

Rizika pěstování cukrové řepy na erozně ohrožených pozemcích

RISKS OF GROWING SUGAR BEET ON LAND ENDANGERED BY EROSION

Anna Hammerová¹, Adam Polcar², Jana Šimečková¹, Jiří Jandák¹

¹Ústav agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin, Mendelova univerzita v Brně

²Ústav techniky a automobilové dopravy, Mendelova univerzita v Brně

Cukrová řepa jako hlubokokořenná plodina velmi citlivě reaguje svým vývojem, chemickým složením a tvorbou technologické jakosti na utužení půdy a na zhoršení půdních fyzikálních vlastností. Kvalitní řepařská půda má mít mimo jiné optimální strukturu, pórovitost (nad 45 %) a nízkou objemovou hmotnost (pod 1,45 g.cm⁻³) (1).

Způsob hospodaření na půdě je jedním z činitelů ovlivňujících další vývoj půdních procesů. Ukázalo se, že jednotlivá opatření vydávaná dříve vesměs za intenzifikační nebyla dostatečně promyšlená a kompenzačně provázaná, takže svými vedlejšími účinky na půdu způsobila nové problémy spojené se znehodnocováním dříve úrodných půd (2). K závažným degradačním procesům patří utužení půdy, které je nejčastěji přičítané používání těžké mechanizace s vysokými měrnými tlaky na půdu, velkým počtem přejezdů po poli a nadměrným počtem pracovních operací. Dle HŮLY (3) se však v poslední době podařilo tyto dopady minimalizovat.

Na erozně ohrožených pozemcích ovlivňuje utužení půdy také vodní eroze, při které půda přichází o svou nejurodnější část – ornici a koloidní podíl (půdní částičky do 2 μm), snižuje se obsah humusu a vlivem kinetické energie dešťových kapek dochází k destrukci agregátů půdní struktury. Tím se výrazně zhoršují fyzikálně-chemické vlastnosti půdy a tvoří se vhodné podmínky pro ztuhnutí půdy. Utužená půda pak omezuje infiltraci vody do půdy, čímž se zvyšuje povrchový odtok a následná vodní eroze. Dochází tedy k provázanosti a vzájemné podpoře těchto dvou jevů. Na území České republiky je přibližně polovina orné půdy ohrožena vodní erozí (4).

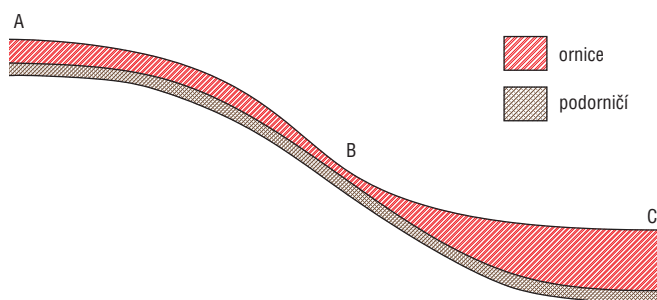
Sklon stanoviště vhodného pro pěstování cukrové řepy by měl být do 3 %, podle kódu BPEJ 0–1 rovina. Sklon pozemku nad 5 % je pro pěstování řepy nevhodný. Vedle sklonu svahu je velmi důležitým faktorem také délka svahu. S prodlužující délkou svahu se zvyšuje riziko vodní eroze a za vhodných podmínek může docházet k erozi i při velmi malých sklonech (5). Velmi často se můžeme setkat s případy, kdy se cukrovka pěstuje na právě takovýchto pozemcích (obr. 1.).

Zhutnění půd je na mnoha stanovištích vážnou příčinou podstatného zhoršení úrodnosti a produkční schopnosti půd, omezuje plné využití genetického potenciálu výkonných odrůd a snižuje efektivitu vstupů do produkčního procesu pěstování plodin, především organického i minerálního hnojení. Přitom důsledky nadměrného ztuhnutí půd jsou o to vážnější, že se převážně jedná o půdy potenciálně velmi úrodné. Při ztuhnutí půdy dochází k zvýšení objemové hmotnosti půdy, snížení pórovitosti (především klesá objem nekapilárních pórů) a při vyšším stupni působí destrukci půdních agregátů. To vede ke zhoršování dalších fyzikálních vlastností půdy, např. k omezené propustnosti půdy pro vodu, způsobuje změny v obsahu vody v rámci půdního horizontu a ovlivňuje její pohyb v půdě. Ztuhnutí současně ovlivňuje relace mezi obsahem vzduchu (deficit kyslíku v kořenovém prostoru) a teplotou půdy. Dochází také ke zvýšení odporu půd při jejich zpracování, tím vzrůstá energetická náročnost jejich běžného obdělávání (zejména orby) a to se zákonitě promítá do zvýšené spotřeby nafty (6). JAVŮREK (6) dále uvádí, že se vliv utužené půdy na rostliny projevuje redukcí rychlosti růstu kořenů, jejich prodlužováním

Obr. 1. Cukrová řepa na pozemku mírně svažitém, ohroženém vodní erozí



Obr. 2. Schéma podélného profilu erozně ohroženého svahu



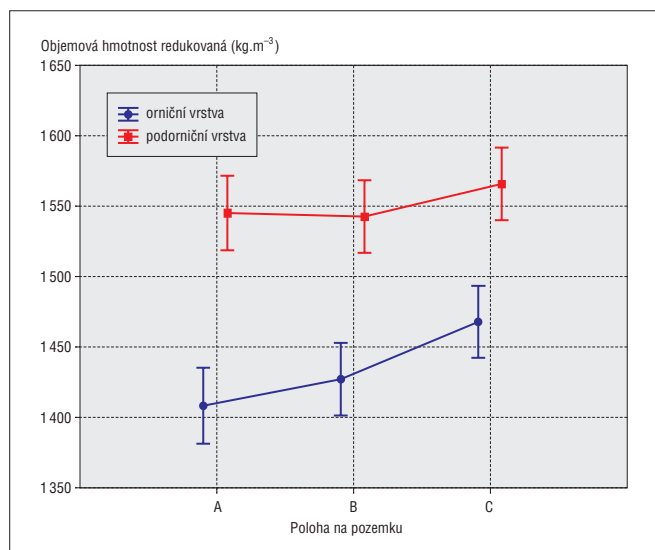
a prorůstáním do spodních vrstev půdy (hloubka zakořenění) i tvorbou kořenového vlášení. Nejvíce jsou postiženy plodiny, které tvoří hospodářský výnos podzemními orgány, např. u cukrové řepy dochází k tzv. mrcasatosti kořene. Vlivem zhuštění půd v ornici a podorničí se výnosy cukrovky snižují o 20–30 % a cukrnatost v průměru o 15 %.

V článku se zabýváme sledováním fyzikálního stavu půdy na pozemcích ohrožených vodní erozí se zaměřením na zhuštění půdy jako závažné příčiny zhoršení úrodnosti půd a snížení výnosů cukrové řepy.

Materiál a metody

Na podzim během let 2013 a 2014 byly odebrány vzorky z 15 pozemků nacházející se v Jihomoravském kraji. Všechny pozemky se nacházely na půdním typu černozem na spraši a byly ohroženy vodní erozí. Na každém pozemku byly vyhloubeny sondy pro popis půdního profilu a odebírány vzorky na vrcholu kopce „A“, ve svahu „B“ a na úpatí svahu „C“ (viz obr. 2.). Pro stanovení vybraných fyzikálních vlastností byly odebrány neporušené půdní vzorky pomocí Kopeckého válečku z ornice (0–0,3 m) a podorničí (0,3–0,6 m), a to ve čtyřech opakováních. V laboratořích Mendelovy univerzity v Brně byla podle metodiky ZBÍRALA (7) rozbořem neporušených půdních vzorků stanovena

Obr. 3. Výsledky jednofaktorové analýzy rozptylu pro objemovou redukovanou hmotnost



celková pórovitost i zastoupení skupin pórů podle velikosti a objemová hmotnost redukovaná.

Výsledky a diskuze

Cukrovou řepu, jakožto širokořádkovou plodinu, se doporučuje pěstovat na rovinatých pozemcích (se sklonem do 3°). Na pozemcích i s mírným sklonem může docházet k vodní erozi. Na vybraných pozemcích byl dobře patrný vliv vodní eroze, který na první pohled indikoval posun půdních částic do podsvahových poloh pozemku. Na takovýchto pozemcích pak nastává smývání ornice a dochází k zúrodnování stále hlubších vrstev půdního profilu. Na většině pozemků se následně priorává spraš a někdy je sprašový povrch zcela odkryt a postupně zúrodnován. V podsvahových polohách se půdní částice akumulují nebo částečně pokračují do toků.

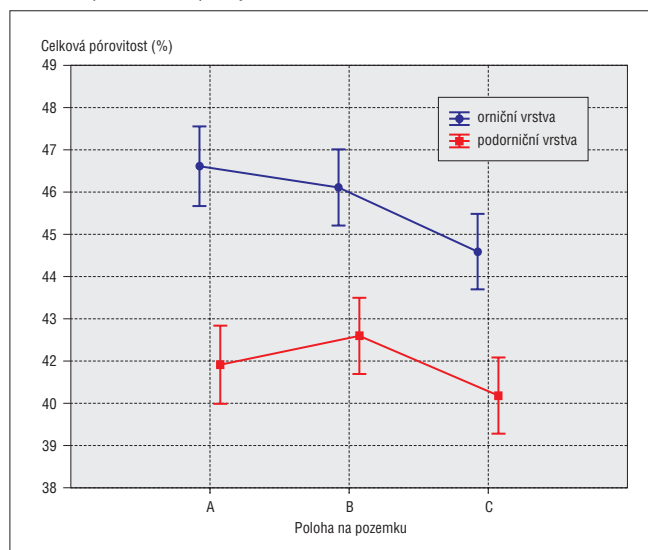
Jak již bylo zmíněno, hlavním sledovaným parametrem na půdách ohrožených erozí bylo zhuštění půdy. Utužení půdy úzce souvisí s fyzikálními vlastnostmi půdy, především s objemovou redukovanou hmotností a pórovitostí.

Ke zpracování naměřených dat byl využit statistický software Statistica Cz 12. Pro základní vyhodnocení byla použita jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA). Aby bylo možné zmíněnou analýzu použít, byly před vlastní aplikací ověřeny předpoklady o datech (např. normalita dat). Na obr. 3. jsou graficky uvedeny výsledky z ANOVY. Vertikální sloupce označují 95% intervaly spolehlivosti vypočtených průměrných hodnot. Z vypočítaných hodnot a obr. 3. je zřejmé, že hodnoty objemové hmotnosti redukované jsou jak pro ornici, tak pro vrstvu podorničí statisticky rozdílné. Z tohoto důvodu probíhalo vyhodnocení sledovaných parametrů v každé vrstvě zvlášť.

Hodnoty objemové hmotnosti v sobě odrážejí poměr pevných částic půdy a pórovitost (8). Hlinité půdy, kam spadají černozemě, mají kritickou hodnotu 1,45 g.cm⁻³ (tj. 1 450 kg.m⁻³), její překročení indikuje utužení půdy. Kritická hodnota pro cukrovou řepu je 1,37–1,45 g.cm⁻³ (1).

Jak je z obr. 3. patrné hodnoty objemové hmotnosti v podorničí výrazně překračují kritickou hodnotu ve všech polohách

Obr. 4. Výsledky jednofaktorové analýzy rozptylu pro celkovou pórovitost půdy



pozemku a tím indikují utužení půdy. V orniční vrstvě na vrcholu svahu se hodnoty objemové hmotnosti pohybují pod kritickou hodnotou, tyto polohy jsou na tom z pohledu utužení půdy nejlépe. Ve střední části svahu dochází ke zvýšení objemové hmotnosti, ale hodnota zůstává nadále pod kritickou hodnotou. Na úpatí svahu, kde dochází k ukládání transportovaných částic, jsou i přes používanou agrotechniku naměřené hodnoty nad kritickou hodnotou.

V orniční vrstvě dochází k větší fluktuaci objemové redukované hmotnosti než v podorničí. Následným mnohonásobným porovnáváním pomocí Tukeyova testu byl zjištěn statisticky významný rozdíl objemové redukované hmotnosti pouze v orniční vrstvě, a to mezi polohou „A“ a „C“, resp. na svahu a pod svahem.

Dalším hodnoceným parametrem, který souvisí s utužením půdy, je pórovitost. Výsledky celkové pórovitosti úzce korespondují s hodnocením objemové hmotnosti redukované. Výsledky jednofaktorové analýzy pro celkovou pórovitost půdy uvádí obr. 4.

Kritická hodnota celkové pórovitosti pro hlinité půdy je 45 %. Pokud obsah všech pórů klesne pod tento limit, je půda utužená a dochází k poškození půdních režimů a funkcí (2). V orniční vrstvě se hodnoty celkové pórovitosti dostávají pod kritickou hodnotu až v akumulární části, kde je silně utužená nejenom zmíněná ornice, ale i podorničí. Hodnoty podorničí se pohybují pod kritickou hodnotou ve všech polohách svahu a tím ukazují na nedostatečný celkový objem pórů. Ve střední část svahu v podorniční vrstvě se stav utaženosti půdy jeví jako

lepší. Dochází zde k odnosu půdních částic z povrchu, tím se při orbě podorničí dostává stále do větších hloubek horizontu a proces zhutnění se přitom uplatňuje postupně. Je však nutné si uvědomit, že zároveň přicházíme o úrodnou ornici a nově odkrytý substrát je třeba zúrodnovat, takže tento proces nelze považovat za pozitivní.

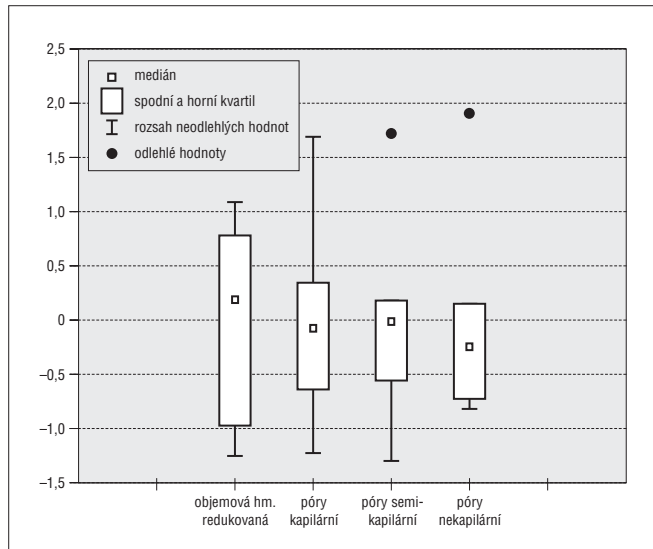
Výsledky ANOVY a následně i Tukeyova testu ukázaly statisticky významné rozdíly pouze v orniční vrstvě, a to rovněž na svahu a pod svahem (pozice „A“ a „C“), stejně jako v případě objemové hmotnosti.

Pro základní hodnocení byla uvažována pouze celková pórovitost získána součtem pórů kapilárních, nekapilárních a semikapilárních. Tyto prostory nezaplněné pevnou fází půdy jsou většinou rozdílného tvaru i velikosti a jsou různým způsobem propojeny. Póry umožňují v půdě proudění vody a vzduchu. Probíhají v nich látkové přeměny a výměnné reakce mezi organismy a kořínky rostlin (9).

Kapilární póry s průměrem pod 0,2 mm neumožňují výměnu vzduchu a omezují z důvodu povrchových sil gravitační pohyb vody, ale zajišťují její vztlínání. Nekapilární póry bývají většinou vyplněné vzduchem a rychle propouští gravitační vodu (8). Na technické utužení půdy citlivě reagují nekapilární póry, kdy dochází k jejich významné redukci. To se může projevit zvýšením povrchového odtoku, s nímž souvisí riziko vodní eroze na úpatí svahu nebo rovinách, kde voda stagnuje a dochází k zamokření.

Kořen cukrové řepy v půdě zaujímá přibližně 1–1,5 l na jednu řepu, tedy 9–15 l.m⁻² (10). Půda je s postupujícím

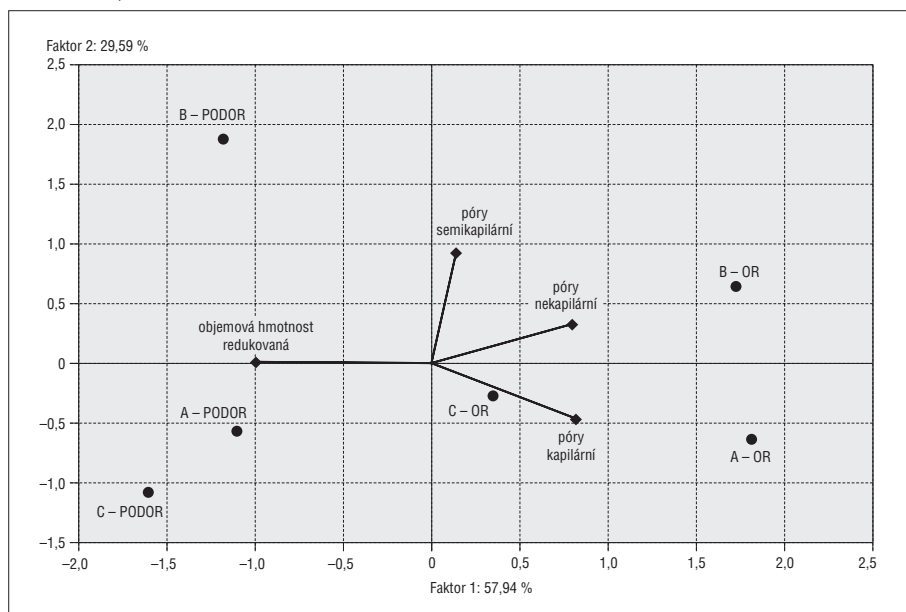
Obr. 5. Krabicový graf sledovaných parametrů



růstem kořene komprimována. Kořen cukrovky vylučuje oxid uhličitý, který musí odcházet z půdy a být nahrazován kyslíkem vstupujícím půdy. Zatímco CO₂ je pro kořeny jed, kyslík řepa potřebuje pro tvorbu vlasových kořínků. Výměna plynů musí probíhat nerušeně a aby tomu tak skutečně bylo, musí v půdě být alespoň 8–10 % hrubých (nekapilárních) pórů (11).

Pro zjištění vazby mezi jednotlivými typy pórů a objemovou redukovanou hmotností a zjištění, která místa na svahu jsou si z hlediska sledovaných parametrů podobná, byla využita statistická metoda pro zpracování vícerozměrných datových souborů. Použitou metodou byla analýza hlavních komponent (Principal Component Analysis – PCA). PCA využívá metodu tzv. lineárních transformací původních znaků na nové nekorelované proměnné nazvané hlavní komponenty. Každá hlavní komponenta pak představuje lineární kombinaci původních znaků (12).

Obr. 6. Graf komponentních vah společně s rozptylovým diagramem komponentního skóre pro faktor 1 a 2



Pro zjištění proměnlivosti dat u sledovaných parametrů byl nejprve sestaven krabicový graf (obr. 5.). Pomocí proměnlivosti dat lze stanovit, u kterého sledovaného parametru se nejvíce jednotlivá odběrná místa mezi sebou liší. Aby bylo možné vzájemně porovnat jednotlivé znaky, byla data před sestavením grafu standardizována. Jak je z krabicového grafu patrné, největší proměnlivost resp. největší rozptyl naměřených dat dosahuje objemová hmotnost redukována. Z toho vyplývá, že nejvíce se jednotlivá místa odběru liší z hlediska objemové hmotnosti. Nejméně pak z hlediska obsahu semikapilárních pórů.

Pro analýzu hlavních komponent byly zvoleny první dvě hlavní komponenty, které vysvětlují dohromady 87,53 % informace, resp. celkové proměnlivosti v datech. Mezi další kroky patřilo sestavení grafu komponentních vah společně s rozptylovým diagramem komponentního skóre (obr. 6.). Pomocí tohoto grafu lze zjistit, které parametry navzájem spolu korelují (závisí na úhlu mezi černými průvodiči vycházejících z počátku) a která odběrná místa na pozemku jsou si podobná z hlediska sledovaných parametrů.

Co se týče korelací, tak nejvyšší záporná korelace byla zjištěna mezi objemovou hmotností a póry kapilárními (-0,85), dále pak mezi objemovou hmotností a póry nekapilárními (-0,75). Tuto skutečnost lze také vyjádřit tak, že s rostoucí objemovou hmotností klesá množství kapilárních a nekapilárních pórů.

Jak je z výsledků zřejmé, tak nejvíce jsou si podobná místa „A“ a „C“ v podorniči, které mají vysokou objemovou hmotnost a současně nízký obsah nekapilárních pórů. Místo „B“ v podorniči má rovněž vysokou objemovou hmotnost, ale i vysoký podíl semikapilárních pórů. V orniční vrstvě jsou jednotlivá odběrná místa rozdílná. Místa „A“ a „C“ mají menší podíl pórů semikapilárních, naproti tomu uprostřed svahu, kde je eroze největší (místo „B“), je vyšší podíl pórů nekapilárních a zároveň vyšší hodnota pórů semikapilárních při nízké objemové hmotnosti. Místa „A“ a „B“ (v orniční vrstvě) mají ze všech sledovaných míst nejmenší hodnotu objemové hmotnosti a vyšší podíl kapilárních a nekapilárních pórů. Výsledky tak potvrzují závěry získané z analýzy rozptylu.

Na všech vybraných pozemcích se projevuje utužení půdy. Místa „A“ a „C“ v podorniči s vysokou objemovou hmotností a nízkým obsahem nekapilárních pórů jsou z tohoto pohledu nejvíce poškozena. Výsledky z místa „A“ ornice vykazují mnohem lepší výsledky díky použité agrotechnice při minimálním poškození vodní erozí. Podsvahové polohy „C“ ornice, kde jsou akumulovány půdní částice, mají i přes použitou agrotechniku kritické hodnoty indikující utužení půdy. To ukazuje, že je obtížnější zlepšit fyzikální vlastnosti půdy, která byla vlivem vodní eroze transportována a následně akumulována, než vlastnosti půdy netransportované.

Závěr

Zhutňování půdy má za následek zvýšení její objemové hmotnosti,

snížení pórovitosti (především nižší objem nekapilárních pórů) a při vyšším stupni působí destrukci půdních agregátů. To vede ke zhoršování dalších fyzikálních vlastností půdy. Na erozně ohrožených svazích je půda k destrukčním procesům náchylnější v důsledku ztrát ornice, koloidního podílu půdy, organických látek a destrukce agregátů půdní struktury.

V letech 2013–2014 byly v podzimních obdobích odebrány vzorky na černozemních hlinitých půdách ohrožených vodní erozí a byly stanoveny základní fyzikální vlastnosti.

Na vybraných pozemcích byl dobře patrný vliv vodní eroze, který na první pohled indikoval posun půdních částic do podsvahových poloh pozemku. Hodnoty objemové hmotnosti v podorniči výrazně překračovaly kritickou hodnotu ve všech polohách pozemku, a tím indikovaly utužení půdy. V orníční vrstvě na vrcholu svahu se hodnoty objemové hmotnosti pohybovaly pod kritickou hodnotou, tyto polohy jsou na tom z pohledu utužení půdy nejlépe. Ve střední části svahu docházelo ke zvýšení objemové hmotnosti, ale ta zůstává nadále pod kritickou hodnotou. Na úpatí svahu, kde došlo k ukládání transportovaných částic, byly i přes používanou agrotechniku naměřené hodnoty nad kritickou hodnotou. Výsledky celkové pórovitosti půdy korespondují s výsledky objemové hmotnosti redukované.

Poměry pórů podle velikosti ukazují, že na utužení půdy nejcitlivěji reagují nekapilární póry, které umožňují zasakování vody a výměnu plynů v půdě. Při nedostatku nekapilárních pórů dochází k omezení růstu kořenů a jejich prodlužování. Důsledkem může být snížení výnosu a cukernatosti řepy.

Největší utužení půdy bylo naměřeno v podsvahových polohách, kde dochází k akumulaci půdy. Naměřené hodnoty byly pod kritickými limity nejenom v podorniči ale i v ornici. Rozdíl objemové hmotnosti redukované a celkové pórovitosti mezi orníčními horizonty na vrcholu kopce „A“ a úpatí svahu „C“ je statisticky průkazný. Vliv vodní eroze na utužení půdy je tedy statisticky potvrzen.

Poděkování: Tento příspěvek vznikl za finanční podpory projektu IGA – Interní grantová agentura Agronomické fakulty MENDELU č. TP 7/2015.

Souhrn

V letech 2013–2014 byly na černozemních hlinitých půdách ohrožených vodní erozí odebrány vzorky půdy z 15 pozemků, a to vždy na vrcholu kopce, ve svahu a na úpatí svahu. Odběr byl proveden z ornice (0–0,30 m) a podorniči (0,30–0,60 m) ke stanovení vybraných fyzikálních vlastností: objemové hmotnosti, celkové pórovitosti a rozdělení pórů. Již při průzkumu pozemků byl dobře patrný vliv vodní eroze, který indikoval posun půdních částic do podsvahových poloh. Naměřené hodnoty objemové hmotnosti a celkové pórovitosti ukazují na utužení půdy v podorniči, kde ve všech polohách docházelo k překročení kritického limitu. Kritické limity v orníční vrstvě překračovaly hodnoty pouze na úpatí pozemků, kde dochází k akumulaci půdy. Poměry pórů podle velikosti ukazují, že na utužení půdy nejcitlivěji reagují nekapilární póry. Nejhorší výsledky z pohledu utužení půdy vykazují podsvahové polohy. Rozdíly objemové hmotnosti redukované a celkové pórovitosti mezi orníčními horizonty horní a dolní části svahu jsou statisticky průkazné. Vliv vodní eroze na utužení půdy byl statisticky potvrzen.

Klíčová slova: vodní eroze, utužení půdy, objemová hmotnost, pórovitost, ANOVA, PCA.

Literatura

1. PULKRÁBEK, J.: *Řepa cukrová: pěstitelský rádce*. 1. vyd., Praha: Kurent, 2007, ISBN 978-80-87111-00-0.
2. LHOTSÝ, J.: *Zhutňování půd a opatření proti němu: (studijní zpráva)*. 1. vyd., Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2000, ISBN 80-7271-067-2.
3. HŮLA, J. ET AL.: *Minimalizace zpracování půdy*. 1. vyd., Praha: Prof Press, 2008, 248 s.
4. JANEČEK, M.: *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. 1. vyd., Praha: Powerprint, 2012, ISBN 978-80-87415-42-9.
5. JŮZL, M.; ELZNER, P.: *Pěstování okopanin*. 1. vyd., Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014, ISBN 978-80-7509-196-3.
6. JAVŮREK, M.; VACH, M.: *Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2008, ISBN 978-80-87011-57-7.
7. ZBÍRAL, J.; MALÝ, S.; HONSA, I.: *Analýza půd: jednotné pracovní postupy*. 1. vyd., Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 1997, 150 s.
8. ŠARAPATKA, B.: *Pedologie a ochrana půdy*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014, ISBN 978-80-244-3736-1.
9. POKORNÝ, E.; ŠARAPATKA, B.; HEJÁTKOVÁ K.: *Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodářícím podniku: metodická pomůcka*. 1. vyd. Náměšť nad Oslavou: ZERA – Zemědělská a ekologická regionální agentura, 2007, ISBN 978-80-903548-5-2.
10. SCHÖNBERGER, H.; PATZEFALL, J.: Leitlinien für hohe Zuckererträge. *Zuckerrübe*, 63, 2014 (2), s. 8–11.
11. PULKRÁBEK, J.; URBAN, J.; JEDLIČKOVÁ, M.: Vliv podzimního zpracování půdy na zhutnění půdy v počátcích vegetace cukrové řepy. *Listy cukrov. řepař.*, 131, 2015 (9–10), s. 272–278.
12. MELOUN, M.; MILTKÝ, J.; HILL, M.: *Statistická analýza vícerozměrných dat v příkladech*. 1. vyd. Praha: Academia, 2012, 760 s., ISBN 978-80-200-2071-0.

Hammerová A., Polcar A., Šimečková J., Jandák J.: Risks of Growing Sugar Beet on Land Endangered by Erosion

In 2013–2014, samplings were carried out on chernozem loamy soils endangered by water erosion. For this purpose, soil samples were collected from 15 sites – always from the top of the hill, from the hillside, and from the foothill. The samples were collected from the surface soil (0–0.30 m) and from the subsoil (0.30–0.60 m) in order to determine selected physical properties: volume density, total porosity and pore size distribution. The effect of water erosion was evident even during the site inspections when shift of soil particles into foothills of land was observed. The measured values of volume density and total porosity indicate soil compaction in the subsoil, where critical limit is exceeded in samples collected from all positions. Critical limits in the surface soil were only exceeded in foothills, where accumulation of soil occurs. Ratios of pore size show that the most sensitive reaction to compaction can be found in non-capillary pores. In terms of soil compaction, the foothill positions have shown the worst results. The difference of volume density and total porosity between the upper and lower parts of the slope is statistically significant. Hence, the influence of water erosion on soil compaction is statistically confirmed.

Key words: water erosion, soil compaction, volume density, porosity, ANOVA, PCA.

Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Adam Polcar Ph.D., Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta, Ústav techniky a automobilové dopravy, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika, e-mail: xpolcar@node.mendelu.cz