

Vplyv úrody buliev a cukornatosti repy cukrovej na teoretickú produkciu etanolu a energie pri rôznom hnojení

EFFECT OF YIELD AND SUGAR CONTENT OF SUGAR BEET BULBS ON THE THEORETICAL ETHANOL AND ENERGY PRODUCTION AT DIFFERENT FERTILIZATION

Eva Hanáčková¹, Štefan Žák², Milan Macák¹

¹Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

²Slovenské centrum poľnohospodárskeho výskumu – VÚRV, Piešťany

V ostatnej dobe sme svedkami rozsiahlej verejnej diskusie o potrebe širšieho využívania tzv. obnoviteľných zdrojov energie v záujme zníženia emisií skleníkových plynov. V krajinách EÚ sa má podiel obnoviteľných zdrojov energie do roku 2020 zvýšiť o 20 %, z toho v SR o 14 %, čo prakticky znamená povinnosť viac ako zdvojnásobiť súčasný podiel obnoviteľných zdrojov na celkovej produkcii energie. Jedinou cestou pre splnenie uvedenej požiadavky je zvýšenie podielu výroby energie z biomasy.

V zásade energetické plodiny môžu byť rozdelené do troch skupín, podľa suroviny, z ktorej sa energia získava. V tomto zmysle možno hovoriť o troch energetických reťazcoch:

1. *Bionafta* (označovaná aj ako biodiesel), v ktorej je výroba založená na olejnatých plodinách prostredníctvom extrakcie a následnej esterifikácie oleja.
2. *Etanol*, ktorý vzniká fermentáciou z plodín bohatých na celulózu, cukor a škrob.
3. *Biomasa* reprezentujúca druhy s vysokou produkciou sušiny, ktorá je následne podrobená procesom ako je spaľovanie, pyrolýza, skvapalňovanie a splynovanie.

Pre produkciu etanolu sú vhodné plodiny s vysokým obsahom cukrov (obilniny, repa cukrová, cirok cukrový, zemiaky, čakanka, topinambur), z ktorých sa získava technológiou transformácie monosacharidov, disacharidov alebo škrobu na etanol. Celosvetová výroba palivového etanolu stúpila za 5 rokov o 47 %. Uvádza sa, že z celosvetovej výroby etanolu 500 mil. t bolo v roku 2006 ako palivo motorových vozidiel spotrebovaných cca 360 mil. t (1).

Prídavok 10–15 % etanolu do autobenzínu zníži emisie CO_x o 20–25 %, uhľovodíkov o 10–15 %, benzénu o 20–30 % a NO_x o 5 %. Z ďalších predností možno spomenúť vyššie oktánové číslo ako benzín, širší potenciál vstupných surovín a ľahšie zaobchádzanie s palivom. Naopak, nevýhodou je nižšie cetánové číslo, horšie štartovanie motora, vyššia spotreba. Väčšina plodín na výrobu etanolu však vyžaduje hnojenie a aplikáciu pesticídov. K nevýhodám patrí aj zhoršenie kolobehu živín, ktoré môže zmierniť liehovar vo vlastníctve poľnohospodárskeho podniku návratom výliskov (2).

Repa cukrová patrí k plodinám s najvyšším fotosyntetickým výkonom u nás. Jej pestovanie na bioetanol by sa mohlo stať alternatívou poklesu výroby cukru, vrátane využitia kapacít zanikajúcich cukrovarov. Nevýhodou pestovania repy cukrovej sú vysoké nároky na vstupy, výskyt chorôb a škodcov a riziko erózie pôdy (3).

Pri pestovaní repy cukrovej na energetické účely je výhodou, že pestovateľská technológia môže byť zjednodušená a adaptovaná, pretože nie je potrebné dosiahnuť maximálnu čistotu šťavy, nakoľko finálnym produktom nie je cukor (kryštalizácia), ale alkohol (destilácia), pri ktorej negatívny vplyv melasotvorných látok nepôsobí. To do určitej miery modifikuje aj filozofiu hnojenia repy z kvantitatívneho a kvalitatívneho hľadiska (4, 5).

V súčasnej dobe na Slovensku sú v dvoch závodoch vytvorené výrobné kapacity na dennú produkciu cca 330 m³ technického absolútneho etanolu, čo umožňuje ročne vyrobiť okolo 100 mil. l etanolu pre potreby aditívacie benzínu.

Tab. 1. Vstup živín do pôdy aplikáciou priemyselných hnojív

Variant hnojenia	N	P	K
	Dávka živín (kg·ha ⁻¹ č. ž.)		
Kontrola	0	0	0
MH	0	0	0
MH + V	0	0	0
S + N1PK	118	28	80
MH + N ₁ PK	60	18	80
MH + N ₂ PK	60	18	80

Materiál a metóda

Poľný pokus bol založený na experimentálnej báze v Borovciach pri Piešťanoch v kukuričnej výrobnej oblasti, v nadmorskej výške 172 m n. m. Pôda je hlinitá, hnedozemná černoziem vytvorená na hrubom sprašovom nánose so stredným obsahom fyzikálneho ílu. Obsah humusu v profile ornice je stredný. Pôdna reakcia vo vrchných vrstvách je neutrálna a smerom do hĺbky sa mení na zásaditú. Dlhodobý zrážkový normál je 625 mm a priemerná ročná teplota 9,2 °C.

Cukrová repa, odroda Terano, sa pestovala v rámci šesťihodového osevného postupu (lucerna siata, lucerna siata, ozimná pšenica, cukrová repa, jarný jačmeň, kukurica na zrno). Pred-

plodinou bola ozimná pšenica. Varianty hnojenia repy cukrovej boli nasledovné:

- kontrola (nehnojená),
- MH – maštaľný hnoj v dávke 40 t.ha^{-1} ,
- MH + V – maštaľný hnoj: 40 t.ha^{-1} + Vermisol: 50 l.ha^{-1} (foliárna aplikácia),
- S + N_1PK – zaoraná slama predplodiny + 10 kg N na 1 t slamy + hnojenie N, P a K na základe obsahu prístupných živín v pôde a plánovanej úrody buliev repy 55 t.ha^{-1} , N_1 vo forme LAD,
- MH + N_1PK – maštaľný hnoj v dávke 40 t.ha^{-1} + hnojenie N_1 , P a K na základe obsahu prístupných živín v pôde a plánovanej úrody buliev 55 t.ha^{-1} , N_1 vo forme LAD,
- MH + N_2PK – maštaľný hnoj v dávke 40 t.ha^{-1} + hnojenie N_2 , P a K na základe obsahu príst. živín v pôde a plánovanej úrody buliev 55 t.ha^{-1} , N_2 vo forme DASA 26/13.

Varianty hnojené len maštaľným hnojom (MH) a Vermisolom (MH + V) sú simuláciou ekologického systému pestovania bez použitia chemickej ochrany rastlín. Aplikované dávky živín vo forme priemyselných hnojív sú uvedené v tab. I.

Polyfaktoriálne pokusy boli založené blokovou metódou v štyroch opakovaniach. Fyzikálno-chemickými analýzami na automatickej linke VENEMA (Selekt Bučany) bola stanovená cukornatosť. Výpočet produkcie energie (GJ.ha^{-1}) a produkcie etanolu (t.ha^{-1}) bol urobený na základe úrody buliev repy, obsahu fermentovateľných cukrov (sacharózy) v bulve, transformačného koeficientu na výrobu etanolu a energetickej hodnoty jednej tony etanolu (6).

Výsledky a diskusia

Dosiahnutá úroda buliev repy cukrovej v období rokov 2003 až 2006 bola ovplyvnená priebehom poveternostných podmienok a hnojením (tab. II.). V hodnotenom období sa dosiahla priemerná úroda $52,9 \text{ t.ha}^{-1}$, čo je v porovnaní s celoslovenským priemerom za uvedené obdobie úroda vyššia o 15,5 % (tab. III.). Vysoko preukazne najnižšia úroda buliev ($35,3 \text{ t.ha}^{-1}$) v porovnaní s rokmi 2004 až 2006 sa dosiahla v poveternostne nepriaznivom pestovateľskom roku 2003 (veľmi suchý a veľmi teplý). Za vegetačné obdobie úhrn zrážok bol $210,1 \text{ mm}$, čo v porovnaní s dlhodobým normálom predstavuje len 64,4 %. Priemerná teplota bola o $1,4 \text{ }^\circ\text{C}$ vyššia ako je dlhodobý normál. Vlahové podmienky, hlavne v mesiacoch apríl–máj a jún–august, sú považované za jeden z najdôležitejších činiteľov ovplyvňujúcich výšku úrody (7, 8). Kritická termodynamická fáza repy cukrovej pripadá na mesiac august, keď rastlina vykazuje maximálnu intenzitu rastu buliev pri najväčšej intenzite klimatických faktorov (9, 10). Úhrn zrážok v tomto mesiaci dosiahol len 29,6 % dlhodobého normálu. Najvyššia úroda buliev repy ($64,5 \text{ t.ha}^{-1}$) v priemere variantov hnojenia sa dosiahla v roku 2006. Úroda bola vysoko preukazne vyššia ako v rokoch 2003 až 2005.

Vplyv hnojenia na úrodu buliev repy cukrovej, obsah cukru a produkciu energie a etanolu v jednotlivých pokusných rokoch je uvedený v tab. II. V priemere štyroch pokusných rokov sa najnižšia úroda dosiahla na variantoch hnojených maštaľným hnojom v dávke 40 t.ha^{-1} (MH, MH + V). Úroda v porovnaní s nehnojenou kontrolou bola nižšia

Tab. II. Produkcia energie a etanolu z úrody buliev repy cukrovej v rokoch 2003–2006

Rok	Variant	Úroda buliev (t.ha ⁻¹)	Cukornatosť (%)	Produkcia energie (GJ.ha ⁻¹)	Produkcia etanolu (t.ha ⁻¹)
2003	Kontrola	38,5	18,7	116,2	4,32
	MH	31,3	17,5	88,4	3,29
	MH + V	36,4	18,2	106,9	3,98
	S + N ₁ PK	38,8	19,1	119,6	4,45
	MH + N ₁ PK	32,8	18,2	96,3	3,58
	MH + N ₂ PK	34,1	18,1	99,6	3,7
	Priemer	35,3	18,3	104,5	3,89
2004	Kontrola	57,1	19,2	176,9	6,58
	MH	49,2	19,2	152,5	5,67
	MH + V	46,7	19,1	144	5,35
	S + N ₁ PK	58	18,5	173,2	6,44
	MH + N ₁ PK	61,1	17,9	176,5	6,56
	MH + N ₂ PK	61,8	17,4	173,6	6,45
	Priemer	55,7	18,6	166,1	6,18
2005	Kontrola	57,7	15,6	145,3	5,4
	MH	54,1	15,1	131,8	4,9
	MH + V	51,1	13,7	113	4,2
	S + N ₁ PK	62,0	15	150,1	5,58
	MH + N ₁ PK	55,1	14,5	129	4,79
	MH + N ₂ PK	56,6	14,2	129,7	4,82
	Priemer	56,1	14,7	133,2	4,95
2006	Kontrola	55,8	17,8	160,3	5,96
	MH	62,1	16,4	164,4	6,11
	MH + V	62,5	16,2	163,4	6,08
	S + N ₁ PK	69,3	17,2	192,4	7,15
	MH + N ₁ PK	68,3	16,6	183	6,8
	MH + N ₂ PK	68,8	16,8	186,6	6,94
	Priemer	64,5	16,8	175	6,51
Priemer rokov		52,9	17,1	144,7	5,38
Roky Hd _{0,05}		4,93	0,65	12,43	0,46
Roky Hd _{0,01}		6,82	0,91	17,18	0,64
Varianty hnojenia Hd _{0,05}		6,04	0,80	15,22	0,56
Varianty hnojenia Hd _{0,01}		8,35	1,11	21,04	0,78

o 5,9 %. Porasty repy cukrovej na týchto variantoch neboli chemicky ošetrované proti chorobám a škodcom, ktoré môžu výrazne znížiť úrodu repy cukrovej o 10–30 % a znížiť i obsah cukru v bulvách, čím môže dôjsť k celkovým stratám polarizačného cukru asi do výšky 50 % z jednotky plochy (11). Úroda buliev bola preukázane nižšia ako na variante so zaoranou pšeničnou slamou a aplikáciou priemyselných hnojív, na ktorom sa dosiahla v priemere štyroch pokusných rokov najvyššia úroda (57 t.ha⁻¹). Najlepšie využitie maštalného hnoja sa dosiahlo pri súčasnom hnojení priemyselnými hnojivami. Vyššia úroda buliev (55,3 t.ha⁻¹) sa dosiahla, ak bol dusík aplikovaný vo forme hnojiva DASA

Tab. III. Priemerná úroda buliev, cukornatosť, produkcia energie a teoretická produkcia 100% etanolu v SR

Rok	Úroda buliev (t.ha ⁻¹)	Cukornatosť (%)	Produkcia energie (GJ.ha ⁻¹)	Produkcia 100% etanolu	
				(t.ha ⁻¹)	(% rel.)
2003	36,62	16,54	97,75	3,634	100,0
2004	45,03	17,36	126,16	4,690	129,1
2005	52,16	16,70	140,58	5,226	143,8
2006	49,46	17,20	137,30	5,104	140,5
Priemer	45,82	16,95	125,45	4,664	–

26/13. Pri aplikácii dusíka vo forme hnojiva LAD 27 úroda buliev bola nižšia o 1 t.ha⁻¹.

V priemere štyroch rokov trvania pokusu sa dosiahla cukornatosť 17,1 %. Väčšie rozdiely možno pozorovať v jednotlivých pokusných rokoch. Cukornatosť sa pohybovala od 18,6 % (rok 2004) do 14,7 % (rok 2005). V roku 2005 bol august veľmi vlhký, úhrn zrážok dosiahol 186 % dlhodobého normálu. Možno predpokladať, že asimiláty sa prednostne využili na tvorbu úrody fytohmoty na úkor cukornatosti (12). Na obsah cukru v bulvách priaznivo pôsobí pokles zrážok a snežné počasie s nižšími teplotami v septembri a októbri (13).

V priemere pokusných rokov sa najvyššia cukornatosť dosiahla na nehnojenom kontrolnom variante (17,8 %), čo je v súlade s výsledkami viacerých prác (14, 15). Zaoraná slama ozimnej pšenice podnietila imobilizačné procesy dusíka v pôde, ktoré sa odrazili na vyššej cukornatosti. V porovnaní s kontrolou cukornatosť bola nižšia len o 0,3 % napriek tomu, že na tomto variante sa aplikovala najvyššia dávka dusíka (118 kg.ha⁻¹). Podobné výsledky získal LONGDEN (16).

Na variante hnojenom maštalným hnojom a Vermisolom, ako aj na variante MH + N₁PK bola cukornatosť štatisticky významne nižšia ako na kontrole, na variante pri hnojení maštalným hnojom a dusíkom vo forme hnojiva DASA 26/13 dokonca vysoko preukázane nižšia v porovnaní s kontrolou (obr. 1.).

Pre vysoký obsah fermentovateľných cukrov (sacharózy), ale aj pre komplexné technické (pestovateľské) aj technologické (spracovateľské) vybavenie, je cukrová repa považovaná za jednu z najlepších energetických plodín vhodných na výrobu bioetanolu (5). Produkcia energie a etanolu vypočítaná zo štvorročného priemeru úrod buliev repy cukrovej a cukornatosti je znázornená na obr. 2. Zo skúšaných variantov bola najvyššia produkcia energie (158,8 GJ.ha⁻¹) a bioetanolu (5,90 t.ha⁻¹) na variante, ktorý bol hnojený slamou a priemyselnými hnojivami. Vysoká cukornatosť (17,8 %) na kontrolnom variante ovplyvnila produkciu energie (149,7 GJ.ha⁻¹) a etanolu (5,57 t.ha⁻¹). Najnižšia produkcia energie a etanolu bola na variantoch hnojených maštalným hnojom (MH, MH + V). Na variantoch s aplikovaným maštalným hnojom a minerálnymi hnojivami rozdielne druhy dusíkatých hnojív produkciu energie a etanolu významne neovplyvnili. Vypočítané hodnoty boli vyššie ako na variantoch hnojených maštalným hnojom (MH, MH + V), avšak nižšie ako na variante hnojenom slamou a priemyselnými hnojivami. Produkcia energie a etanolu na týchto variantoch je porovnateľná s výsledkami, ktoré uvádza SLAMKA A HANÁČKOVÁ (5) z poloprevádzkového pokusu. Na variante hnojenom maštalným hnojom v dávke 40 t.ha⁻¹ a aplikovaním kombinovaného hnoji-

va NPK 15-15-15 sa v priemere štyroch pokusných rokov dosiahla úroda buliev 51,3 t.ha⁻¹, cukrnatosť bola 17,1 %, produkcia energie bola 141,4 GJ.ha⁻¹ a produkcia etanolu 5,255 t.ha⁻¹.

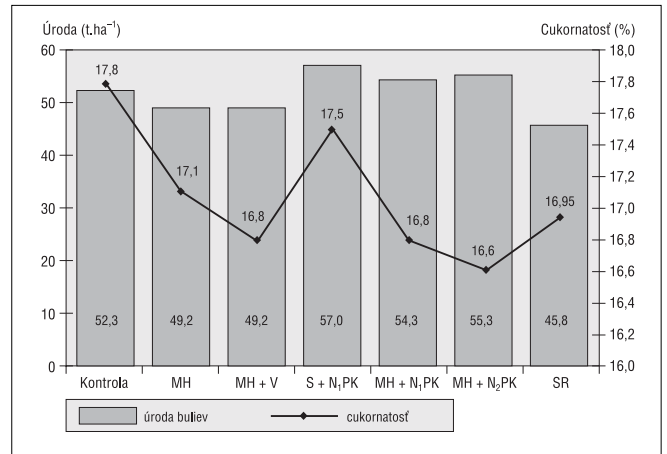
Súhrn

V poľnom pokuse v období rokov 2003 až 2006 pri organickom a organo-minerálnom hnojení repy cukrovej sa zistila najvyššia priemerná úroda buliev na variante so zaoranou slamou pri súčasnej aplikácii minerálnych hnojív (57,0 t.ha⁻¹). Slama ozimnej pšenice podnietila imobilizačné procesy dusíka v pôde, ktoré sa prejavili vo vyššej cukrnatosti, čo pozitívne ovplyvnilo produkciu energie (158,8 GJ.ha⁻¹) a etanolu (5,90 t.ha⁻¹). Najlepšie využitie maštaľného hnoja v dávke 40 t.ha⁻¹ sa dosiahlo pri súčasnom hnojení minerálnymi hnojivami. Vyššia úroda buliev (55,3 t.ha⁻¹) sa dosiahla, ak bol dusík aplikovaný hnojivom DASA 26/13. Rozdielne druhy dusíkatých hnojív (LAD 27, DASA 26/13) produkciu energie a etanolu významne neovplyvnili.

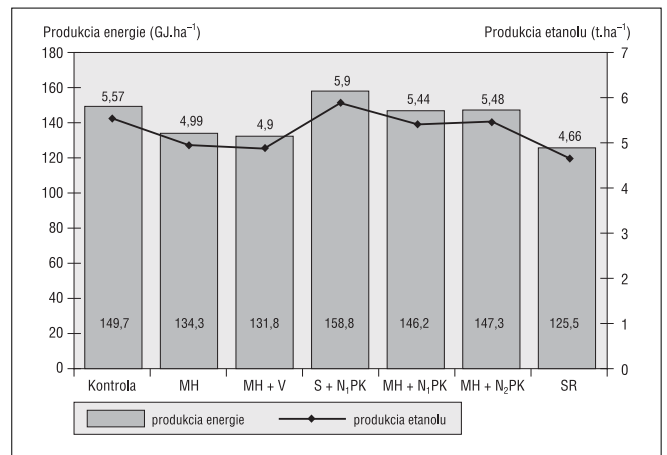
Literatúra

- ČIŽ K.: Výroba palivového etanolu z rôznych zemľedských surovín. *Listy cukrov. a řep.*, 123, 2007 (3), s. 95–97.
- JAMRIŠKA P.: Rastlinná výroba – zdroj obnoviteľnej energie. In *Predpoklady využívania poľnohospodárskej a lesníckej biomasy na energetické a biotechnické využitie*. ASAPV, Nitra, 2007 (58), s. 16–23, ISBN 978-80-89162-32-1.
- JAMRIŠKA P., SUROVČÍK J.: Rastlinná výroba – zdroj obnoviteľnej energie. In *Biomasa pre regionálnu energetiku*. SPU, Nitra, 2007, s. 66–70, ISBN 80-8069-892-8.
- KOVÁČ K., MACÁK M.: Produkčný a energetický potenciál biomasy hospodársky významných plodín. In *Biomasa pre regionálnu energetiku*, SPU, Nitra, 2007, s. 76–81, ISBN 80-8069-892-8.
- SLAMKA P., HANÁČKOVÁ E.: Využitie biokalu na hnojenie cukrovej repy pestovanej pre výrobu cukru alebo bioetanolu. *Agrochémia*, XII. 48, 2008 (3), s. 3–7.
- VENTURI P., VENTURI G.: Analysis of energy comparison for crops in European agricultural systems. *Biomass and Bioenergy*, 25, 2003, s. 235–255.
- DEMĽANOVÁ E. ET AL.: Termodinamické podmienky pestovania cukrovej repy v oblasti Žitavskej pahorkatiny. *Listy cukrov. a řep.*, 120, 2004 (12), s. 340–341.
- REHORA J.: Súčasný problémy pestovania cukrovej repy z hľadiska pestovateľa. In *Cukrová repa v trhovom mechanizme a jej výroba*, Bratislava, 1994, s. 21–24.
- ČERNÝ I. ET AL.: Formovanie úrody repy cukrovej vplyvom termodinamických podmienok prostredia. *Listy cukrov. a řep.*, 124, 2008 (3), s. 74–78.
- KUDRŇA K.: *Zemědělské soustavy*. Praha: SZN, 1985, 720 s.
- KORHOŇ (1979) cit. KOVACS T. ET AL.: Možnosti ovplyvnenia úrody a cukrnatosti repy cukrovej fungicídny ošetrovaním. In *V. celoslovenská vedecká repárska konferencia*. SPU, Nitra, 2003, s. 221–225, ISBN 80-8069-280-7.
- KARABÍNOVÁ M. ET AL.: Kvantitatívne a kvalitatívne parametre repy cukrovej v závislosti od aplikácie biopreparátu trichomil. In *V. celoslovenská vedecká repárska konferencia*, SPU, Nitra, 2003, s. 167–170, ISBN 80-8069-280-7.
- PAČUTA V.: *Vybrané aspekty tvorby úrody ozimnej pšenice a cukrovej repy*. SPU, Nitra, 1996, habilitačná práca, 227 s.
- BÍŽIK J.: *Podmienky optimalizácie výživy rastlín*. Bratislava: VEDA, SAV, 1989, 192 s., ISBN 80-224-0041-6.
- SLAMKA P.: *Kvalitatívne a kvantitatívne aspekty výživy a hnojenia trávnych porastov a repy cukrovej*. SPU, Nitra, 2002, habilitačná práca, 147 s.
- LONGDEN P. C.: *Sugar beet research*. Rothamsted, AFRC Institute Arable Crops, research report, 1991, s. 71–80.

Obr. 1. Úroda a cukrnatosť buliev repy cukrovej (Borovce, priemer rokov 2003–2006)



Obr. 2. Produkcia energie a etanolu z úrody buliev repy cukrovej (Borovce, priemer rokov 2003–2006)



Hanáčková E., Žák Š., Macák M.: Effect of yield and sugar content of sugar beet bulbs on the theoretical ethanol and energy production at different fertilization

In field experiment with sugar beet organic and organo-mineral fertilization the highest average yield of bulbs (57.0 t.ha⁻¹) was found out in treatments with into soil incorporated straw and simultaneous application of mineral fertilizers. Ploughed-down straw of winter wheat stimulated immobilization process of nitrogen in soil resulting in increasing content of sugar in bulbs. This fact positively influenced both production of energy (158.8 GJ.ha⁻¹) and ethanol (5.90 t.ha⁻¹). The best utilization of farm-yard manure at the rate of 40 t.ha⁻¹ was achieved when its application was combined with mineral fertilization at the same time. Higher yield of sugar beet bulbs (55.3 t.ha⁻¹) was obtained when nitrogen was applied in the form of mineral fertilizer DASA 26/13. Different kinds of nitrogen mineral fertilizers (LAD 27, DASA 26/13) did not influence production of energy and ethanol significantly.

Key words: sugar beet, fertilization, yield, sugar content, production of energy and ethanol.

Kontaktná adresa – Contact address:

Ing. Eva Hanáčková, PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Trieda A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko, e-mail: eva.hanackova@uniag.sk