. Tomáš Borza
Katedra biometeorológie a hydrologie, FZKI
Slovenská poľnohospodárska univerzita
Tulipánová 7
949 76 Nitra